

Cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento e valorização da exploração do georrecurso: o caso do maciço rochoso da Curviã (Joane)

DIOGO JOSÉ MOREIRA DA SILVA
Outubro de 2014





Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento e valorização da exploração do georrecurso: o caso do maciço rochoso da Curviã (Joane)

Diogo José Moreira da Silva

160 ANOS 1828-2018 **isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

LABCARGA
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA E GEOLÓGIA APLICADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO

2014

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento e valorização da exploração do georrecurso: o caso do maciço rochoso da Curviã (Joane)

Diogo José Moreira da Silva

1091305

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Professor Doutor António Carlos Galiza, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor António Carlos Reis Galiza Carneiro
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Maria José Coxito Afonso
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Luís Carlos Correia Ramos
Assistente Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Director de Produção do Grupo Elevo SA, Porto

Mestre Luís Filipe Santos Fonseca
Director de Produção do Grupo Elevo SA, Porto

A tese de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (MEGG) foi defendida em prova pública, pelo Licenciado Diogo José Moreira da Silva, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 11 de Novembro de 2014 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de 18 (dezoito) valores, cuja fundamentação se encontra em acta.

A Direcção do MEGG|ISEP

Dedico esta tese a meus Pais e Irmã...

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Enalteço a importância de uma palavra de agradecimento a todos que, ao longo deste espaço de tempo, de uma ou de outra forma, me incentivaram na elaboração do presente trabalho. Desta forma gostaria, em particular, de expressar o meu agradecimento:

Ao Professor A. Carlos Galiza (DEG|ISEP), ao Engenheiro Luís Ramos (ElevoGroup e DEG|ISEP) e ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP) expresso a minha gratidão pelo intenso apoio e entusiasmo no acompanhamento e auxílio, nas tarefas de campo e de gabinete prestadas pelos conselhos e saberes transmitidos ao longo de todo o curso (mestrado e licenciatura); pela disponibilidade, boa disposição, paciência na partilha exaustiva da bibliografia necessária, pelos excelentes meios e condições de trabalho que me proporcionaram, em especial, no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) nesta fase tão importante da minha vida académica e, pelo contributo decisivo na realização desta investigação pela franqueza e sinceridade no apoio à boa execução da presente dissertação e por serem exemplo e inspiração para os recém-graduados em engenharia geotécnica.

Ao meu orientador, Professor A. Carlos Galiza (DEG|ISEP), expresso o meu agradecimento pelo apoio na realização das diferentes fases do trabalho, pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e da leitura atenta da presente dissertação.

Ao Engenheiro Luís Ramos (ElevoGroup e DEG|ISEP), expresso o meu sincero reconhecimento pela forma prestável e dedicada, no apoio prestado quer no terreno quer no gabinete e, bem assim, ter enquadrado esta dissertação na sua investigação de doutoramento em curso. Ao apoio da realização das diferentes fases do trabalho e, sobretudo, pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e da leitura atenta do presente trabalho e pela partilha da base de dados geotécnico-geomecânica para análise da compartimentação do maciço rochoso, assim como no auxílio a todas as questões colocadas.

Ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP) expresso o meu sincero reconhecimento e agradecimento especial pela constante disponibilidade e dedicação no acompanhamento de todas as etapas do estudo, desde o campo às discussões dos resultados geológico-geomecânicos e leitura crítica do manuscrito original. Pela confiança que sempre me transmitiu e por ser para mim um exemplo de sabedoria e de humildade.

Aos directores do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) e do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC|ISEP) respectivamente, Professor Helder I. Chaminé e Professor José Augusto Fernandes por todas as facilidades na utilização dos recursos e equipamentos do laboratório, de grande importância para a conclusão deste trabalho e aos colaboradores do LGMC|ISEP, Engenheiro Rogério Pinheiro e a Engenheira Isilda Costa a colaboração na execução do ensaio de Carga Pontual (“Point Load Test”).

Ao Doutor José Teixeira (LABCARGA|ISEP) pela constante boa disposição e precioso auxílio prestado na cartografia vectorial e integração dos dados de campo e cartográficos em SIG.

À Doutora Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP), o meu sincero agradecimento pela dedicação no tratamento e vectorização de algumas ilustrações e formatação do documento na recta finalíssima da submissão deste estudo.

À Empresa Secil-Britas S.A., pela oportunidade da realização do trabalho de campo no maciço rochoso da pedreira da Curviã n.º 2 (Joane, V.N. de Famalicão) e ao Engenheiro João Ribeiro e Engenheiro Sérgio Moreira, pela disponibilidade, acompanhamento e pela partilha da documentação do centro de exploração e ao Sr. Toni pelo transporte das amostras, para preparação do ensaio de carga pontual (PLT), desde a zona de exploração até à zona de expedição.

Ao Engenheiro Floriano Santos (Cooperativa dos Pedreiros do Porto) que possibilitou a preparação das amostras (serragem das amostras em provetes, a partir de blocos de maciço rochoso) para a realização do ensaio de Carga Pontual (“Point Load Test”) e à presidência do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) que disponibilizou o primeiro transporte das amostras à Cooperativa dos Pedreiros do Porto e ao Sr. Miguel e Sr. Mata, colaboradores do centro de produção de Forno (ElevoGroup) a prestação do serviço do segundo transporte das amostras até à Cooperativa dos Pedreiros do Porto.

À direcção e todos docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica, pelos conhecimentos e apoio que me transmitiram ao longo da minha vida académica, nos últimos cinco anos. Bem hajam.

Ao meu colega de curso Engenheiro José Miguel Ribeiro, o meu reconhecimento, tanto pelo apoio exaustivo nos trabalhos de campo como nos mais variados trabalhos de gabinete. Agradeço a cooperação, incentivo, preocupação e a força que me transmitiu em todos os momentos. Obrigado por todo o esforço.

Ao meu colega de curso Engenheiro Joaquim Lima, a ajuda na realização do ensaio de carga pontual (PLT) e do ensaio esclerométrico nas amostras em laboratório.

E por fim, e mais importante, à minha irmã, Margarida, pela sua ajuda e amizade sempre presente e aos meus Pais pelo apoio indispensável e incondicional que sempre me dispensaram ao longo da minha vida, pelos recursos que dispensaram na construção do meu futuro, pelo interesse que demonstraram em resolver todos os meus problemas, pela confiança, o orgulho, a esperança e a fé, que sempre depositaram em mim. Mas agradeço-vos especialmente, pela soberba educação, pelos valores e pelos princípios que me transmitiram, sem isto, jamais seria o Homem que sou hoje e nem nada disto seria possível e faria sentido... o meu muito Obrigado!

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

*Maçiços rochosos, descontinuidades, cartografia de zonamento geotécnico, georrecurso*s

Resumo

Este trabalho centra-se no estudo do aproveitamento expectável do maciço rochoso da pedreira da Curviã N.º 2 (Joane, Vila Nova de Famalicão, no N Portugal), através da obtenção de um bloco unitário tipo que forneça indicações para a exploração do recurso geológico para fins industriais e/ou ornamentais. Desta forma, investiga-se se num dado limite de zona geotécnica do maciço rochoso é propício à obtenção de blocos com dimensão, avaliados após o processo de transformação, nomeadamente, para enrocamento em obras marítimas ou balastro em obras ferroviárias. Foram seleccionados diversos afloramentos, tendo-se recorrido à técnica de amostragem linear às superfícies expostas do maciço. Esta técnica é uma das formas mais expeditas de coligir dados geológico-geotécnicos relativos às descontinuidades. Procedeu-se, ainda, a um tratamento estatístico das descontinuidades, bem como dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos a estas associadas, propostos pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM). Todos os dados foram representados cartograficamente numa base apoiada pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e utilizadas as ferramentas de geologia estrutural, análise morfotectónica, modelação digital de terreno e cartografia de zonamento geotécnico. O zonamento geotécnico do maciço granítico foi realizado sempre em estreita ligação com o conhecimento das características do maciço “in situ”. Pretende-se que esta metodologia contribua para um melhor conhecimento da compartimentação dos maciços rochosos em geral e, em particular, do modelo geotécnico comportamental do maciço rochoso da Curviã N.º2.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Rock masses, discontinuities, geotechnical zoning mapping, georesources

Abstract

This work presents the study of the predictable utilisation of the rock mass of the quarry Curviã N.º2 (Joane, Vila Nova de Famalicão, in N Portugal), by obtaining a block size type that provides guidelines for the exploration of the geological resource for industrial and/or ornamental purposes. This way, it is assessed whether the definition of a particular geotechnical zone is suitable to achieve rock mass blocks with size/application, evaluated after the transformation process, namely for rock fill in the maritime and port works or ballast in railway works. Several outcrops were selected and the scanline sampling technique of discontinuities has been applied to the study of free rock-mass faces. This technique is the easiest and fastest way to collect geologic-geotechnical data from discontinuities. Moreover, all the discontinuities along with their geological-geotechnical and geomechanical parameters were statistically analysed following the proposal of the International Society for Rock Mechanics (ISRM). All compiled data was mapped on a Geographic Information System (GIS) basis and the following tools were applied: structural geology, morphotectonics, digital terrain modelling and geotechnical zoning mapping. The geotechnical zoning of the granitic rock-mass was always delineated in a straight connection with the knowledge of in situ rock mass features. This methodology contributed to a better understanding of rock-mass block size and, particularly, proved to be valuable in deepening our knowledge of Curviã N.º 2 rock-mass geotechnical model.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução.....	3
1.1. Âmbito e enquadramento do trabalho.....	3
1.2. Delimitação do tema e objectivos	3
1.3. Organização da dissertação.....	8
1.4. Metodologias e Técnicas	9
2. Desmonte de maciços rochosos: anisotropias, compartimentação e comportamento geomecânico	21
2.1. Considerações iniciais.....	21
2.2. Maciços rochosos: breve caracterização geológica e geotécnica	24
2.2.1. Matriz rochosa vs. descontinuidades.....	25
2.2.2. Compartimentação de maciços rochosos: tipos de anisotropias	30
2.2.3. Reconhecimento geológico e cartografia das superfícies expostas do maciço.....	41
2.2.4. Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos: descrição e classificação	42
2.3. Qualidade do desmonte: conceito, estrangimentos e potencialidades	50
2.3.1. Métodos de exploração e operações de desmonte de rocha	55
2.3.2. Método de desmonte a céu aberto	56
2.3.3. Operações de desmonte de rocha	57
3. Aplicação da cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento de exploração de georrecursos: o maciço rochoso da Curviã	67
3.1. Enquadramento da pedreira da Curviã n.º2.....	67
3.2. Levantamento geológico-geotécnico e geomecânico: generalidades	72
3.3. Quadro geológico e geotécnico local da exploração	77
3.4. Cartografia do zonamento geotécnico-geomecânico do maciço rochoso da Curviã n.º2	
95	
3.4.1. Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos – apresentação e discussão dos dados	96

3.4.2. Cartografia de zonamento geotécnico aplicada aos georrecursos: uma proposta	
110	
3.5. Caracterização do grau de compartimentação do maciço rochoso.....	112
4. Conclusões	119
5. Referências Bibliográficas	127

Índice de Figuras

Figura 1 - O ciclo das rochas numa perspectiva das geociências de engenharia: uma visão dinâmica da formação das rochas e dos solos, onde se destaca o posicionamento da mecânica das rochas e da mecânica dos solos (inspirado em Dobereiner & Freitas, 1986). Adaptado de Galiza et al. (2011a).	4
Figura 2 - Esquema das relações entre a caracterização e avaliação do maciço rochoso e as classificações geomecânicas e índices geotécnicos para efeitos de escavabilidade dos maciços (adaptado de Sandvik-Tamrock, 1999). In: Galiza (2013).	5
Figura 3 - Diagramas ilustrativos da complexidade dos parâmetros geológicos, geotécnicos e geomecânicos envolvidos na avaliação dos maciços rochosos para efeitos de escavabilidade e desmonte (adaptado de: a) Franklin et al., 1971; b) Pettifer & Fookes, 1994; c) Tsiambaos & Saroglou, 2010). In: Galiza et al. (2011a).	6
Figura 4 - Dificuldades expectáveis do insuficiente tratamento e gestão dos georrecursos nos centros de exploração (Ramos, 2013).....	7
Figura 5 – Ficha de levantamento geológico-geomecânico para a técnica de amostragem linear (adaptado de ISRM 1978, 1981, 2007, GSE 1995).	16
Figura 6 – Ficha de levantamento Geomecânico do Esclerómetro Portátil (Martelo de Schmidt, Proceq, tipo L) (adaptado de ISRM 1978, 1981, 2007, GSE 1995).	16
Figura 7 – Ficha do ensaio de resistência à carga pontual (ISRM, 2007).	17
Figura 8 - Exemplo de aplicação da base de dados ScanGeoData BGD (Basic Geotechnical Description of Rock Masses) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010) e exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData UCS (Uniaxial Compressive Strength) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).....	18
Figura 9 - Esquema para a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (Mazzocola et al., 1997). In: Galiza (2013).	23
Figura 10 - Características geológicas da matriz rochosa e do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).	24
Figura 11 - Comparação relativa entre os principais tipos de discontinuidades nos maciços rochosos (adaptado de Price, 2009). In: Galiza (2013).	25
Figura 12 - Síntese com as condições de perfuração relativamente à dureza, textura, tipo de rotura e geoestrutura (Singh & Goel, 2011). In: Galiza (2013).....	27
Figura 13 - Fracturas resultantes de esforços tectónicos em compressão, distensão e corte (cisalhamento), (Adaptado de Press & Siever, 1998).....	30

Figura 14 - Representação das famílias de descontinuidades em blocos-diagrama: ilustração do bloco unitário (González de Vallejo & Ferrer, 2011).....	34
Figura 15 - Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995).....	35
Figura 16 - Procedimento de medição e exemplo do cálculo do RQD (adaptado de Deere et al., 1967; Hoek, 2007).	38
Figura 17 - Equipamento de campo básico para a utilização da técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).	38
Figura 18 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). In: Ramos (2008).....	43
Figura 19 - Zona de influência de uma coluna de explosivo (adaptado de Silva, 2010).	52
Figura 20 - Efeito do rebentamento em relação à distância à frente livre (Góis et al., 2011, 2012).	52
Figura 21 - Periferia da zona de fragmentação (Bhandari, 1997).	53
Figura 22 - Fases de detonação de explosivo (adaptado de Hartman, 1992).	54
Figura 23 - Típico desmonte em flanco de encosta (IGM, 1999).	56
Figura 24 - Típico desmonte em corta (IGM, 1999).	56
Figura 25 - Operações fundamentais de desmonte de rocha ornamental (granito) (Adaptado de Gomes et al., 2008).	58
Figura 26 – Pormenor da operação de derrube de uma fatia (IGM, 1999).	59
Figura 27 – Diferentes etapas da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Sandvik-Tamrock, 1999).....	60
Figura 28 - Aspectos morfológicos observados a partir da imagem aérea da área da pedreira da Curviã Nº2 e envolvente (adaptado do Google Earth Pro).	69
Figura 29 - Esboço geológico regional da área da pedreira da Curviã n.º2 e envolvente (adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986).....	70
Figura 30 - Boletim de precipitação de Barcelos (http://snirh.apambiente.pt/)	71
Figura 31 - Representação esquemática da primeira etapa de caracterização geológico-geotécnica das superfícies expostas dos taludes.	72
Figura 32 - Representação esquemática da segunda etapa de caracterização geológico-geotécnica das superfícies expostas dos taludes.	73
Figura 33 - Resumo da informação referente às cotas de início e fim das bancadas cartografadas, número de descontinuidades cartografadas, estações geomecânicas realizadas, extensão e altura das bancadas cartografadas.	76

Figura 34 – Esboço geológico local da área da pedreira da Curviã n.º 2 e envolvente (Adaptado de Montenegro de Andrade <i>et al.</i> , 1986)	77
Figura 35 - Diagramas geológico-estruturais: diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=582) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°[.....	78
Figura 36 - Grau de alteração do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	81
Figura 37 - Tipo de descontinuidade presente no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	81
Figura 38 - Grau de Fracturação “Fracture Intercept” no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	82
Figura 39 - Tipo de abertura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	84
Figura 40 - Continuidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	85
Figura 41 - Tipo de terminação das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	85
Figura 42 - Tipo de curvatura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	86
Figura 43 - Rugosidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	87
Figura 44 - Tipos de enchimento/preenchimento das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	88
Figura 45 - Presença de água nas descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	89
Figura 46 - Análise das classes de resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) - (codificação das classes de resistência (S – “Strenght”, segundo a ISRM, 1981).	90
Figura 47 - Provetes de amostras ensaiadas no PLT (as 2 fotos acima correspondem ao conjunto A de 19 provetes e as duas fotos abaixo correspondem ao conjunto B com 14 provetes).	91
Figura 48 - Exemplos de circunstâncias que impossibilitam o acesso às frentes de escavação....	96
Figura 49 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=105) do maciço	

granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 20° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	97
Figura 50 - Gráficos que possibilitam a elaboração do zonamento geotécnico.	99
Figura 51 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=102) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	100
Figura 52 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=124) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 20° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	102
Figura 53 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=106) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	105
Figura 54 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=9) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	107
Figura 55 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=136) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].	108
Figura 56 - Esboço cartográfico de zonamento geotécnico preliminar (Outubro de 2014): uma proposta.	111
Figura 57 - Identificação esquemática das descontinuidades sub-verticais (a vermelho) e sub-horizontais (a verde).	114
Figura 58 - Zona esmagada vs zona fracturada - características fundamentais à obtenção da dimensão dos blocos (Bhandari, 1997).	115
Figura 59 - Corredores de fracturação presentes nas bancadas 1 e 2.	115
Figura 60 - Esboço cartográfico preliminar de aptidão do maciço rochoso em função da ocorrência de "corredores de fracturação" com indicação na delimitação das zonas geotécnicas do peso do bloco unitário expectável.	116

Índice de Quadros

Quadro 1 – Caracterização da Técnica de Amostragem Linear, “Scanline Sampling Technique” (adaptado de: Brady & Brown, 2004; Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al. 2013, 2014).	11
Quadro 2 - Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schimdt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951; Katz O., et al., 2000;; Kahraman S., et al., 2002; Aydin & basu, 2005; Aydin 2008 ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	12
Quadro 3 - Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 1 (Adaptado de ISRM, 2007).....	13
Quadro 4 - Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 2 (Adaptado de ISRM, 2007).....	14
Quadro 5 – Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 3 (Adaptado de ISRM, 2007).....	15
Quadro 6 - Exemplos da heterogeneidade litológica do material rochoso (Ramos, 2008)	26
Quadro 7 - Propriedades da matriz rochosa e métodos para a sua determinação (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011; Ramos 2013).....	26
Quadro 8 - Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 1 (adaptado de Sodré Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	28
Quadro 9 - Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 2 (adaptado de Sodré Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	29
Quadro 10 - Classificação dos maciços rochosos quanto ao número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).	32
Quadro 11 - Descrição do tamanho dos blocos em função do número de descontinuidades (ISRM 1978).	34
Quadro 12 - Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos (ISRM, 1978, 1981).	35
Quadro 13 - Avaliação do grau de alteração do maciço rochoso (ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995). .	36
Quadro 14 - Correlação entre os valores de RQD e qualidade do maciço (Deere et al., 1967).....	38
Quadro 15 - Principais propriedades, métodos e técnicas nos levantamentos de campo na caracterização e descrição de maciços rochosos [Terzaghi (1965), Priest (1981, 1985, 1993), West (1991), Lisle & Leyshon (2004), Ferrer & González de Vallejo (2007), ISRM (2007), Ragan (2009), Norbury (2010)].....	40

Quadro 16 - Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdos (González de Vallejo & Ferrer, 2011).	42
Quadro 17 – Atitude geológica - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).....	44
Quadro 18 – Espaçamento “fracture intercept” - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	45
Quadro 19 – Continuidade ou persistência - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	46
Quadro 20 – Rugosidade - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	47
Quadro 21 – Resistência das superfícies das descontinuidades - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	48
Quadro 22 - Abertura - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).....	48
Quadro 23 – Preenchimento ou Enchimento - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	49
Quadro 24 - Percolação ou Infiltração - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).	50
Quadro 25 - Perfuração - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Galiza, 2013; Gomes et al., 2008).	60
Quadro 26 – Desmonte/Fragmentação - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial – Parte 1 (Mohanty, 1996; Vaz, 2008).	61
Quadro 27 - Desmonte/Fragmentação - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial – Parte 2 (Mohanty, 1996; Vaz, 2008).	62
Quadro 28 – Fragmentação secundária - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Vieira, 2008).....	63

Quadro 29 - Carga - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Lopes & Jimeno, 1991).....	63
Quadro 30 – Transporte - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Ribeiro, 2008; Spínola 1999).....	64
Quadro 31 - Britagem - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Sampaio 2006).	64
Quadro 32 - Localização, vias de acesso e aspectos gerais do georrecurso do centro de exploração da Secil Britas em Joane, Vila Nova de Famalicão (adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986; Pereira, 1992; Cavalheiro <i>et al.</i> , 2002; IGeoE, 1997, 1998).	68
Quadro 33 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.....	79
Quadro 34 - Resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração (CICCOPN, 2010) in Dias, 2013.	80
Quadro 35 - Espaçamento médio das descontinuidades para o maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	83
Quadro 36 - Resultados do ensaio de carga pontual (PLT “Point Load Test”) para a zona amostral A e B, da bancada 1.	93
Quadro 37 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades presentes nos 6 patamares estudados (n=582) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	95
Quadro 38 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 1.	97
Quadro 39 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades estudadas na bancada 1 (n=105) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	98
Quadro 40 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 2.	100
Quadro 41 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades estudadas na bancada 2 (n=102) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	101
Quadro 42 - Síntese dos dados geológico-estruturais da bancada 3.....	103
Quadro 43 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades caracterizadas na bancada 3 (n=124) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	104
Quadro 44 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 4.	105
Quadro 45 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas na bancada 4 (n=106) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	106

Quadro 46 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 5.	107
Quadro 47 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades estudadas da bancada 5 (n=9) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).	108
Quadro 48 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 6.	109
Quadro 49 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas na bancada 6 (n=136) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	110

1. Introdução

1. Introdução

1.1. Âmbito e enquadramento do trabalho

O presente documento insere-se na unidade curricular “Dissertação/Estágio/Projecto”, do 2º ano, do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto (IPP).

A elaboração e defesa pública deste documento, em formato dissertação, são imperativos para a conclusão do 2.º ciclo de estudos e consequente obtenção do grau de mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Este trabalho enquadra-se, em parte, na investigação de doutoramento (“metodologias interdisciplinares em geotecnia mineira para a qualidade do desmonte de maciços rochosos”) em desenvolvimento na Universidade de Coimbra por Ramos (2013).

1.2. Delimitação do tema e objectivos

Em Geologia, o termo rocha, define-se como um agregado natural, formado por um ou mais minerais, que constitui parte essencial da crosta terrestre, sistematizando-se normalmente em três tipos fundamentais (Figura 1): rochas magmáticas ou ígneas, rochas sedimentares e rochas metamórficas, formadas num ciclo geodinâmico (interno e externo) contínuo ao longo dos tempos geológicos de onde resultam para fins de engenharia (Freitas, 2009), os maciços rochosos (rochas duras ou consolidadas) e terrosos (rochas brandas ou solos).

Uma vez que os afloramentos rochosos ocorrem em extensões consideráveis na crosta terrestre, na maioria das vezes, pode-se representá-las em mapas geológicos. As rochas são nitidamente individualizadas porque os minerais se agregam obedecendo a leis físico-químicas, dependendo das condições em que se forma determinado tipo de rocha (Goodman, 1993). Porém, não é necessário que a rocha seja consolidada ou branda. As rochas arenosas e argilosas, por exemplo, podem ser consideradas como rochas desde que representem corpos independentes, individualizados e extensos (Goodman, 1993).

As rochas formadas, em regra, em níveis crustais profundos a partir de um magma que ao solidificar geram as designadas rochas ígneas ou magmáticas. Por sua vez, as rochas metamórficas são originadas de rochas pré-existentes devido, em parte, às condições de pressão e temperatura, levando a transformações ao nível mineralógico, textural e estrutural. Essas transformações são provocadas por mudanças que tiveram lugar no ambiente físico-químico em que as rochas são

geradas (Dias, 2013). Assim, alguns minerais são estáveis, mas, em condições limite de temperatura ou pressão, poderão sofrer um reajuste mineralógico para estabelecerem o equilíbrio com o novo ambiente geodinâmico. As rochas sedimentares ocupam uma grande parte da componente superficial da crosta terrestre. A maioria das rochas sedimentares são de origem secundária, consistindo em materiais derivados da desagregação de rochas pré-existentes (Bell, 2007).

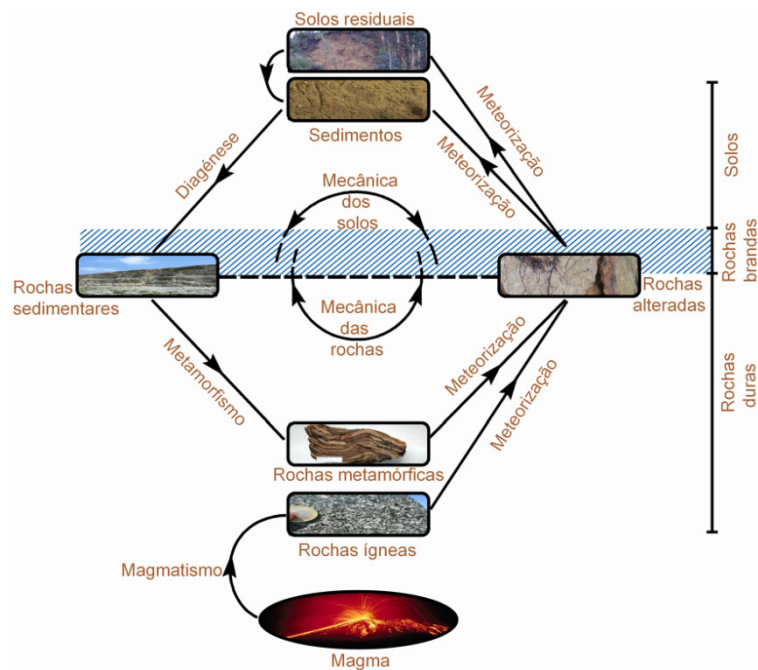


Figura 1 - O ciclo das rochas numa perspectiva das geociências de engenharia: uma visão dinâmica da formação das rochas e dos solos, onde se destaca o posicionamento da mecânica das rochas e da mecânica dos solos (inspirado em Dobereiner & Freitas, 1986). Adaptado de Galiza et al. (2011a).

A temática que se pretende abordar e investigar no desenvolvimento deste trabalho, insere-se num conjunto de metodologias de gestão e planeamento para a exploração de recursos geológicos (e.g., Galiza et al., 2011a,b, Galiza, 2013). A abordagem multidisciplinar pretende equacionar de forma integradora a análise de um conjunto de parâmetros ligados à caracterização geológico-geotécnica e geomecânica do maciço rochoso (Figura 2), para a optimização da selecção da matéria-prima (rocha) na sua génese seja a mais adequada possível às necessidades da obra de engenharia. Esta metodologia aplica-se ao sector de extracção e transformação de rocha para aplicação directa ou indirecta em obras de engenharia em geral, que impliquem o desmonte de maciços rochosos com recurso a explosivos para fins industriais e/ou ornamentais.

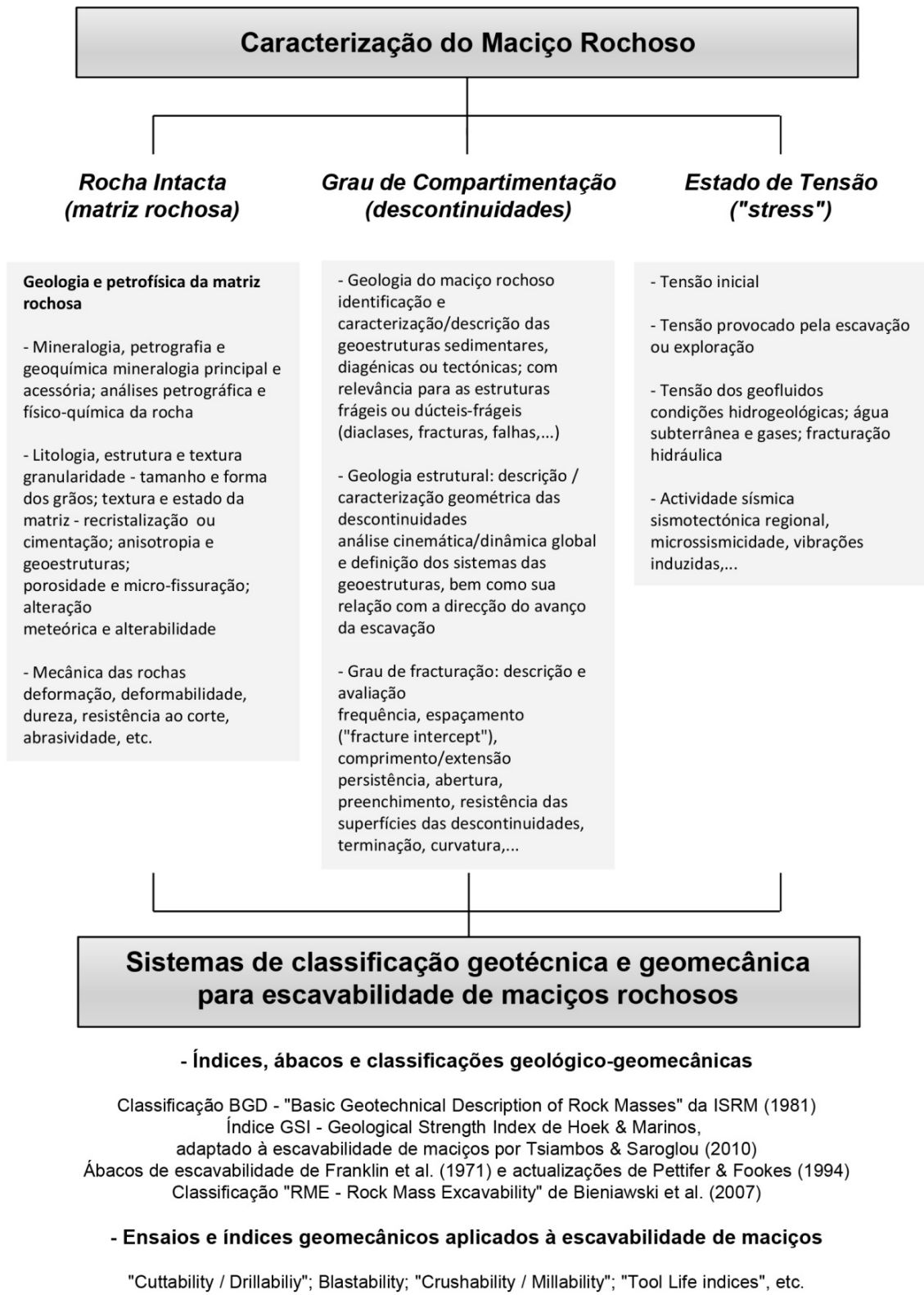


Figura 2 - Esquema das relações entre a caracterização e avaliação do maciço rochoso e as classificações geomecânicas e índices geotécnicos para efeitos de escavabilidade dos maciços (adaptado de Sandvik-Tamrock, 1999). In: Galiza (2013).

Com efeito, pretende-se estudar a forma como o aproveitamento de uma dada zona geotécnica do maciço rochoso pode apresentar competência para aplicação do material rocha como sendo rocha industrial ou ornamental, ou seja, fazer um zonamento das várias áreas do maciço relativamente às diferentes aplicações possíveis do material rochoso mediante a dimensão expectável dos blocos de granito.

Por isso, tenta-se abordar os aspectos técnicos que determinam as operações de aproveitamento sustentável do georrecurso disponível (com mais valias económicas), nomeadamente a zona amostral em que é expectável a obtenção de um bloco unitário tipo para o fim a que se destina, a operação de destaque de rocha (efeitos da escavabilidade e desmonte; Figura 3) e futura aplicação, sendo obtido com base na delimitação das zonas geotécnicas do maciço rochoso da pedraira da Curviã n.º 2 para a extracção dos blocos de rocha de forma a ajustar as necessidades de produção de acordo com as possibilidades geoeconómicas da organização.

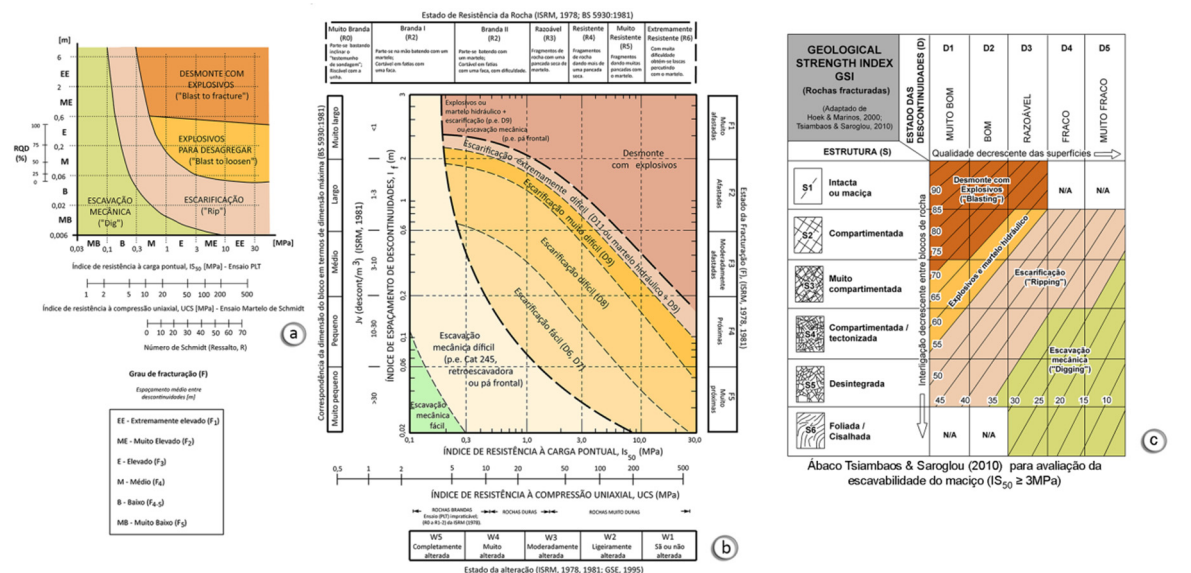


Figura 3 - Diagramas ilustrativos da complexidade dos parâmetros geológicos, geotécnicos e geomecânicos envolvidos na avaliação dos maciços rochosos para efeitos de escavabilidade e desmonte (adaptado de: a) Franklin et al., 1971; b) Pettifer & Fookes, 1994; c) Tsiambaos & Saroglou, 2010). In: Galiza et al. (2011a).

A Figura 4 ilustra uma das dificuldades expectáveis do insuficiente tratamento e gestão dos georrecursos nos centros de produção dada a produção de grandes blocos devido à inadequada aplicação do diagrama de fogo, insuficiente estudo da compartimentação geoestrutural e geotécnica do maciço rochoso ou até mesmo da exploração de zonas do maciço em que é expectável a obtenção de grandes blocos quando o objectivo é a produção de granulometrias de baixo calibre (britas) face a blocos para enrocamento ou outras aplicações, aumentando os custos

de produção dos lotes de produtos finais, nomeadamente na fragmentação secundária dos blocos ou na quebra de produção devido à maior dimensão que é admissível dos equipamentos nos primeiros estágios de fragmentação.

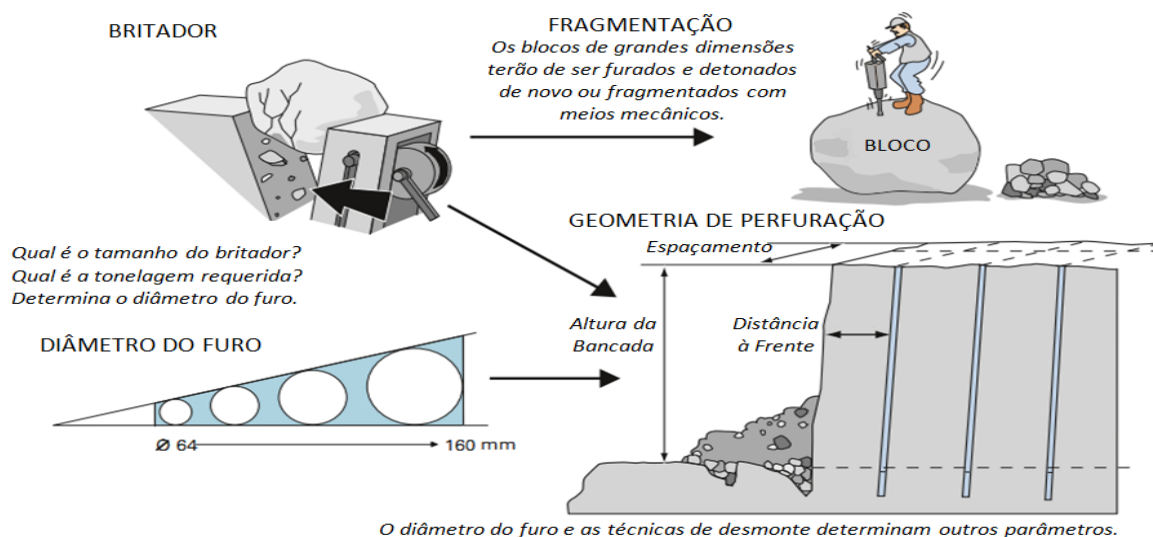


Figura 4 - Dificuldades expectáveis do insuficiente tratamento e gestão dos georrecursos nos centros de exploração (Ramos, 2013).

A realização de um estudo geológico-geotécnico com a aplicação da técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso da pedreira da Curviã n.º 2, em Joane, pretende contribuir para a caracterização da compartimentação de maciços rochosos fracturados tendo em vista a avaliação da sua compartimentação na perspectiva de contribuir para uma gestão racional e geo-economicamente sustentável dos recursos geológicos.

Para a avaliação do grau de compartimentação e descrição geotécnica seguiu-se especialmente as recomendações da “Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD)”, proposta pela “International Society for Rock Mechanics” (ISRM, 1981) e a técnica da amostragem linear em superfícies expostas de maciços rochosos fracturados (e.g., Brady & Brown, 2004; Martins et al., 2006; Chaminé et al., 2013, 2014), bem como outras recomendações propostas pela ISRM (2007), pela “Geological Society Engineering Group Working Party Report” (GSE, 1995), pelo “Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow” (CFCFF, 1996) e pela “International Association of Engineering Geology and Environment” (IAEG, 1981a,b,, 2005). Para o tratamento dos dados foi utilizada a aplicação informática ScanGeoData|BGD e SchmidtData|UCS (Fonseca et al., 2010), que permite uma fácil compilação e uma rápida análise dos dados. A avaliação da resistência à compressão uniaxial do material rochoso foi efectuada com recurso ao esclerómetro portátil (ou Martelo de Schmidt da Proceq, tipo L). Com o intuito de validar e confirmar os resultados obtidos

com este expedito ensaio “in situ”, foi realizado o Ensaio de Carga Pontual ou “Point Load Test” (ISRM, 1985).

Os principais objectivos deste estudo são os seguintes:

- O reconhecimento, a caracterização e a avaliação dos parâmetros geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço granítico da Curviã n.º 2;
- Avaliar a resistência mecânica das superfícies de descontinuidade e do material-rocha das bancadas através da realização de ensaios geomecânicos “in situ” (esclerométricos) e em laboratório (carga pontual);
- Definir um zonamento geotécnico com base nas caracterizações efectuadas e contribuir para a delimitação de um modelo geoeconómico sustentável dos recursos pétreos do centro de exploração da Curviã, n.º 2.
- Por fim, pretende-se fazer uma proposta de zonamento do georrecurso baseada no bloco unitário e sustentada na caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço rochoso. Este zonamento deverá permitir uma selecção dos geomateriais na sua génese (pedreira) em função das suas características físicas e geométricas, para que cumpram os requisitos da aplicação a que se destinam. Com esta informação, será possível auxiliar a gestão do georrecurso valorizando e optimizando a sua exploração, potenciando a taxa de aproveitamento dos blocos com maiores dimensões comerciais.

No tratamento da cartografia e dos levantamentos geológico-geotécnicos e geomecânicos recorreu-se às instalações do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (DEG|ISEP) nomeadamente, ao Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) e os ensaios geomecânicos foram executados no Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC|ISEP).

1.3. Organização da dissertação

Para a realização deste estudo propõe-se uma estruturação sistemática e devidamente enquadrada pelas diferentes temáticas. A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos principais, organizados da seguinte forma:

- O presente capítulo introdutório onde se contextualiza o trabalho referindo o âmbito e delimitação do tema em que este se insere com a apresentação dos principais objectivos, e alusão às metodologias e técnicas (de campo, de laboratório e ferramentas informáticas) utilizadas no decurso da investigação;

-
- O capítulo 2 apresenta o suporte teórico às principais noções, metodologias e técnicas relacionadas com a caracterização e a exploração dos maciços rochosos: anisotropias, compartimentação geoestrutural e geotécnica e comportamento geomecânico. Aborda-se uma série de temáticas no âmbito da: i) caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos e ii) conceitos, constrangimentos e potencialidades da qualidade de desmonte;
 - O capítulo 3 reporta o caso prático, i.e., e as metodologias de gestão e valorização para a exploração de georrecursos no caso do maciço rochoso da Curviã n.º 2 (Joane). Referem-se algumas generalidades da área em estudo e a sua situação geográfica. Apresenta-se a metodologia adoptada para elaboração das diferentes cartas de factores, i.e., geológica e geomorfológica. Apresenta-se um esboço da cartografia de zonamento geotécnico-geomecânico preliminar do maciço rochoso da Curviã n.º 2 com o aproveitamento em termos da blocometria possível de extrair das diferentes zonas geotécnicas na óptica da optimização na exploração do georrecurso;
 - O capítulo 4 apresenta uma discussão geral das principais conclusões resultantes das investigações desenvolvidas no decurso desta dissertação e aponta uma série de perspectivas futuras de investigação.

E, por fim, apresenta-se uma listagem das referências bibliográficas consultadas ao longo do estudo.

1.4. Metodologias e Técnicas

O estudo dos maciços rochosos nas explorações de materiais pétreos é uma tarefa complexa e interdisciplinar que requer trabalho de campo minucioso e uma análise cuidada dos dados obtidos sobre as suas propriedades geológicas, geotécnicas e geomecânicas (e.g., Terzaghi, 1965; Mazzoccola et al., 1997; Galiza et al., 2011a,b; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Chaminé et al., 2013).

Numa primeira fase do trabalho efectuou-se um reconhecimento de campo para se definir os constrangimentos topo-cartográficos, geológico-estruturais e petrofísicos do maciço em estudo e área envolvente (especialmente, a caracterização das unidades geológicas regionais e/ou locais, a descrição e caracterização das litologias, a cartografia das macro e meso-estruturas, os traços geológico-estruturais do maciço, a identificação das zonas alteradas e cartografia das suas espessuras, a localização das exurgências/infiltrações de água, etc.). Apresentam-se ainda, os

resultados do estudo de rede de fracturação regional, com base na análise morfoestrutural de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos locais. Compararam-se os resultados obtidos à mega e macroescala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala.

Na fase seguinte procedeu-se à recolha, tratamento, análise e interpretação dos dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço. Esta abordagem integrada permitiu a descrição e o zonamento geotécnico-geomecânico do maciço rochoso em estudo, tendo-se seguido, tal como referido anteriormente, as recomendações da ISRM – International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1981, 2007), da GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (GSE, 1995) e do CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF, 1996). Para a definição do grau de compartimentação do maciço rochoso foi aplicada a técnica de amostragem linear (Quadro 1) em superfícies expostas do maciço rochoso (e.g., Priest & Hudson, 1981; Priest, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Dinis da Gama, 1995; Peacock et al., 2003; Martins et al., 2006; Fonseca et al., 2010; Chaminé et al., 2013, 2014). Para a caracterização geomecânica do maciço, recorreu-se, aos ensaios de resistência mecânica “in situ” e laboratoriais, com a utilização do Esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (Quadro 2) e de carga pontual, PLT (“Point Load Test”) (Quadros 3, 4 e 5). As figuras 5, 6 e 7, representam, respectivamente as fichas de levantamento dos referidos dados.

Quadro 1 – Caracterização da Técnica de Amostragem Linear, “Scanline Sampling Technique” (adaptado de: Brady & Brown, 2004; Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al. 2013, 2014).

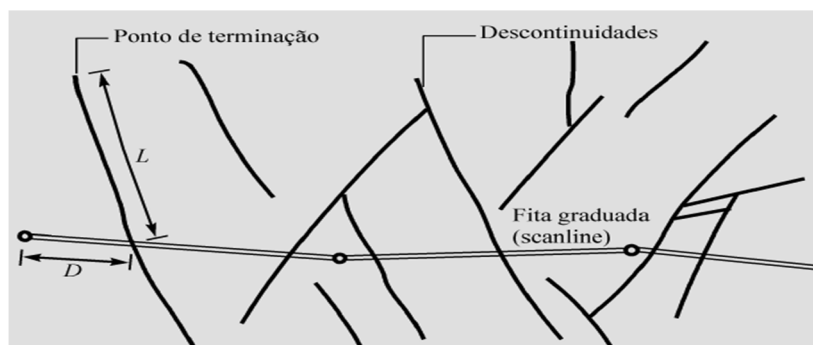
Generalidades

Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de se estudar exhaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade da área envolvente de um dado georrecurso, opta-se, em regra, por realizar esse estudo a partir de uma amostragem que seja representativa de todo o maciço. A amostragem ao longo de um perfil linear é uma aproximação rigorosa à recolha sistemática de informação respeitante às descontinuidades. Esta técnica é uma das formas mais expeditas de coligir dados relativos às descontinuidades. Dado que a amostragem, do ponto de vista cartográfico, deve ser realizada de preferência, sobre as superfícies expostas de taludes com características lineares (i.e., dispostos segundo direcções definidas, por exemplo, por vias de comunicação, ferroviária ou rodoviária), adopta-se em muitas situações a técnica da amostragem linear.

Descrição da técnica

Consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço e no registo de algumas características (geométricas e geomecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas. Na sua aplicação à área do maciço objecto deste estudo optou-se pela colocação de uma fita graduada a, aproximadamente, 1,70 m do solo. Para cada talude (ou painel) cartografado, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha de amostragem, foram cartografadas de uma forma sistemática todas as descontinuidades (e.g., diáclases, falhas, estruturas filonianas, foliação, etc) que intersectavam essa linha de amostragem. Para cada uma das descontinuidades que intersectava esta linha de amostragem foram descritas e registadas as seguintes grandezas: i) *D* – distância à origem da fita graduada; ii) *L* – semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face exposta da rocha, apenas para um dos lados da fita graduada; iii) *T* – tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (*R* – na rocha; *D* – noutra descontinuidade; *O* – obscura); iv) atitude da descontinuidade (direcção e inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade; v) *C* – curvatura, numa escala de 1 a 5, em que 1 representa superfícies planas e 5 superfícies muito curvas; vi) *R* – rugosidade (*R*), numa escala de 1 a 5, representando 1 uma superfície lisa e 5 uma superfície muito rugosa (podendo ser denteadas, onduladas ou planas); vii) além destas grandezas podem ainda ser registadas outras características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água e qualquer outra característica que se entenda relevante.

Representação esquemática



Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de: Brady & Brown, 2004). *D* – distância à origem da fita; *L* – Semi comprimento exposto.

Base de dados

Os dados são registados, na ficha de levantamento geológico-geomecânico e posteriormente analisados na base de dados dinâmica - ScanGeoData|BGD (Fonseca et al., 2010; Galiza et al., 2011a,b; Chaminé et al., 2013, 2014) - juntamente com a seguinte informação sobre a linha de amostragem, superfície exposta do maciço e dados gerais: i) orientação do talude e da scanline; ii) sentido de leitura; iii) unidade geológica; iv) zona geotécnica; v) altura da scanline ao solo; vi) rúbrica do responsável pelo levantamento e vii) data.

Quadro 2 - Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schimdt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951; Katz O., et al., 2000;; Kahraman S., et al., 2002; Aydin & basu, 2005; Aydin 2008 ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Generalidades

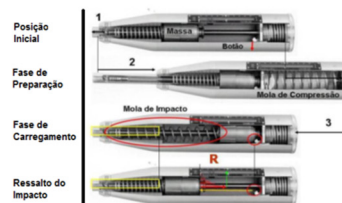
A resistência da matriz rochosa pode ser aproximadamente estimada no afloramento a partir de índices de campo e correlações com dados obtidos em ensaios realizados “in situ”. Frequentemente, para estimar o valor aproximado da resistência à compressão simples, ou seja, a dureza do material rocha em campo, utiliza-se o Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schmidt”, porém a sua aplicação pode também ser útil no estudo da resistência do preenchimento de descontinuidades existentes no maciço rochoso. Foi desenvolvido em 1948 como ensaio de natureza não destrutivo de dureza de betão (Schmidt, 1951), e usado a partir da década de 60, do século XX, para estimar a resistência em rocha (Cargill & Shakoore, 1990). O ensaio avalia a qualidade da rocha através de valores de ressalto (“Rebound”, R) de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. De acordo com Sumner & Nel, (2002), a presença de humidade diminui os valores de ressalto, factor que também influencia no juízo dos resultados. Este aparelho tem sido usado em vários contextos no domínio das geociências aplicadas, nomeadamente na geologia de engenharia e na geomorfologia aplicada (e.g., Day & Goudie, 1977; Day, 1980; Kolaiti & Papadopoulos, 1993; Goudie, 2006; Teixeira et al., 2007) e da geotecnia de maciços rochosos (e.g., Cargill & Shakoore, 1990; Katz et al., 2000; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002; Yassar & Erdogan, 2004; Aydin & Basu, 2005; Aydin, 2008). Pelo facto do ensaio ser executado um pouco por todo o mundo, é possível verificar uma convergência de valores de ressalto em rochas com a mesma génese.

Equipamento de medição e funcionamento

É formado por um cilindro que no seu interior tem uma mola de aço resistente ligada a um êmbolo, o qual se liga a um ponteiro que desliza longitudinalmente ao longo de uma escala situada a meio do aparelho.

É um instrumento de pequenas dimensões, de fácil e baixo custo de utilização, que pode ser utilizado em diversas posições, sendo portanto útil em locais de difícil acesso permitindo alcançar resultados imediatos. No entanto permite uma análise essencialmente qualitativa, pois os valores apresentam grande margem de dispersão e os resultados são relativamente imprecisos. Existem vários Martelos de Schmidt com diferentes níveis de energia de impacto, sendo que os mais utilizados na determinação das propriedades dos materiais rochosos são: os modelos L e N. O tipo N tem uma energia de impacto de $2,207 \text{ N/m}^2$, sendo mais utilizado no estudo de betões. O tipo L tem uma energia três vezes mais baixa que o do tipo N de $0,735 \text{ N/m}^2$ e é mais utilizado no estudo de maciços rochosos.

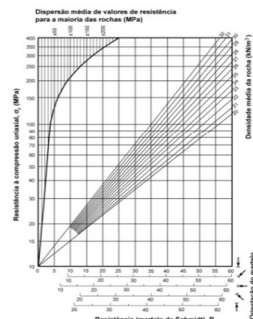
Baseia-se no princípio de que a percussão de uma mola de aço, quando impelida com uma certa energia contra uma superfície rochosa, é proporcional à robustez do material. Em função da dureza da rocha, a massa de aço sofre um maior ou menor ressalto (“Rebound”, R), o valor é registado no aparelho, numa escala (adimensional) de 10 a 100. Antes de se efectuar novo disparo, o martelo deve ser armado, i.e., a mola do aparelho deve estar ligeiramente comprimida.



Quando o êmbolo é pressionado contra a parede em estudo, o cilindro fica em posição de disparar a mola. É importante que a superfície seja lisa, sem fissuras e livre de materiais resultantes da meteorização da rocha, a posição do aparelho em relação a esta (horizontal, vertical ou oblíqua) deve ser anotada porque após o disparo da mola, obter-se-á um número na escala que vai entrar no ábaco (de Miller) de conversão. Este é um dos poucos testes que tem em conta a resistência da fina camada alterada de material que se encontra nas paredes das descontinuidades.

Avaliação da resistência

Em cada local de ensaio registam-se, na ficha de levantamento geomecânico, 10 percussões com o martelo (ISRM, 1981) e elimina-se os cinco valores mais baixos, sendo que o valor a considerar é a média dos cinco valores mais altos. Os valores de ressalto obtidos em cada local de ensaio são posteriormente convertidos numa estimativa de resistência à compressão uniaxial a partir do ábaco de Miller (Miller, 1965), determinando o parâmetro JCS (Joint compressive strength) de acordo com o modelo de Barton et al. Para determinar a resistência à compressão uniaxial a partir deste ábaco devem considerar-se aspectos como a posição do martelo de Schmidt no momento do ensaio e o peso volumico do material ensaiado.



Designação	Peso volumico
	KN/m ³
Sienito nefelínico	26,5
Sienito	25,5
Granito	26
Diorito	28
Gabro	29,4
Sal-gema	20,6
Carvão	7 a 20
Argilito	22 a 26
Cálcario puro, denso	26,5
Mármore	27
Micaxisto	27,7
Anfibolito	29,3
Riólito	23,2
Basalto	27,2
Gesso	22,6

Intervalos MPa (Kg/cm ²)	Simbolos	Designações
> 200 (> 2000)	S ₁	Muito elevada
60 a 200 (600 a 2000)	S ₂	Elevada
20 a 60 (200 a 600)	S ₃	Média
6 a 20 (60 a 200)	S ₄	Baixa
< 6 (< 60)	S ₅	Muito baixa

A densidade média da rocha investigada associada ao valor médio obtido da dureza de Schmidt e à orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada (i.e., perpendicular à superfície de ensaio, e normalizada para as direcções sub-horizontal, e sub-vertical (Basu & Aydin, 2004) permite, através do ábaco de Miller, fazer uma correlação a fim de apurar a resistência à compressão uniaxial. Com esta quantificação, o maciço rochoso é classificado quanto à sua resistência à compressão simples, ou, numa escala que varia entre resistência muito elevada (S1) e resistência muito baixa (S5), proposta pela ISRM (1981).

Quadro 3 - Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT ("Point Load Test") – Parte 1 (Adaptado de ISRM, 2007).

Generalidades

A determinação da resistência à compressão simples da rocha recorrendo a ensaios de compressão uniaxial é uma tarefa que requer especiais e morosos cuidados na preparação das amostras e condução dos ensaios. Em certos casos, o número de ensaios requeridos para determinar as propriedades dum vasto leque de tipos de rocha referentes a um projecto pode assumir um valor extremamente elevado. Existem outros casos em que a resistência à compressão simples e o comportamento tensão-deformação não necessita de ser estudado em detalhe, bastando o conhecimento aproximado do valor da resistência. Nestas circunstâncias, haverá vantagem em recorrer a ensaios bastante mais simples e económicos que o ensaio de compressão uniaxial, desde que os resultados destes ensaios possam fornecer índices correlacionáveis com a resistência à compressão das rochas. Um método alternativo de aferir a resistência à compressão simples das rochas consiste na determinação do índice de resistência ou índice de carga pontual através do ensaio de carga pontual ("Point Load Test") também conhecido por ensaio Franklin. A direcção de aplicação da carga pode ser axial ou diametral (ISRM, 1985). Conduz à determinação de dois índices, o índice de resistência da carga pontual ($I_s(50)$) e o Índice de anisotropia ($I_a(50)$) da carga pontual. Consiste em levar à rotura as amostras de rocha através de uma carga concentrada entre duas ponteiras cónicas, quer sob a forma de blocos prismáticos ou cilíndricos quer de forma irregular podendo a direcção da aplicação da carga ser axial ou diametral. Consoante as características de forma do testemunho, o eixo escolhido para a aplicação da força, o tipo de rocha a ensaiar e a maior ou menor anisotropia, define-se o tipo de ensaio a efectuar.

Equipamento

A máquina a utilizar quer em laboratório quer no campo deve ser constituída por um sistema de aplicação de carga sem interrupção, um sistema de medição da força P e um sistema de medição da distância D , entre duas ponteiras cónicas através do qual é aplicada a carga.



Sistema de carregamento

Deve ser tal que permita romper os provetes das amostras de rocha com resistências semelhantes a 50 KN e que permita o ensaio em provetes de tamanho variável que podem ir desde os 15 aos 100 mm. A máquina de ensaio deve ser concebida e construída de modo que as ponteiras cónicas que transmitem a carga aos provetes sejam indeformáveis e devem manter-se durante o ensaio devidamente alinhadas, esta condição exige que a máquina de ensaio seja rígida. Tanto o sistema de medição de carga como o sistema de medição da distância entre ponteiras deve ter uma precisão de $\pm 2\%$.

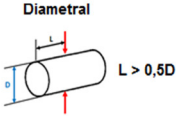
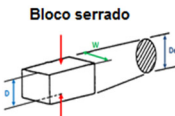
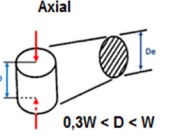
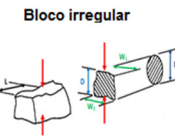















Calibração

O equipamento de ensaio deve ser calibrado periodicamente por meio de um certificado independentemente da carga celular e por um conjunto de blocos de deslocamento, P e D e leituras ao longo de toda a gama de cargas e deslocamentos pertinentes aos ensaios.

Sistema de medição

Deve permitir por uma leitura directa da escala permitindo a medição da distância D . Independentemente do tamanho da amostra ensaiada, as medições de D devem ter uma precisão de $\pm 2\%$ D . Para que a precisão de leituras não seja prejudicada pelos respectivos ensaios, o sistema tem de ser suficientemente resistente aos choques e vibrações hidráulicas. O sistema de medição deve permitir uma verificação do "deslocamento zero", quando as duas ponteiras estão em contacto. É necessário um paquímetro, para medir a largura W de todas as amostras do ensaio diametral.

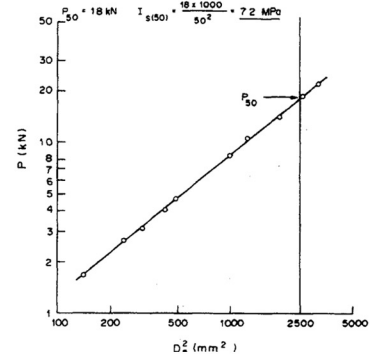
Quadro 4 - Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 2 (Adaptado de ISRM, 2007).

Procedimento de ensaio										
<i>De um modo sucinto, podemos distinguir quatro tipos de ensaios:</i>										
 <p>Diametral $L > 0,5D$</p>	 <p>Bloco serrado $0,3W < D < W$ $L > 0,5D$</p>									
 <p>Axial $0,3W < D < W$</p>	 <p>Bloco irregular $0,3W < D < W$ $L > 0,5D$ $(W1+W2)/2$</p>									
Ensaio diametral:										
<p>Usados provetes cilíndricos na qual a relação comprimento/diâmetro é > 1. O provete deve ser colocado na máquina de ensaio de forma a que a distância entre ponteiros e a extremidade livre mais próxima seja pelo menos 0,5 vezes o diâmetro do provete. Anota-se o valor da distância entre ponteiros D e o valor da carga de rotura P. Os ensaios cuja superfície de rotura não passe pelos dois pontos de contacto devem ser rejeitados. Deve realizar-se pelo menos, dez ensaios por amostragem em rochas homogêneas e mais de dez ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas.</p>										
Ensaio Axial:										
<p>Usados provetes cilíndricos cuja relação comprimento/diâmetro varia entre 0,3 e 1,0. Os provetes compridos podem ser ensaiados diametralmente de forma a produzirem novos provetes com dimensões adequadas para serem ensaiados axialmente. O provete é colocado na máquina de ensaio, de modo a que o eixo de ensaio coincida com o eixo perpendicular às faces planas da amostra. No caso de amostras rochas de isotrópicas, o eixo de ensaio coincide com o eixo do cilindro e, no caso de amostras anisotrópicas, é perpendicular aos planos de descontinuidade. Deve realizar-se pelo menos, dez ensaios por amostragem em rochas homogêneas e mais de dez ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas. Anota-se o valor da distância entre ponteiros D, a largura do provete W, perpendicular à direção de carga (com uma precisão de $\pm 5\%$) e o valor da carga P.</p>										
Ensaio em blocos ou fragmentos irregulares:										
<p>São utilizados nestes ensaios provetes com formas irregulares desde que a relação distância entre ponteiros – largura do provete varie entre 0,3 a 1,0, de preferência, próximo da unidade. A carga deve ser aplicada a uma distância superior a 0,5 vezes a largura do provete. O provete é colocado, na máquina de ensaio, devidamente centrado e anotam-se a distância entre ponteiros, D, a menor dimensão do provete, W, perpendicular ao eixo de ensaio e a carga de rotura, P</p>										
Provetes										
<p>Geralmente, são necessários 10 ensaios válidos por cada tipo de rocha que se pretende caracterizar, no entanto, um número inferior pode ser suficiente se a dispersão de resultados for pequena. São considerados válidos somente os resultados dos ensaios cuja superfície de rotura contenha os pontos de aplicação da carga. Se a superfície de rotura passa apenas por um ponto de carga, o ensaio deve ser rejeitado. A figura ilustra roturas típicas para ensaios válidos e inválidos.</p>										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensaio</th> <th>Provetes ensaiados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Válidos</td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Inválidos</td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </tbody> </table>	Ensaio	Provetes ensaiados	Válidos				Inválidos			
Ensaio	Provetes ensaiados									
Válidos										
										
										
Inválidos										
										
Cálculo										
<p>O cálculo do índice da resistência à carga pontual I_s é calculado através da expressão:</p>										
	$I_s = \frac{P}{De^2}$									
<p>Onde, P é a carga de rotura, D é a distância entre ponteiros cônica (diâmetro do provete ou altura da amostra ensaiada).</p>										

Quadro 5 – Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 3 (Adaptado de ISRM, 2007).

Continuação do cálculo

O índice da resistência à carga pontual I_s deve ser corrigido para $I_s(50)$, ou seja, para o valor correspondente a $D = 50$ mm, o qual também se pode obter através do gráfico apresentado a seguir.



Projectam-se os valores de P e D^2 obtidos nos ensaios num diagrama log-log, e obtém-se uma recta a partir da qual é possível extrapolar o valor P correspondente a $D^2 = 2500 \text{ mm}^2$. A partir dos valores lidos, determina-se:

$$I_s(50) = \frac{P(50)}{2500}$$

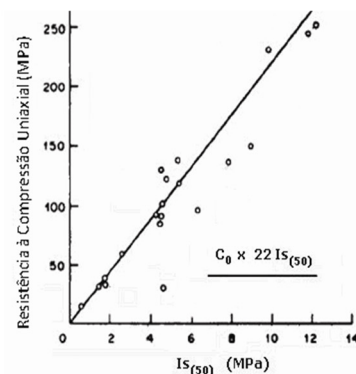
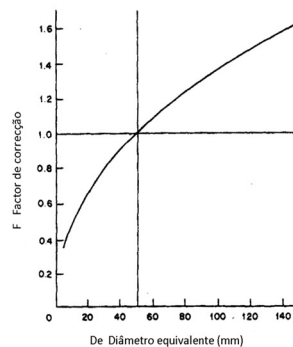
Quando se utilizam amostras de tamanhos únicos, o melhor processo é determinar $I_s(50)$ numericamente, ou seja, a partir da expressão :

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \cong \sqrt{\frac{De}{50}}$$

Nos ensaios axiais, em blocos ou em fragmentos irregulares: Distância equivalente:

$$De = 4 \times \frac{A}{\Pi} \quad A = W \times D$$

Nos ensaios diametraes: $D = De$



O cálculo dos valores médios de $I_s(50)$ deve ter em conta o seu índice de resistência pontual e de anisotropia. O valor médio de $I_s(50)$ deve ser calculado retirando os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos de 10 ou mais testes válidos. No caso de terem sido efectuados menos testes, retira-se o valor mais elevado e o mais baixo e faz-se a média dos restantes valores.

Em rochas com anisotropia conferida pela xistosidade, foliação ou estratificação, a realização do ensaio de carga pontual deverá ter em atenção a orientação de tais descontinuidades estruturais. Nestes casos, é usual a determinação dos índices de carga pontual, quer na direcção perpendicular quer na direcção paralela a esses planos; sendo assim possível definir um índice de anisotropia, dado pela relação entre aqueles índices.

O índice de anisotropia $I_a(50)$ é calculado determinando-se a razão entre as medianas dos índices calculados para tensões normais e paralelas aos planos de descontinuidade. $I_a(50)$ toma valores próximos de 1 para materiais isotrópicos e valores mais elevados quando a rocha é anisotrópica. $I_s(50)$ deve ser utilizado directamente na classificação das rochas, enquanto que as correlações com a resistência à compressão uniaxial são apenas aproximações. A resistência à compressão uniaxial é cerca de 20 a 25 vezes a resistência à carga pontual.

Todos os dados obtidos nos ensaios laboratoriais são registados numa "ficha tipo" do ensaio.

***2 - Desmonte de maciços rochosos: anisotropias,
compartimentação e comportamento geomecânico***

2. Desmonte de maciços rochosos: anisotropias, compartimentação e comportamento geomecânico

2.1. Considerações iniciais

As Engenharias Geotécnica, Geológica, Mineira e Civil durante a sua actividade profissional, contactam, de um modo genérico, com materiais inertes constituintes da crosta terrestre que poderão ser designados de solos e rochas. Terzaghi & Peck (1967) definiram solo como todo o agregado natural de partículas minerais separáveis por processos mecânicos de baixa intensidade, como por exemplo a agitação na água. Assim, opõe-se à ideia de rocha (ou de material-rocha ou de material rochoso; Rocha, 2013) a qual pode ser considerada como um agregado de minerais associados por forças coesivas permanentes constituindo a matriz rochosa. Surge, assim, uma gama de materiais naturais que tanto podem ser incluídos no grupo dos solos como no grupo das rochas. Desta forma, passou a definir-se um grupo de materiais, correspondente ao de rochas de baixa resistência ou rochas brandas (González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Na investigação dos materiais rochosos e/ou terrosos recorre-se, em geral, a três disciplinas científicas que tomam as designações de Mecânica das Rochas, de Mecânica dos Solos e de Geologia de Engenharia (e.g., Terzaghi & Peck, 1967; Harck et al., 2004; Bock, 2006; Rocha, 2013). Nascimento (1990) considerou o início da publicação da revista internacional “Géotechnique” em Londres, em 1948, como o reconhecimento formal da autonomia deste ramo face à Engenharia Civil. As distinções, geralmente atribuídas a cada uma delas, baseiam-se sobretudo nos diferentes métodos de investigação, de classificação, de metodologias de ensaio, de interpretação, de modelação e, por fim, de projecto (Ramos, 2008).

Segundo Mello Mendes (1967), a Mecânica das Rochas ou Geomecânica dos meios fracturados estuda o comportamento reológico (físico e mecânico) dos materiais geológicos considerados na prática como material-rocha.

Do ponto de vista da mecânica das rochas, designa-se por material rochoso (ou, simplesmente, rocha) o material entre as superfícies de compartimentação de um maciço rochoso, i.e., o material dos blocos, completamente separados ou não, que essas superfícies determinam (Rocha, 2013). Por isso, o estudo e caracterização de um maciço rochoso terá, em grande parte dos casos, que passar pela análise dos seus dois constituintes, por um lado, o material-rocha e por outro, as descontinuidades. Com efeito, o material rochoso não é contínuo, apresentando tanto descontinuidades planares macroscópicas (falhas, fissuras, diaclases, etc.) como microscópicas. A anisotropia dos maciços rochosos provém, por um lado, da anisotropia da rocha e, por outro, das famílias de descontinuidades que interceptam os maciços. Esta última contribuição é, em regra, a

mais relevante, não só no respeitante à deformabilidade mas também à ruptura dos maciços (Hoek, 2007; Rocha, 2013) in Pinto, 2013.

O comportamento e as propriedades mecânicas dos maciços rochosos são influenciados pelos seguintes factores (González de Vallejo & Ferrer, 2011): i) litologia e propriedades petrofísicas da matriz rochosa; ii) estrutura geológica e descontinuidades; iii) grau de alteração e alterabilidade; iv) estado de tensão a que está submetido o material e v) condições hidrogeológicas.

Em suma, o estudo aprofundado de maciços rochosos é determinante para a solução dos mais diversos problemas decorrentes em projectos de engenharia. É fundamental o acompanhamento técnico-sistemático de uma dada obra de engenharia para auxiliar a tomada de decisão, quer nos aspectos mais amplos do projecto quer na resolução de problemas pontuais. Assim, em estudos de caracterização geotécnica e geomecânica de maciços fracturados, a contribuição da geologia e da geomorfologia é de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (e.g., Terzaghi, 1965; Rocha, 1981; Vidal Romani & Twidale, 1999; Chaminé et al., 2013, 2014). Além disso, em qualquer projecto geotécnico são importantes os pressupostos técnico-científicos referidos na figura 9, os quais deverão estar sempre perspectivados numa lógica de gestão económica racional para a sua concretização (e.g. Dinis da Gama, 1995; Mazzoccola et al., 1997; Fonseca, 2008; Ramos, 2008; Fonseca et al., 2010; Galiza et al., 2011a,b; Galiza, 2013).

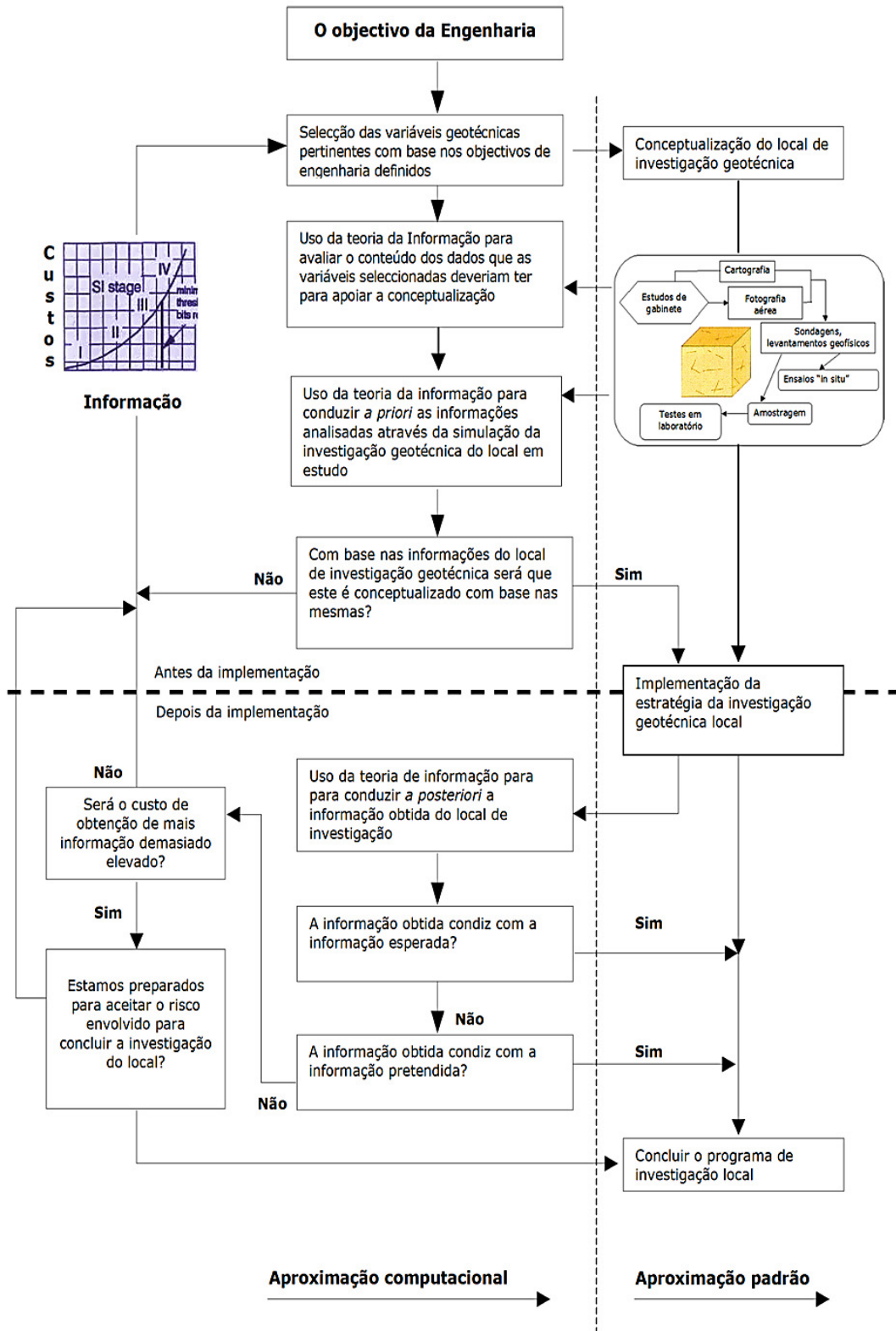


Figura 9 - Esquema para a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (Mazzoccola et al., 1997). In: Galiza (2013).

2.2. Maciços rochosos: breve caracterização geológica e geotécnica

Os maciços rochosos podem ser definidos como massas rochosas constituídas por um ou mais tipos litológicos, localizados num determinado contexto espacial e estando afectadas por descontinuidades, com características geológico-geotécnicas, geomecânicas e geohidráulicas (Figura 10), que conferem ao conjunto uma anisotropia global (Hoek, 1966, 2007). Os maciços rochosos apresentam características geomecânicas que dependem, em primeiro lugar, da geologia das próprias rochas que os formam, mas também de alguns parâmetros geotécnicos que são intrínsecos de cada maciço e da sua história geotectónica (e.g. Hudson & Cosgrove, 1997; Galiza et al., 2011a,b; Galiza 2013).

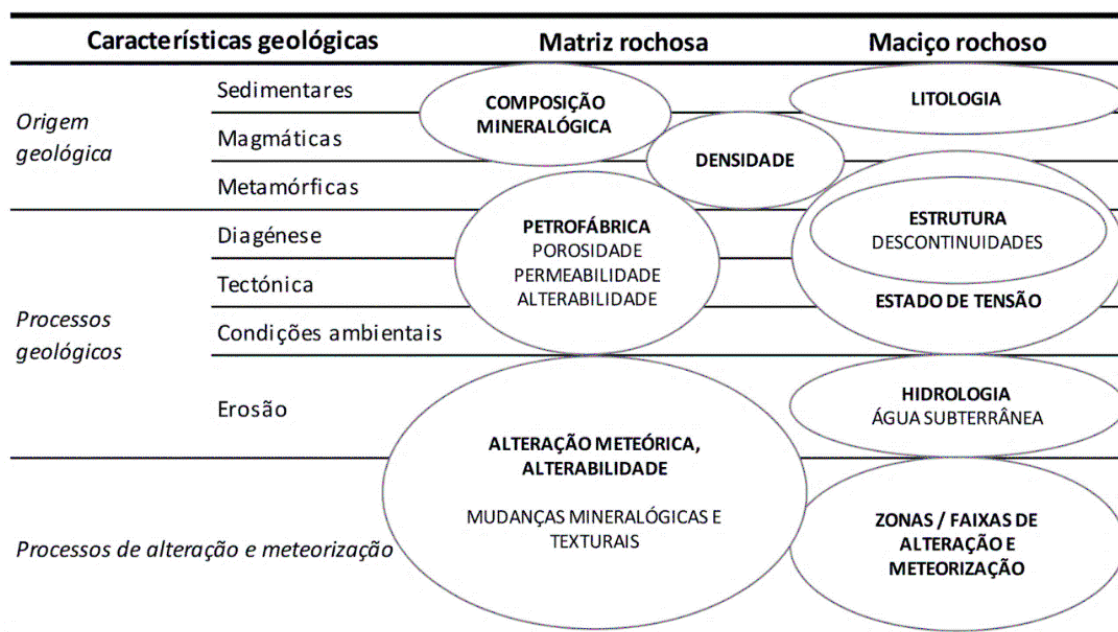


Figura 10 - Características geológicas da matriz rochosa e do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).

Para se ter uma visão da problemática das estruturas geológicas deveremos perspectivá-las num quadro de observação e descrição com efeito de escala, i.e., há, quase sempre, uma replicabilidade escalar das estruturas desde a megaescala até à microescala (e.g., Cunha & Muralha, 1990; Mandl, 2005; Price, 2009). O passado geomecânico dos maciços rochosos constitui um factor essencial para a compreensão do seu comportamento em função das causas naturais (sismos, vulcanismo, erosão, etc.) e as necessidades impostas pelas populações através das infraestruturas realizadas sobre eles ou da exploração das massas minerais (Dinis da Gama, 1995; Bernardo, 2010; Galiza, 2013). Com efeito, o material rochoso não é contínuo, apresentando geralmente descontinuidades macroscópicas (fracturas, diaclases, fissuras, falhas,

cisalhamentos, etc.) e microscópicas (microfissuras, partição, defeitos cristalinos). A heterogeneidade dos maciços rochosos provém, por um lado, da anisotropia da rocha e, por outro lado, da persistência das famílias de descontinuidades que intersectam os maciços (Figura 11).

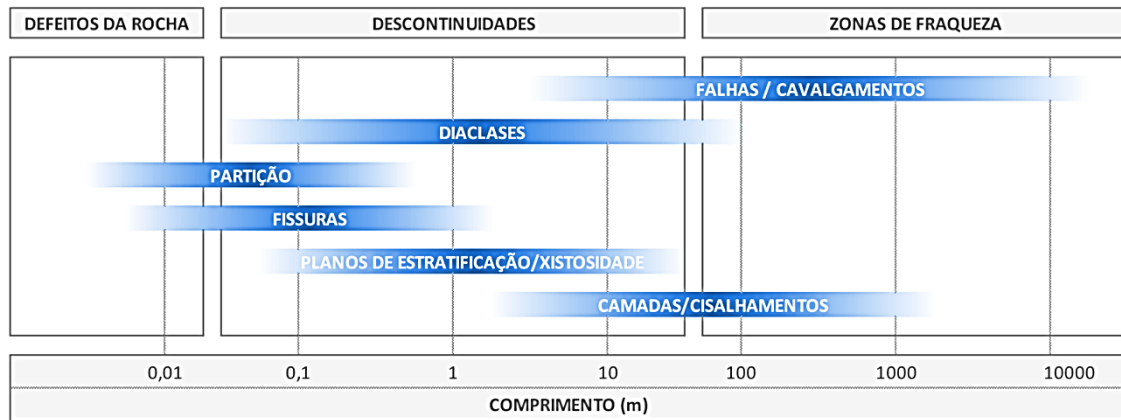


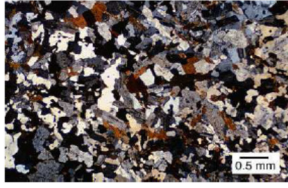
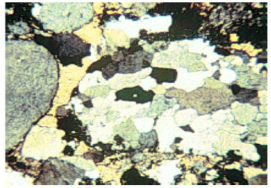
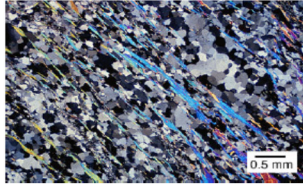
Figura 11 - Comparação relativa entre os principais tipos de descontinuidades nos maciços rochosos (adaptado de Price, 2009). In: Galiza (2013).

2.2.1. Matriz rochosa vs. descontinuidades

Um maciço rochoso difere de outros materiais aplicados à engenharia uma vez que este é intersectado por descontinuidades de vários tipos, as quais lhe conferem uma estrutura descontínua. Assim, deve ser feita uma clara distinção entre material rochoso (ou material-rocha ou, simplesmente, rocha) e maciço rochoso. Material-rocha pode ser descrito como a rocha intacta entre descontinuidades (Galiza, 2013).

A rocha intacta é constituída pelo conjunto, mais ou menos compacto, de grãos cristalinos e nalguns casos, matéria amorfa. O termo matriz rochosa poderá ser mais correcto uma vez que existirá já algum grau de alteração e fissuração nesse conjunto de grãos cristalinos. O Quadro 6 apresenta alguns exemplos de matrizes rochosas com texturas diferentes características dos tipos de rochas referidos. As rochas são, assim, sólidos policristalinos, descontínuos e que podem exibir uma certa anisotropia derivada de uma orientação preferencial na sua estrutura (Press & Siever, 1998).

Quadro 6 - Exemplos da heterogeneidade litológica do material rochoso (Ramos, 2008)

Rocha [exemplo]	Ígnea	Sedimentar	Metamórfica
	<i>Granito</i>	<i>Conglomerado</i>	<i>Micaxisto</i>
Fotografia			
Breve Descrição	<i>Aglomerado compacto de grãos com volume de vazios reduzido</i>	<i>Grãos arredondados e maior volume de vazios</i>	<i>Grãos orientados numa direcção preferencial</i>

Há uma série de parâmetros que se utiliza para a identificação e descrição quantitativa das propriedades básicas da matriz rochosa através de estudos geológicos (mineralógicos, petrográficos e geoquímicos) e geotécnicos, denominadas propriedades índice, que, serão em primeira instância, em confronto com a composição mineralógica e a petrofábrica, as propriedades que determinam o comportamento mecânico das rochas (Rocha, 2013). O Quadro 7 inclui uma lista de todos os métodos para a sua avaliação (González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Quadro 7 - Propriedades da matriz rochosa e métodos para a sua determinação (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011; Ramos 2013).

	Propriedades	Métodos de determinação
Identificação e classificação	<i>Composição mineralógica</i>	<i>Descrição visual</i>
	<i>Fábrica e textura</i>	<i>Microscopia óptica e electrónica</i>
	<i>Tamanho do grão</i>	<i>Difracção de raios X</i>
	<i>Cor</i>	
	<i>Porosidade (n)</i>	<i>Técnicas de laboratório</i>
	<i>Peso específico (γ)</i>	
	<i>Humidade</i>	
	<i>Permeabilidade (k)</i>	<i>Ensaio de permeabilidade</i>
<i>Durabilidade</i>	<i>Ensaio de alterabilidade</i>	
<i>Alterabilidade (índice de alterabilidade)</i>		
Mecânicas	<i>Resistência à compressão simples (σ_c)</i>	<i>Ensaio de carga pontual</i> <i>Ensaio de compressão uniaxial</i> <i>Martelo de Schmidt</i>
	<i>Resistência à tracção (σ_t)</i>	<i>Ensaio de tracção directa</i> <i>Ensaio de tracção indirecta</i>
	<i>Velocidade das ondas sísmicas (V_p, V_s)</i>	<i>Medida da velocidade de ondas elásticas em laboratório</i>
	<i>Resistência (parâmetros c, γ, ϕ)</i>	<i>Ensaio de compressão triaxial</i>
	<i>Deformabilidade (E, ν)</i>	<i>Ensaio de compressão uniaxial</i> <i>Ensaio de velocidade sónica</i>

Por exemplo, o conhecimento apenas da composição mineralógica não é suficiente para a perfurabilidade do maciço (Figura 12), pois material-rocha com a mesma composição mineral e com diferentes tamanhos de grão terão perfurabilidades diferentes; como também acontecerá em rochas com interligação entre os grãos com diferente coesão para o mesmo tamanho de grão. O estado de interligação poder-se-á manifestar na rocha por superfícies de “fraqueza” como é a fissuração, o bandado, a foliação, etc. (Galiza, 2013).

Características do material-rocha	Classificação das condições de perfuração				
	Rápida	Algo rápida	Regular	Algo lenta	Lenta a muito lenta
Dureza	1 - 2	3 - 4	5 - 6	6 - 7	> 7
Classificação (Protodyakonow)	Muito branda	Medianamente branda a branda	Medianamente dura	Dura	Muito dura
Textura	Porosa	Vacuolar	Compacta	Porfíroide	Densa
Qualidade geotécnica muito má a excelente					
Tipo de rotura	Polvorenta	Algo Frágil	Frágil	Frágil	Muito frágil
Quebra					
	Extremamente fácil	Muito Fácil	Algo Fácil	Difícil	Muito difícil
Geo-estrutura	Maciça	Xistenta	Laminada	Estratificada	Compartimentada
Atitude					

Figura 12 - Síntese com as condições de perfuração relativamente à dureza, textura, tipo de rotura e geoestrutura (Singh & Goel, 2011). In: Galiza (2013).

As superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos (Quadros 8 e 9) correspondem a alinhamentos que definem uma interrupção na continuidade da matéria que constitui o maciço definindo, portanto zonas de fraqueza (fracturação associada) onde as suas características originais começam a alterar-se, conduzindo à sua compartimentação sem implicações genéticas. A orientação e a resistência ao corte das descontinuidades são os aspectos mais importantes a ter em conta no que diz respeito à estabilidade e resistência de um qualquer maciço rochoso.

Os diferentes tipos de descontinuidades podem ser agrupados em duas categorias: descontinuidades sistemáticas (Quadro 8) ou descontinuidades pontuais (Quadro 9). Para cada um destes tipos deve adoptar-se uma metodologia de estudo específica.

Quadro 8 - Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 1 (adaptado de Sodré Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Descontinuidades sistemáticas (quando ocorrem em famílias)			
Planares			
Planos de estratificação	Superfícies de laminação	Planos de xistosidade	Diaclases
Correspondem às superfícies que limitam os estratos nas rochas sedimentares. São descontinuidades sistemáticas com continuidade elevada e cujo espaçamento varia geralmente entre alguns centímetros e vários metros.	São descontinuidades sistemáticas que ocorrem nas rochas sedimentares e correspondem a planos que limitam lâminas ou níveis mais pequenos de uma sequência sedimentar. Estas superfícies adquirem maior importância nas rochas de grão fino e caracterizam-se por apresentarem espaçamento muito reduzido (milimétrico ou centimétrico).	São de origem tectónica e ocorrem em rochas que sofreram deformação, dispendo-se perpendicularmente à direcção de compressão máxima. Estas descontinuidades sistemáticas desenvolvem-se melhor quanto menor for a granularidade da rocha, apresentado frequência elevada e espaçamento de ordem milimétrica.	Planos de descontinuidade mais frequentes nos maciços rochosos e correspondem a superfícies de fracturação ou rotura da rocha ao longo dos quais se perdeu a coesão do material, não ocorrendo deslocamento (ou se ocorreu terá sido muito reduzido). Podem ser: Diaclases em rochas ígneas (originadas por contracção de um corpo ígneo durante ou após a sua instalação, apresentando uma disposição característica em três famílias ortogonais entre si. Podem ser: i) cruzadas; ii) diagonais; iii) sub-horizontais e iv) longitudinais); Diaclases de origem tectónica (associadas a falhas, dispendo-se paralelamente à superfície de falha e menos frequentes à medida que a distância ao plano de falha aumenta, e dobramentos, apresentando disposição característica com o tipo de dobramento); Diaclases originadas pela descompressão do maciço (Devido a redução da carga litostática, dispõem-se subparalelamente à superfície topográfica e a sua frequência diminui em profundidade).
Lineares			
Lineações e intersecção de estruturas planares			
São especialmente de origem tectónica e ocorrem em rochas que sofreram deformação. Estas subdividem-se em lineações (e.g., fibrosidade mineral) e lineações por intersecção de estruturas planares (e.g., eixos de dobras).			
Metodologia de estudo			
Ocorrem geralmente em grande número e a sua frequência na área em estudo é determinante na compartimentação do maciço, não se justifica portanto o seu estudo individualizado mas sim uma análise estatística que pode ser realizada de duas formas diferentes: i) definir uma área quadrada com 20 m de lado, referenciar geograficamente os seus vértices e contar todas as descontinuidades que ocorrem nesse espaço, descrevendo todas as suas características; ii) definir três perfis com 20 metros de comprimento ortogonais entre si e analisar todas as descontinuidades que ocorrem perpendicularmente a essas direcções.			

Quadro 9 - Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 2 (adaptado de Sodré Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Descontinuidades pontuais (quando existe um único plano que atravessa o maciço rochoso)		
Planares		
Falhas	Discordâncias	Filões
<i>São descontinuidades pontuais que correspondem a planos de rotura ou fracturação ao longo dos quais ocorreu deslocamento. A sua extensão pode variar entre alguns metros e centenas de quilómetros. Podem ocorrer zonas de fragilidade associadas às quais se dá nome habitualmente de “zona ou caixa de falha” ou brechas, não sendo possível por vezes distinguir um plano de rotura.</i>	<i>De origem estratigráfica, sedimentar e tectónica. Podem ser consideradas de vários tipos consoante a génese tectónica e tectonossedimentar (e.g., discordância angular, disconformidade, paraconformidade, etc.)</i>	<i>Intrusões ígneas ou massas minerais que preencheram o espaço das descontinuidades. O seu estudo terá que ser efectuado considerando o tipo de material constituinte e as características dos blocos da rocha encaixante.</i>
Lineares		
Eixos de dobras		
<i>As dobras formam-se no interior da crosta ou do manto de forma lenta e gradual, emergindo à superfície devido aos movimentos tectónicos e à erosão. Os elementos de dobra, que caracterizam a geometria das dobras, são: i) os flancos, ou vertentes da dobra, porções de menor curvatura; ii) a charneira, que corresponde à zona de convergência das camadas de cada flanco, ou seja, a linha que une os pontos de máxima curvatura de uma dobra; iii) o núcleo, formado pelas camadas mais internas da dobra; iv) o plano ou superfície axial, plano que contém as charneiras dos diferentes estratos dobrados, dividindo a dobra em dois flancos sensivelmente iguais e v) o eixo da dobra, que corresponde ao ponto de interseção do plano axial com a charneira.</i>		
Metodologia de estudo		
<i>São geralmente mais contínuas do que as descontinuidades sistemáticas, podendo atingir vários quilómetros de extensão, no caso das falhas. Estas descontinuidades requerem uma descrição e estudo individualizado, pois controlam de forma significativa o comportamento mecânico do maciço.</i>		

Num meio geodinâmico, são as descontinuidades que mais estão sujeitas à alteração/meteorização e são veículos preferenciais para a circulação de água. Quando as descontinuidades apresentam orientação, características físicas e resistentes semelhantes, são agrupadas numa mesma família e estudadas em conjunto. Descontinuidades com características singulares, de grande extensão, que interceptam as demais famílias (e.g., falhas, filões, etc.) devem ser analisadas de forma individual. As superfícies de descontinuidade podem ter origem sedimentar (e.g., superfícies de estratificação ou laminação), diagénica (e.g., estruturas filoneanas) ou tectónica (Figura 13) (e.g., diaclases e falhas) (e.g. González de Vallejo & Ferrer, 2011).

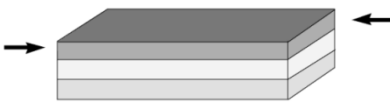
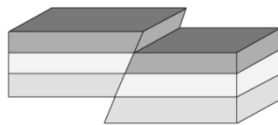
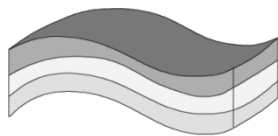
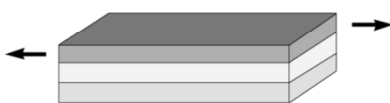
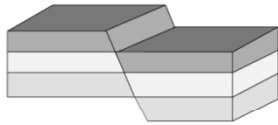
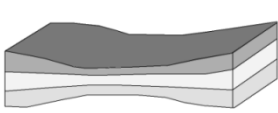
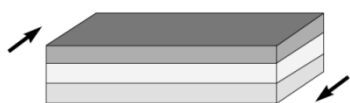
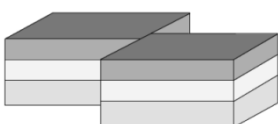
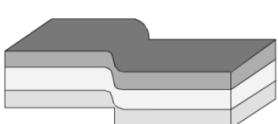
Tipo de limite tectónico	Estado de tensão	Tipo de deformação associado
Convergente	Compressivo 	<i>Frágil - falha</i> 
		<i>Dúctil - dobra</i> 
Divergente	Distensivo 	<i>Frágil - falha</i> 
		<i>Dúctil - distensão</i> 
Transformante	Cisalhante 	<i>Frágil - falha</i> 
		<i>Dúctil - Cisalhamento</i> 

Figura 13 - Fracturas resultantes de esforços tectónicos em compressão, distensão e corte (cisalhamento), (Adaptado de Press & Siever, 1998)

2.2.2. Compartimentação de maciços rochosos: tipos de anisotropias

A caracterização do maciço rochoso deve realizar-se assim de forma objectiva e individualizada, incluindo o estudo da matriz rochosa, das discontinuidades e de outros aspectos representativos do conjunto que tendem a descrever tanto as suas propriedades intrínsecas como os factores externos, tais como: o tamanho dos blocos e intensidade da fracturação, o número e orientação das famílias de discontinuidades e o grau de alteração. Para a caracterização global de um maciço rochoso a partir dos dados obtidos no estudo dos afloramentos, juntamente com a descrição dos

seus componentes, da matriz rochosa e das descontinuidades, devem ser considerados outros aspectos representativos do conjunto, tais como (ISRM, 1981):

- 1) Número e orientação das famílias de descontinuidades;
- 2) Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação;
- 3) Grau de alteração;
- 4) Índice de qualidade da rocha – RQD (Rock Quality Designation);

1) Número e orientação das famílias de descontinuidades

O comportamento mecânico do maciço rochoso, o seu modelo de deformação e os seus mecanismos de rotura estão condicionados pelo número de famílias de descontinuidades (conjunto de todas as descontinuidades que apresentam idêntica orientação). O grau de fracturação e a dimensão dos blocos de rocha são fornecidos pelo número de famílias de descontinuidades, a sua abertura, espaçamento e continuidade, sendo cada família caracterizada pela sua orientação no espaço e pelas propriedades e características dos planos que contém. As famílias de descontinuidades podem representar-se graficamente em diagramas de blocos, permitindo a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa.

O maciço pode classificar-se pelo número de famílias, variando entre maciços rochosos são ou compactos, com apenas uma família de descontinuidades, ou maciços muito fracturados, com quatro ou mais famílias de descontinuidades. A ISRM (1981) recomenda que se considerem os nove casos para análise do número de famílias de descontinuidades que ocorrem em determinada zona do maciço (Quadro 10).

Quadro 10 - Classificação dos maciços rochosos quanto ao número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).

<i>Tipo de maciço rochoso</i>	<i>Número de famílias</i>
<i>I</i>	<i>Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</i>
<i>II</i>	<i>Uma família de descontinuidades.</i>
<i>III</i>	<i>Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</i>
<i>IV</i>	<i>Dois famílias de descontinuidades.</i>
<i>V</i>	<i>Dois famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</i>
<i>VI</i>	<i>Três famílias de descontinuidades.</i>
<i>VII</i>	<i>Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.</i>
<i>VIII</i>	<i>Quatro ou mais famílias de descontinuidades.</i>
<i>IX</i>	<i>Maciço de rocha esmagada, com o aspecto idêntico ao de um solo.</i>

O número de famílias e respectivas orientações condicionam o comportamento de um maciço rochoso no seu todo. A intensidade do grau de fracturação e o tamanho dos blocos da matriz rochosa são função do número de famílias de descontinuidades e do espaçamento entre as mesmas. A diferenciação entre famílias de descontinuidades é feita através da sua orientação espacial e pelas propriedades e características dos planos que as compõem. As descontinuidades são agrupadas em famílias de acordo com a sua orientação e, posteriormente, tratadas estatisticamente através de técnicas de projecção estereográfica (diagramas de rosetas, estereogramas), apurando-se assim a orientação média de cada família.

Considera-se que a família principal (de maior importância) presente num maciço rochoso é aquela que apresenta maior grau de penetrabilidade (e.g., maior continuidade, menor espaçamento, maior abertura, etc.). O comportamento mecânico do maciço rochoso e os seus mecanismos de rotura estão condicionados, em grande parte, pelo número de famílias de descontinuidades. A intensidade do grau de fracturação e o tamanho dos blocos da matriz rochosa são dados pelo número de famílias de descontinuidades e pelo espaçamento de cada família. Cada uma das famílias fica caracterizada pela sua orientação no espaço, pelas suas propriedades e características dos planos estruturais.

2) Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação

O tamanho dos blocos que constituem o maciço rochoso condiciona de forma significativa o seu comportamento e as suas propriedades resistentes. A dimensão e a forma dos blocos estão definidas pelo número de famílias de descontinuidades, pela sua orientação, espaçamento e continuidade. Deste modo, pode classificar-se o maciço rochoso em função da forma e tamanho dos blocos e da intensidade de fracturação.

O tamanho dos blocos pode ser avaliado de duas formas (ISRM 1978, 1981):

Índice Dimensional - I_b ("Block Size Index")

Representa as dimensões médias do bloco-tipo estimadas em afloramentos. Este índice perde significado para mais de quatro famílias de descontinuidades, sendo, assim, dado pela média dos comprimentos dos três lados do sólido em questão. Por exemplo, no caso de uma rocha com planos das descontinuidades perpendiculares entre si, o índice I_b , seria definido por:

$$I_b = (e_1 + e_2 + e_3)/3$$

em que, e_n ($n=1, 2, 3$) são os valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades e n o número de famílias. Na prática, este índice é pouco utilizado visto ser de difícil determinação e bastante complexo.

Índice Volumétrico - J_v ("Volumetric Joint Count")

Representa o número total de descontinuidades que interceptam uma unidade de volume (1 m^3) do maciço rochoso. É obtido com base nos espaçamentos médios das famílias de descontinuidades presentes através da expressão:

$$1/e_1 + 1/e_2 + 1/e_3 + \dots + N_r/5$$

em que, e_n ($n=1, 2, 3$) são os valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades e n o número de famílias e N_r a soma do número de descontinuidades pertencentes a cada uma das famílias.

A partir dos valores obtidos para J_v , é então possível a descrição do tamanho dos blocos em função do número de descontinuidades (Quadro 11).

Quadro 11 - Descrição do tamanho dos blocos em função do número de descontinuidades (ISRM 1978).

Descrição	J_v (desc./m ³)
<i>Blocos muito grandes</i>	< 1
<i>Blocos grandes</i>	1 – 3
<i>Blocos de dimensão média</i>	3 – 10
<i>Blocos pequenos</i>	10 – 30
<i>Blocos muito pequenos</i>	> 30

As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de blocos-diagrama (bloco unitário), permitindo assim a visualização espacial da forma (orientação das descontinuidades e do número de famílias) e dimensão (espaçamento, continuidade e número de famílias) do bloco unitário da matriz rochosa. As descontinuidades quando dispostas com uma certa regularidade designam-se por superfícies de compartimentação, i.e., são os planos de anisotropia planar de fraqueza estrutural (Figuras 14 e 15).

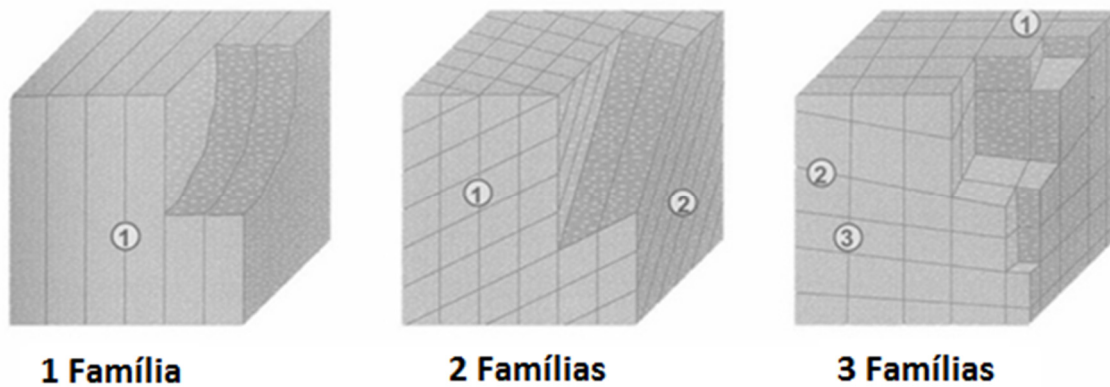


Figura 14 - Representação das famílias de descontinuidades em blocos-diagrama: ilustração do bloco unitário (González de Vallejo & Ferrer, 2011).

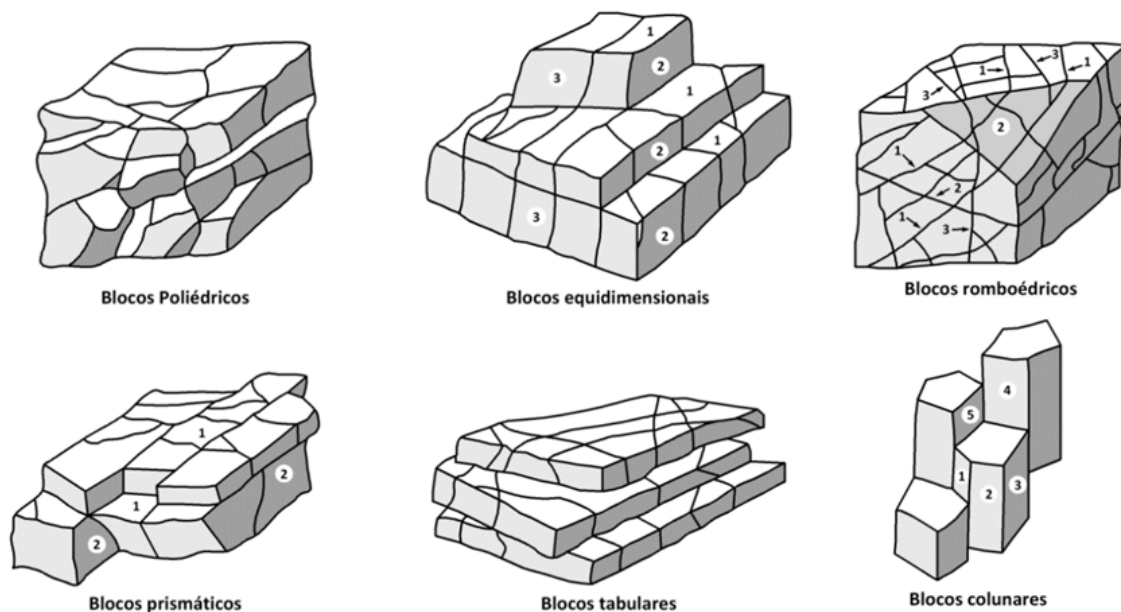


Figura 15 - Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995).

Para a descrição dos maciços recorre-se ainda ao seu aspecto macroscópico e qualitativo. Também para este caso a ISRM (1978) definiu seis tipos de maciços rochosos (compacto, em blocos, tabular, colunar, irregular e esmagado) que são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos (ISRM, 1978, 1981).

Classe	Tipo	Descrição
I	Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo.
II	Cúbico	Blocos aproximadamente equidistantes.
III	Tabular	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas.
IV	Colunar	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a vertical) consideravelmente maior que as outras duas.
V	Irregular	Grandes variações no tamanho e forma dos blocos.
VI	Esmagado	Blocos com dimensões bastante pequenas.

3) Grau de alteração

A alteração de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição, levadas a cabo por agentes físicos químicos naturais, que transformam essa rocha noutra produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente (Aires-Barros, 1991). Segundo Price & de Freitas

(2009), a alteração implica uma mudança na rocha, de uma condição inicial para uma nova condição, resultante de processos geodinâmicos externos. Brady & Brown (2004) sustentam que esta resulta da alteração química ou física da rocha à superfície através da reacção com gases atmosféricos e soluções aquosas. Este parâmetro deve ser verificado nas discontinuidades, pois o grau de alteração modifica características como a rugosidade e abertura que contribuem para a variação da resistência da matriz rochosa assim como no ângulo de atrito das superfícies rochosas.

A avaliação do grau de alteração do maciço rochoso realiza-se por observação directa do afloramento e comparação com os índices padrão presentes no Quadro 13. Esta avaliação pode variar ligeiramente consoante a experiência do observador. Para uma análise mais precisa, deve-se fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa. Existem também meios expeditos para suportar esta determinação, como, por exemplo, verificar-se: a rocha quebra à pancada com o martelo de geólogo e a resistência que lhe oferece; a rocha é friável ao toque; a rocha se desagrega quando imersa em água.

Os maciços rochosos apresentam diferentes estados de alteração consoante a litologia, grau de fracturação e profundidade, encontrando-se graus de alteração mais avançados perto da superfície.

Quadro 13 - Avaliação do grau de alteração do maciço rochoso (ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995).

Zonas do maciço	Grau de alteração	Nomenclatura		Significado	
<i>Inferior</i>	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	W1-2	<i>Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa</i>	<i>Sã e compacta; Descontinuidades fechadas; Permeabilidade é praticamente nula</i>
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2		<i>Mudança na cor original da matriz rochosa (descoloração)</i>	
<i>Intermédia</i>	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	W3	<i>Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original</i>	<i>Maciço mais ou menos são; Intersectado por descontinuidades abertas</i>
<i>Superior</i>	<i>Muito alterada</i>	W4	W4-5	<i>Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo; a rocha é muito friável</i>	<i>Zona alterada a muito alterada ou mesmo decomposta; Permeabilidade do tipo intersticial; Pode coexistir uma circulação fissural</i>
	<i>Completamente alterada</i>	W5		<i>Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado num solo residual</i>	

4) Índice de Qualidade RQD (*Rock Quality Designation*)

Para avaliar a intensidade de fracturação e classificar o maciço rochoso quanto ao seu “grau de fracturação” utiliza-se o índice RQD (“Rock Quality Designation”) proposto por Deere et al. (1967). Apesar da sua utilidade prática, este índice não considera aspectos como a orientação, o espaçamento, os preenchimentos e outras condições das descontinuidades, logo não será suficiente para descrever as características da fracturação dos maciços rochosos.

Existem várias práticas para determinar o seu valor no entanto, em afloramento, pode ser estimado a partir da correlação empírica com o índice J_v (Palmstrom, 1975):

$$\text{RQD} = 115 - 3,3 J_v \quad \text{para } J_v > 4,5$$

$$\text{RQD} = 100 \quad \text{para } J_v \leq 4,5$$

Pode ser avaliado a partir de testemunhos de sondagem, em função da sua intensidade de fracturação (e.g., Deere, 1963; Deere et al., 1967; Deere & Deere, 1988).

A obtenção deste parâmetro realiza-se através da expressão:

$$\text{RQD (\%)} = \frac{\sum L \geq 10\text{cm}}{L_T} \times 100$$

em que, $\sum L \geq 10 \text{ cm}$ - somatório dos testemunhos não alterados com comprimento igual ou superior a 10 cm e L_T - comprimento total de sondagem

Existe também a possibilidade de obter este índice através do parâmetro λ , frequência das descontinuidades, mediante a expressão seguinte, que expressa o valor teórico do RQD:

$$\text{RQD} \approx 100 e^{(-0,1 \times \lambda)} \times (0,1 \times \lambda + 1)$$

Onde, λ é a inversa do espaçamento médio das descontinuidades.

Segundo a proposta de Deere (1963) e actualizações em Deere et al. (1967) e Deere & Deere, (1988), a qualidade da rocha pode ser avaliada conforme o Quadro 14.

Quadro 14 - Correlação entre os valores de RQD e qualidade do maciço (Deere et al., 1967).

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

É uma percentagem de recuperação modificada, somente aplicável a sondagens executadas à rotação e com amostradores de diâmetro igual ou superior a 76 mm, considerando apenas como elementos de amostra, os que apresentarem comprimento maior ou igual a 10 cm (Figura 16).

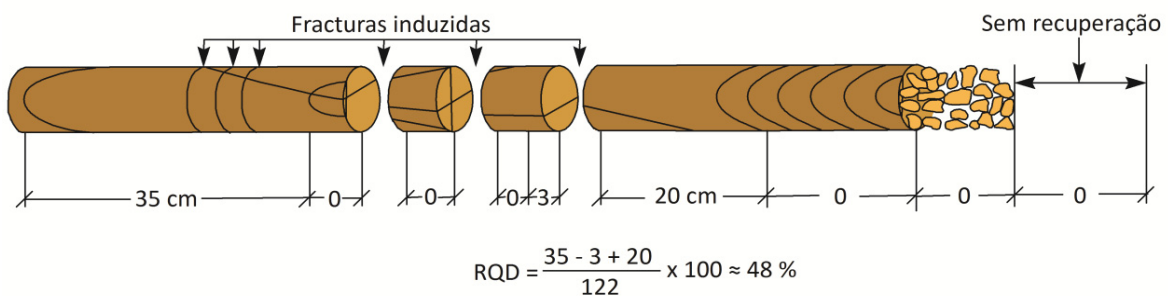


Figura 16 - Procedimento de medição e exemplo do cálculo do RQD (adaptado de Deere et al., 1967; Hoek, 2007).

A Figura 17 apresenta o equipamento de campo básico para estudos de compartimentação de maciços rochosos recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos bem como medição dos desvios de perfuração.



Figura 17 - Equipamento de campo básico para a utilização da técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (González de Vallejo & Ferrer, 2011). In: Galiza (2013).

É de grande importância a descrição dos afloramentos rochosos, nos quais se identificam as condições geomorfológicas e geológicas gerais (Vidal-Romani & Twidale, 1999), bem como a heterogeneidade litológica, as geoestruturas, o estado de alteração e as condições hidrogeológicas (Ferrer & González de Vallejo, 2007). Assim poder-se-á estabelecer um zonamento geotécnico dos maciços rochosos, com o suporte geológico estrutural e geotécnico, baseado especialmente na classificação BGD – “Basic Geotechnical Description of Rock Masses” da ISRM (1981) e actualizações ou recomendações posteriores em GSE (1995), CFCFF (1996) e EC7 (1997).

No estudo do grau de fracturação, a partir da rede de descontinuidades, é fundamental a determinação das suas características principais, tais como (ISRM, 1978, 1981): a atitude geológica, o espaçamento (em termos de “fracture intercept”), a rugosidade, a abertura, a terminação, o grau de alteração, o enchimento e a heterogeneidade litológica. No Quadro 15 apresentam-se as principais características e propriedades a registar nos levantamentos de campo, em regra, suportados pelo uso de técnicas de amostragem linear (“scanlines”; e.g., ISRM, 1981; Chaminé & Gaspar, 1995; Dinis da Gama, 1995; Martins et al., 2006; Fonseca et al., 2010; Chaminé et al., 2013, 2014).

Quadro 15 - Principais propriedades, métodos e técnicas nos levantamentos de campo na caracterização e descrição de maciços rochosos [Terzaghi (1965), Priest (1981, 1985, 1993), West (1991), Lisle & Leyshon (2004), Ferrer & González de Vallejo (2007), ISRM (2007), Ragan (2009), Norbury (2010)].

	Propriedades	Métodos e técnicas *	Classificações / Índices
MATRIZ ROCHOSA Material-rocha	Litologia, Estrutura e Textura	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímicas	Geológica: mineralogia e petrografia
	Alteração	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímicas	Geológica (mineralogia e petrografia) e Geotécnica (índice de alteração W - "Weathering"; ISRM, 1978, 198; GSE, 1995)
	Resistência	Técnicas e ensaios de campo na matriz-rochosa: Ensaio de resistência expedita (Martelo de Geólogo); Ensaio de Resistência com Martelo de Schmidt (USC - índice de dureza R); Ensaio de Carga Pontual (PLT - IS50) - equipamentos de campo e de laboratório	Geológica (índices expeditos de resistência de campo "R - Rock / S - Soil"; ISRM, 2007) e Geotécnica (índices de Resistência S - "Strength" [ISRM, 1981, 1985]: i) dureza de Schmidt R; ii carga pontual IS50)
DESCONTINUIDADES Rocha Intacta	Atitude Geológica	Técnicas de Cartografia Geológica e de Geologia Estrutural: Bússola de Geólogo	Geológica: geologia estrutural (análise geológico-estrutural e definição de famílias)
	Espaçamento / "Fracture Intercept" Continuidade	Técnicas de Cartografia Geológica e de Geologia Estrutural: Bússola de Geólogo	Geotécnica (ISRM, 1978, 1981, 2007): índices F ("fracture intercept" / espaçamento), L (comprimento)
	Rugosidade	Observação e técnicas expeditas de campo; Avaliação com micro-rugosímetros	Geotécnica (ISRM, 1981, 2007): Análise e comparação com tabelas de perfis de rugosidade padronizados
	Resistência das superfícies de descontinuidades	Técnicas e ensaios de campo nas superfícies de descontinuidades: Ensaio de resistência expedita (Martelo de Geólogo); Ensaio de Resistência com Martelo de Schmidt (USC - índice de dureza R); Ensaio de Carga Pontual (PLT - IS50) - equipamentos de campo e de laboratório	Geológica (índices expeditos de resistência de campo "R - Rock / S - Soil"; ISRM, 2007) e Geotécnica (índices de Resistência S - "Strength" [ISRM, 1981, 1985]: i) dureza de Schmidt R; ii carga pontual IS50)
	Abertura Preenchimento Percolação / Infiltração de água	Técnicas geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas de campo	Geológica (mineralogia, petrografia, geoquímica) e hidrogeotécnica (índices hidrogeotécnicos propostos por: Bieniawski, 1989; Gates, 1997, 2003)
MACIÇO ROCHOSO Compartimentação do maciço	Número de famílias de descontinuidades	Técnicas de Geologia Estrutural e de Geologia de Engenharia	Geológica: geologia estrutural (análise geológico-estrutural e definição de famílias) e Geotécnicas (análise e definição de índices volumétricos)
	Tamanho do bloco		
	Grau da fracturação		
	Grau de alteração	Observações macroscópicas, apoiadas com lupa; complementarmente com microscópico petrográfico e análises mineralógicas e/ou geoquímicas	Geológica (mineralogia e petrografia) e Geotécnica (índice de alteração W - "Weathering"; ISRM, 1978, 198; GSE, 1995)

2.2.3. Reconhecimento geológico e cartografia das superfícies expostas do maciço

Um estudo geológico e geotécnico de qualquer maciço interessado por obras de Engenharia, não deve ser iniciado sem se proceder ao seu reconhecimento geológico. Este reconhecimento deve-se iniciar sempre pela análise da informação existente relativamente à região em estudo, nomeadamente no que se refere a elementos de natureza topográfica, geológica, sismológica e geotécnica com recolha sistemática da informação possível que contemple a área em estudo recorrendo ao estudo selectivo da bibliografia regional, a análise de mapas topográficos e fotografias aéreas e/ou imagens de satélite e, por fim, ao estudo, caso existam, dos relatórios geológicos e geotécnicos preliminares.

O primeiro passo no estudo de um afloramento de um dado maciço rochoso consta da sua identificação, reconhecimento e descrição geral. Posteriormente, leva-se a cabo a divisão em zonas — denominadas por zonas geotécnicas, e a descrição das mesmas. É de extrema utilidade a realização de fotografias e desenhos esquemáticos do afloramento, onde se deverão indicar as características geológicas e geotécnicas básicas de cada zona (Oliveira, 1990; Zuquette & Gandolfi, 2004).

Os mapas geotécnicos (Quadro 16) são de extrema importância para os seguintes campos (Zuquette & Gandolfi, 2004; González de Vallejo & Ferrer, 2011), a saber:

- **Planeamento do território** (regional, local e urbano): escalas pequenas ou médias; incluem informação sobre os factores com incidência construtiva, necessária para conhecer os problemas relacionados com fundações, escavações, estabilidade de terrenos, recursos naturais, reservas de água e armazenamento de resíduos;
- **Obras de engenharia** (*e.g.*, estradas, caminhos de ferro, túneis e barragens): estudos prévios ou de viabilidade para selecção de traçados; informação e dados para o projecto e construção de uma obra. A cartografia geotécnica é constituída por uma série de cartas, a saber: i) Cartas de factores; e, ii) Cartas de síntese: Cartas de zonamento geotécnico; Cartas de aptidão. Os mapas geotécnicos incluem, entre outras, informações várias sobre os materiais geológicos, dados geomorfológicos e hidrogeológicos, dados quantitativos dos diferentes componentes do meio geológico, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e informações interpretativas para sua aplicação geotécnica.

Quadro 16 - Tipologia dos mapas geotécnicos em função da sua escala e conteúdos (González de Vallejo & Ferrer, 2011).

<i>Tipo de mapa geotécnico e escala</i>	<i>Conteúdo</i>	<i>Método de elaboração</i>	<i>Aplicações</i>
<i>Regional (>1:10.000)</i>	<i>Dados geológicos e litológicos, estrutura geotectónica, traços geomorfológicos regionais; Informação geral de furos geotécnicos e interpretações.</i>	<i>Fotografia aérea, mapas topográficos e geológicos prévios, informação existente, observações de campo.</i>	<i>Planeamento e reconhecimentos preliminares, informação geral sobre a região e tipos de materiais existentes.</i>
<i>Local - Etapa de reconhecimento preliminar (1:10.000 a 1:5000)</i>	<i>Descrição e classificação de solos e rochas, estruturas, geomorfologia, processos geodinâmicos, localização de materiais para construção.</i>	<i>Fotografia aérea, levantamento de campo, medidas e dados de campo.</i>	<i>Planeamento e viabilidade de obras e reconhecimento detalhado.</i>
<i>Local - Etapa de investigação "in situ" (1:5.000 a 1:500)</i>	<i>Propriedades dos materiais e condições geotécnicas, aspectos importantes para a construção de uma obra concreta.</i>	<i>Os anteriormente referidos e ainda dados de sondagens, geofísica, ensaios "in situ" e laboratoriais.</i>	<i>Detalhes sobre o local e problemas geológicos-geotécnicos; Dimensionamento de obras.</i>

2.2.4. Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos: descrição e classificação

A “Basic Geotechnical Description of Rock Masses”, BGD (ISRM, 1981) surgiu com a necessidade de colmatar os seguintes aspectos:

- Criar uma normalização, ao nível da terminologia e das recomendações, que permitissem ao geotécnico (seja, com um perfil de Geólogo de Engenharia, de Engenheiro Geotécnico, de Engenheiro Geólogo, de Engenheiro Civil (ramo Geotecnia), de Engenheiro de Minas, etc.) transmitir uma caracterização geral de um dado maciço rochoso de modo a serem inteligíveis pelo espectro alargado das formações técnico-científicas supracitadas;
- Conter a maior quantidade possível de informação de interesse, para a descoberta de novas soluções, relacionadas com os problemas de engenharia de maciços rochosos;
- Sempre que possível utilizar, descrições simples e padronizadas, em vez, de observações isoladas e personalizadas.

Uma cuidadosa descrição da matriz rochosa e da natureza das suas discontinuidades deve ser suficientemente detalhada para que sirva de base a uma classificação funcional do maciço rochoso (ISRM, 1978). A descrição de cada zona geotécnica deve ser o mais objectiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada para efeitos de geologia aplicada à engenharia (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCEFF, 1996).

González de Vallejo & Ferrer (2011) sustentam que as discontinuidades condicionam de forma definitiva as propriedades e a compartimentação dos maciços rochosos em termos de resistência,

deformabilidade e coeficiente hidráulico. A resistência ao corte nas discontinuidades é o aspecto mais importante na determinação da resistência dos maciços rochosos fracturados e, para a sua correcta avaliação, é necessário definir as características e as propriedades das superfícies das discontinuidades. Na descrição das diferentes famílias de discontinuidades num maciço rochoso incluem-se os seguintes parâmetros geológico-geotécnicos representados na Figura 18 (adaptado de ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

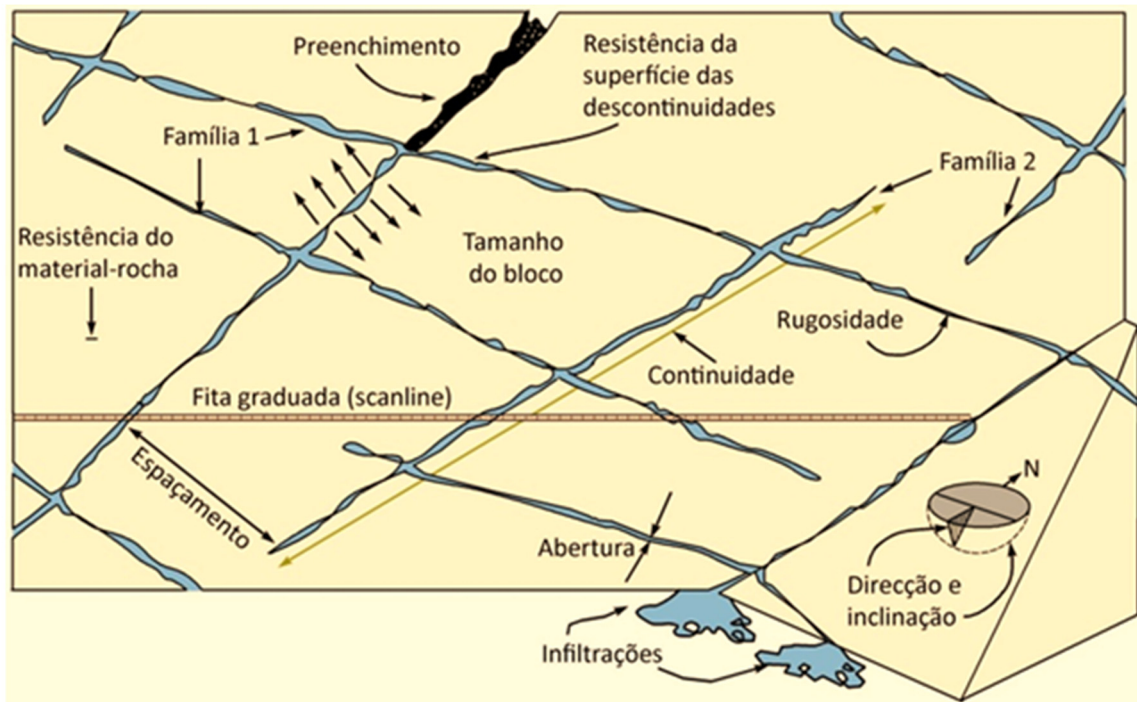



Figura 18 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). In: Ramos (2008).

Nos quadros 17 a 24 são apresentados em traços gerais os parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades (adaptado: ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

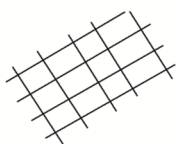
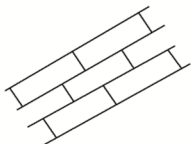
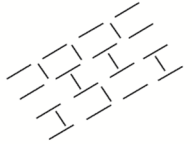
Quadro 17 – Atitude geológica - parâmetro geológico-geotécnico das discontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Atitude geológica	
Descrição	<p>Posicionamento no espaço definido pela direcção (ângulo que uma linha horizontal do plano define com o Norte magnético) e inclinação (ângulo que a recta de maior declive do plano (perpendicular à direcção) define com o plano horizontal). As discontinuidades sistemáticas apresentam-se em famílias com atitude e características mais ou menos homogéneas. Para definir adequadamente cada família deve medir-se um número suficiente de atitudes, sendo esse número condicionado pela dimensão da área estudada, da aleatoriedade das atitudes dos planos e do detalhe da análise. A determinação da atitude média de cada família estabelece-se a partir do cálculo estatístico dos valores obtidos durante as medições.</p>
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<p>É medida com o auxílio de uma bússola de Geólogo, com clinómetro. É aconselhável medir um número suficiente de orientações de discontinuidades para definir adequadamente cada família. O número de medidas dependerá da dimensão da zona estudada, da aleatoriedade das orientações dos planos e do detalhe de análise. Se as orientações são constantes pode-se reduzir o número de medidas. A direcção mede-se segundo a direcção dos ponteiros do relógio desde o norte geográfico, e varia entre 0° e 360°. A inclinação mede-se mediante o clinómetro, com valores entre 0° e 90°.</p>
Representação e/ou classificação	<p>Os valores da atitude (direcção e inclinação) podem ser expressos em azimutes, indicando o tipo de discontinuidade ao valor que correspondem, por exemplo, SW 270°/60° segundo uma direcção de 270° ou, na notação tradicional, por quadrantes segundo o rumo ou direcção, ângulo que forma uma linha horizontal traçada sobre o plano de discontinuidade com o norte magnético, medindo em direcção a este e a inclinação, deve indicar neste caso o sentido da inclinação (norte, sul, este, oeste), por exemplo N40°E; 30°W, sendo N40°E a direcção e 30°W a inclinação). A representação gráfica da orientação das diferentes famílias de discontinuidades pode realizar-se mediante projecção estereográfica (representando os pólos ou planos com valores médios das diferentes famílias), diagramas circulares (que permitem representar um grande numero de medidas de orientação de forma quantitativa), definição do bloco unitário (permitindo uma visão geral de famílias e as suas orientações respectivas) e símbolos em mapas geológicos (indicam os valores médios de direcção e valor da inclinação para os diferentes tipos de discontinuidades (juntas, falhas, etc).</p>
Esquemas	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Direcção Inclinação 30° Direcção da inclinação</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>45°</p> <p>Símbolos em mapas geológicos</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Projecção estereográfica polar (estereograma)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Diagrama de roseta</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Bloco-diagrama</p> </div> </div>









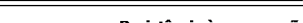








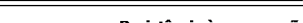








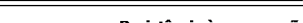
Quadro 18 – Espaçamento “fracture intercept” - parâmetro geológico-geotécnico das discontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Espaçamento ("fracture intercept")																			
Descrição	<p><i>Distância média medida entre discontinuidades. Independentemente da família, sucessivas segundo a intersecção com uma linha de amostragem. O espaçamento corresponde à distância perpendicular entre os planos de discontinuidade. Normalmente, este valor refere-se ao espaçamento médio ou modal dos valores medidos para as discontinuidades de uma mesma família. O espaçamento entre os planos de discontinuidade condiciona o tamanho dos blocos de matriz rochosa e, portanto, assume importância no comportamento mecânico do maciço rochoso. O espaçamento das discontinuidades tem um papel muito importante na permeabilidade do maciço rochoso, na percolação de água e na velocidade de alteração das zonas contíguas. Geralmente, a condutividade hidráulica relativa a uma determinada família é inversamente proporcional ao seu espaçamento, sempre que a abertura das discontinuidades individuais seja comparável.</i></p>																		
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<p><i>A medição realiza-se com auxílio de uma fita graduada, perpendicularmente aos planos ao longo de um comprimento suficientemente representativo para perceber a frequência das discontinuidades registando-se a distância entre as discontinuidades adjacentes. Geralmente, as superfícies expostas nos afloramentos rochosos não permitem realizar as medidas do espaçamento na direcção perpendicular às suas superfícies, e o que se medem são espaçamentos aparentes, devendo-se aplicar as correcções necessárias para obter o espaçamento real. Ao colocar a fita métrica perpendicularmente aos planos de cada família, mede-se a distancia d, que deverá ser corrigida para calcular o espaçamento real, $e = d \times \sin \alpha$, sendo "e" o espaçamento real, "d" a distancia media medida com a fita e "α" o ângulo entre a linha de medição e a direcção da família. Em maciços rochosos com espaçamentos grandes, de vários metros, as propriedades da matriz rochosa prevalecerão relativamente aos processos de deformação e rotura. Se os espaçamentos são menores, de vários decímetros a 1 ou 2 metros, o comportamento do maciço é determinado pelos planos de fraqueza, por último, se o espaçamento é muito pequeno o maciço encontrar-se-á muito fracturado e o seu comportamento será controlado pelas propriedades do conjunto de blocos mais ou menos uniformes. Quanto menor for o espaçamento entre as discontinuidades, maior será a fracturação do maciço o que aumenta a deformabilidade deste levando à diminuição da resistência apresentada pelo maciço.</i></p>																		
Representação e/ou classificação	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Intervalos (cm)</th> <th style="text-align: center;">Símbolos</th> <th style="text-align: center;">Designações</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">> 200</td> <td style="text-align: center;">F_1</td> <td style="text-align: center;">Muito afastadas</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60 a 200</td> <td style="text-align: center;">F_2</td> <td style="text-align: center;">Afastadas</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20 a 60</td> <td style="text-align: center;">F_3</td> <td style="text-align: center;">Medianamente afastadas</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6 a 20</td> <td style="text-align: center;">F_4</td> <td style="text-align: center;">Próximas</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">< 6</td> <td style="text-align: center;">F_5</td> <td style="text-align: center;">Muito próximas</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalos (cm)	Símbolos	Designações	> 200	F_1	Muito afastadas	60 a 200	F_2	Afastadas	20 a 60	F_3	Medianamente afastadas	6 a 20	F_4	Próximas	< 6	F_5	Muito próximas
Intervalos (cm)	Símbolos	Designações																	
> 200	F_1	Muito afastadas																	
60 a 200	F_2	Afastadas																	
20 a 60	F_3	Medianamente afastadas																	
6 a 20	F_4	Próximas																	
< 6	F_5	Muito próximas																	

Quadro 19 – Continuidade ou persistência - parâmetro geológico-geotécnico das discontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Continuidade ou persistência													
Descrição	<i>Extensão superficial da discontinuidade, medida segundo a atitude do seu plano, ou seja, corresponde ao desenvolvimento que a discontinuidade apresenta ao longo e para o interior do maciço. Deve-se sempre observar a extremidade da superfície, i.e., se termina em rocha ou noutra discontinuidade. Este parâmetro tem influência relevante na definição das características mecânicas que definem potenciais superfícies de rotura. É um parâmetro de grande importância mas, por vezes, de difícil quantificação a partir da observação de afloramentos. Durante o estudo das discontinuidades, é importante destacar as famílias mais contínuas, já que geralmente são estas que condicionam os principais planos de rotura do maciço rochoso. Habitualmente, as discontinuidades pontuais, como as falhas, são muito contínuas e representam os maiores planos de fraqueza num maciço rochoso, como tal, devem ser caracterizadas e descritas com especial atenção.</i>												
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<i>Mede-se com uma fita graduada a extensão do traço da superfície da discontinuidade.</i>												
Representação e/ou classificação	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Designação</th> <th style="text-align: center;">Comprimento (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Muito pouco contínua</td> <td style="text-align: center;">< 1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pouco contínua</td> <td style="text-align: center;">1 a 3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Medianamente contínua</td> <td style="text-align: center;">3 a 10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Contínua</td> <td style="text-align: center;">10 a 20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Muito contínua</td> <td style="text-align: center;">> 20</td> </tr> </tbody> </table>	Designação	Comprimento (m)	Muito pouco contínua	< 1	Pouco contínua	1 a 3	Medianamente contínua	3 a 10	Contínua	10 a 20	Muito contínua	> 20
Designação	Comprimento (m)												
Muito pouco contínua	< 1												
Pouco contínua	1 a 3												
Medianamente contínua	3 a 10												
Contínua	10 a 20												
Muito contínua	> 20												
Esquema	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Forte</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Moderada</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Fraca</p> </div> </div>												

Quadro 20 – Rugosidade - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Rugosidade																																																																																
Descrição	<p><i>Irregularidade (aspereza em termos de ondulação) das superfícies de contacto da descontinuidade ou na sua forma e desenvolvimento. As rugosidades podem aumentar a resistência geomecânica do maciço, especialmente quando as fracturas não estão preenchidas, mas podem, por sua vez, favorecer a percolação de água no maciço rochoso. O termo rugosidade emprega-se em sentido amplo para referir tanto a ondulação das superfícies de descontinuidade como as irregularidades ou rugosidades de pequena escala dos planos, definidas por vezes como de 1ª e 2ª ordem, respectivamente. A descrição da rugosidade requer, portanto, duas escalas de observação (sendo a classificação feita com base na comparação com perfis-tipo): a escala decimétrica a métrica para a ondulação das superfícies: superfícies planas, onduladas ou escalonadas e a escala milimétrica a centimétrica para a rugosidade ou irregularidade (superfícies polidas, lisas ou rugosas). A descrição e medição da rugosidade têm como principal objectivo a avaliação da resistência ao corte dos planos de descontinuidade. A rugosidade aumenta a resistência ao corte, que por sua vez diminui com o aumento da abertura e com a espessura do preenchimento.</i></p>																																																																															
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<p><i>Tradicionalmente, a sua avaliação é feita por inspeção visual, recorrendo-se à sensibilidade do tato e por comparação com uma superfície padrão mas existem outros métodos mais precisos que permitem realizar medidas quantitativas da ondulação e da rugosidade: realização de perfis lineares, para este apoia-se uma régua sobre as rugosidades mais salientes e regista-se, a intervalos regulares, a distância entre a régua e a superfície da descontinuidade (considerando esta como a direcção média do plano), obtendo-se assim um registo detalhado de valores ao eixo XY a partir dos quais se podem obter os ângulos de rugosidade ou ondulação. A distância de medida depende da escala das rugosidades, desde alguns decímetros para a rugosidade a pequena escala basta alguns metros para a escala decimétrica ou métrica ou através do método dos discos o qual é utilizado para a medição dos ângulos de rugosidade do plano de descontinuidade em varias direcções, muito útil quando não se conhece a possível direcção de movimento.</i></p>																																																																															
Representação e/ou classificação	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Forma do perfil</th> <th>Classe</th> <th>Descrição</th> <th>Nomenclatura</th> <th>Esquema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Denteada</td> <td style="text-align: center;">I</td> <td>Lisa a Algo Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₁₋₂</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">II</td> <td>Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₃</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">III</td> <td>Muito Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₄₋₅</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Ondulada</td> <td style="text-align: center;">IV</td> <td>Lisa a Algo Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₁₋₂</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">V</td> <td>Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₃</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VI</td> <td>Muito Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₄₋₅</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Plana</td> <td style="text-align: center;">VII</td> <td>Lisa a Algo Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₁₋₂</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VIII</td> <td>Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₃</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IX</td> <td>Muito Rugosa</td> <td style="text-align: center;">R₄₋₅</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Grau</th> <th>Descrição</th> <th>Características</th> <th>Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">R0</td> <td>Rocha muito branda</td> <td>Marcada pela unha do polegar</td> <td style="text-align: center;">0,25 - 1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R1</td> <td>Rocha branda (I)</td> <td>Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete</td> <td style="text-align: center;">1 - 5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R2</td> <td>Rocha branda (II)</td> <td>Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo</td> <td style="text-align: center;">5 - 25</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R3</td> <td>Rocha razoavelmente resistente</td> <td>Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca do martelo de geólogo</td> <td style="text-align: center;">25 - 50</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R4</td> <td>Rocha resistente</td> <td>Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo</td> <td style="text-align: center;">50 - 100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R5</td> <td>Rocha muito resistente</td> <td>Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo</td> <td style="text-align: center;">100 - 250</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R6</td> <td>Rocha extremamente resistente</td> <td>Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo</td> <td style="text-align: center;">> 250</td> </tr> </tbody> </table>				Forma do perfil	Classe	Descrição	Nomenclatura	Esquema	Denteada	I	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂		II	Rugosa	R ₃		III	Muito Rugosa	R ₄₋₅		Ondulada	IV	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂		V	Rugosa	R ₃		VI	Muito Rugosa	R ₄₋₅		Plana	VII	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂		VIII	Rugosa	R ₃		IX	Muito Rugosa	R ₄₋₅		Grau	Descrição	Características	Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)	R0	Rocha muito branda	Marcada pela unha do polegar	0,25 - 1	R1	Rocha branda (I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete	1 - 5	R2	Rocha branda (II)	Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo	5 - 25	R3	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca do martelo de geólogo	25 - 50	R4	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo	50 - 100	R5	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo	100 - 250	R6	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo	> 250
Forma do perfil	Classe	Descrição	Nomenclatura	Esquema																																																																												
Denteada	I	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂																																																																													
	II	Rugosa	R ₃																																																																													
	III	Muito Rugosa	R ₄₋₅																																																																													
Ondulada	IV	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂																																																																													
	V	Rugosa	R ₃																																																																													
	VI	Muito Rugosa	R ₄₋₅																																																																													
Plana	VII	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂																																																																													
	VIII	Rugosa	R ₃																																																																													
	IX	Muito Rugosa	R ₄₋₅																																																																													
Grau	Descrição	Características	Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)																																																																													
R0	Rocha muito branda	Marcada pela unha do polegar	0,25 - 1																																																																													
R1	Rocha branda (I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete	1 - 5																																																																													
R2	Rocha branda (II)	Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo	5 - 25																																																																													
R3	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca do martelo de geólogo	25 - 50																																																																													
R4	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo	50 - 100																																																																													
R5	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo	100 - 250																																																																													
R6	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo	> 250																																																																													

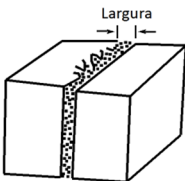
Quadro 21 – Resistência das superfícies das descontinuidades - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Resistência das superfícies das descontinuidades						
Descrição	Corresponde à resistência à compressão uniaxial nas paredes das descontinuidades. A deformabilidade e a resistência ao corte de um maciço rochoso são influenciadas pelo grau de resistência que as paredes das descontinuidades apresentam. Depende do tipo de matriz rochosa, do grau de alteração e da existência de preenchimento. Em descontinuidades sem preenchimento, com a superfície lisa, limpa e pouco alterada terá uma resistência idêntica à resistência da própria matriz rochosa, mas geralmente é menor devido à meteorização das paredes – os processos de alteração afectam mais os planos de descontinuidade do que a matriz rochosa.					
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	Regista-se por intermédio do Esclerómetro portátil ou "Martelo de Schmidt", aplicando-o directamente sobre a descontinuidade, ou a partir dos índices de campo, nos quais, em geral a resistência da parede rochosa estará compreendida entre os graus S0 a S6. As medidas devem realizar-se em paredes representativas do estado de alteração das descontinuidades, considerando também as descontinuidades mais frequentes ou mais significativas no maciço rochoso. Em alternativa, ou como complemento, podem ser realizados ensaios de carga pontual (Point Load Test) para estimar a resistência à carga pontual de blocos rochosos intactos.					
Representação e/ou classificação	Intervalos MPa (Kg/cm²)		Simbolos		Designações	
	> 200 (> 2000)	S ₁	S ₁₋₂	Muito elevada	Elevada	
	60 a 200 (600 a 2000)	S ₂		Elevada		
	20 a 60 (200 a 600)	S ₃	S ₃	Média	Média	
	6 a 20 (60 a 200)	S ₄	S ₄₋₅	Baixa	Baixa	
	< 6 (< 60)	S ₅		Muito baixa		

Quadro 22 - Abertura - parâmetro geológico-geotécnico das descontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Abertura				
Descrição	Distância existente entre os bordos da descontinuidade, sendo um factor importante na resistência ao corte (deslizamento) dos blocos que ela separa, pois a abertura é condicionada com o estado de tensão instalado no maciço nas zonas mais superficiais dos maciços, vertentes naturais, é frequente existir uma maior abertura das diáclases ou superfícies de xistosidade, enquanto em maior profundidade apresentam-se mais fechadas, dado o seu grau de confinamento.			
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	A medição realiza-se com o auxílio de uma régua graduada em milímetros, colocada perpendicularmente às paredes contíguas da descontinuidade no maior número possível de descontinuidades, através da observação em taludes, trincheiras ou mesmo nos tarolos de sondagens. É frequente verificar, após a realização de obras de desmonte de zonas do maciço que fazem baixar ou anular a tensão de confinamento, a variação da abertura de algumas diáclases.			
Representação e/ou classificação e esquema	Abertura (mm)	Descrição	Características	
	< 0,1 0,1 a 0,25 0,25 a 0,50	Muito apertada Apertada Parcialmente aberta	Fechada	
	0,50 a 2,50 2,50 a 10 > 10	Aberta Razoavelmente larga Larga	Aberta	
	10 a 100 100 a 1000 > 1000	Muito larga Extremamente larga Cavernosa	Muito Aberta	

Quadro 23 – Preenchimento ou Enchimento - parâmetro geológico-geotécnico das discontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Preenchimento ou Enchimento											
Descrição	<p><i>Existência de materiais, em regra diferentes da própria rocha que constitui o maciço, entre os bordos dos dois blocos (na abertura). A existência de preenchimento e o tipo de material que o constitui (pode ser composto por diversos minerais e materiais, tais como argila, quartzo, rocha esmagada, etc) é de grande importância na resistência global do maciço, é ainda mais importante no que se refere às características hidrológicas, condicionando a percolação ao longo das fracturas. A presença de material de preenchimento influencia o comportamento da descontinuidade, por isso devem ser identificados e descritos todos os aspectos referentes às suas propriedades. Deve ter-se em conta que se trata de materiais brandos ou alterados, podendo estes sofrerem alterações nas suas propriedades resistentes a curto prazo, por alteração do teor em humidade, ou a longo prazo, por movimento nas diáclases. As características principais do preenchimento que devem ser descritas são: natureza do material, espessura, resistência ao corte e permeabilidade e o comportamento dos maciços é diferente no que diz respeito à permeabilidade, deformabilidade e cisalhamento.</i></p>										
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<p><i>A avaliação do enchimento é feita por inspecção visual. A medição da espessura do enchimento realiza-se directamente com uma régua graduada em milímetros. A classificação é feita de acordo com a tipologia do material constituinte do enchimento, por exemplo, argila mole, quartzo esmagado, etc.</i></p>										
Representação e/ou classificação e esquema	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Parâmetro</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Natureza</td> <td>Descrição mineralógica e tamanho do grão. Se resultante da decomposição da rocha, indicar o grau de alteração.</td> </tr> <tr> <td>Espessura</td> <td>Medição directa</td> </tr> <tr> <td>Resistência ao corte</td> <td>Martelo de Schmidt</td> </tr> <tr> <td>Permeabilidade</td> <td>Grau de humidade. Apenas descrição qualitativa da permeabilidade.</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  <p style="text-align: center;">Largura</p> </div>	Parâmetro	Descrição	Natureza	Descrição mineralógica e tamanho do grão. Se resultante da decomposição da rocha, indicar o grau de alteração.	Espessura	Medição directa	Resistência ao corte	Martelo de Schmidt	Permeabilidade	Grau de humidade. Apenas descrição qualitativa da permeabilidade.
Parâmetro	Descrição										
Natureza	Descrição mineralógica e tamanho do grão. Se resultante da decomposição da rocha, indicar o grau de alteração.										
Espessura	Medição directa										
Resistência ao corte	Martelo de Schmidt										
Permeabilidade	Grau de humidade. Apenas descrição qualitativa da permeabilidade.										

Quadro 24 - Percolação ou Infiltração - parâmetro geológico-geotécnico das discontinuidades adaptado de ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; Brady & Brown, 2004; Scesi & Gattinoni, 2009; Palmström, 2010; González de Vallejo & Ferrer, 2011).

Percolação ou infiltração			
Descrição	<i>A água existente no interior de um maciço rochoso resulta na maior parte das vezes do fluxo que circula nas discontinuidades (permeabilidade secundária). A previsão da posição do nível freático, assim como dos caminhos de percolação e a pressão da água nos poros e discontinuidades, proporcionam muitas vezes indicações da existência de potenciais problemas de instabilidade de um dado maciço rochoso. Independentemente do facto de existir ou não preenchimento, as discontinuidades constituem o principal meio de infiltração de água no maciço. A água provoca uma diminuição da resistência ao corte ao diminuir as tensões efectivas que actuam sobre os planos de discontinuidade. Assim, dever-se-á proceder à observação e descrição da percolação da água nas discontinuidades e apurar a sua tendência de fluxo nas famílias presentes. Dados sobre a hidroclimatologia, especialmente a precipitação local, são de extrema importância na análise da informação recolhida e, sempre que possível, deve obter-se informação sobre a variação sazonal dos níveis freáticos da região.</i>		
Equipamento e/ou processo de avaliação/medição	<i>A identificação da presença de água realiza-se por inspeção visual e sensibilidade ao toque.</i>		
Representação e/ou classificação	Classe	Descontinuidade sem preenchimento	Descontinuidade com preenchimento
	I	Fenda muito plana e fechada. Está seca e não parece possível a circulação de água	Preenchimento muito consolidado e seco. Não é possível ocorrência de fluxo de água
	II	Fenda seca, sem evidência de fluxo de água	Preenchimento húmido mas sem água
	III	Fenda seca, mas com evidência de ter circulado água	Preenchimento molhado, com gotejo ocasional
	IV	Fenda húmida mas sem água	Preenchimento que mostra sinais de lavagem com fluxo de água contínuo (estimar caudal em l/min e pressão)
	V	Fenda muito húmida, ocasionalmente com gotejo, mas sem fluxo contínuo	Preenchimento localmente lavada, fluxo considerável ao longo de canais preferenciais (estimar caudal e pressão)
	VI	Fenda com fluxo contínuo de água (estimar o caudal em l/min e pressão)	Preenchimento completamente lavado, pressões de água elevadas

2.3. Qualidade do desmorte: conceito, constrangimentos e potencialidades

Um método antigo para a compartimentação de um maciço rochoso consistia no seu aquecimento usando o calor do fogo e posterior arrefecimento súbito pelo lançamento de água fria. A contracção súbita causaria a quebra e conseqüente divisão da rocha. Mais tarde começaram a ser executados pequenos orifícios na rocha que eram depois preenchidos com cunhas de madeira, posteriormente molhadas com água permitindo o aumento de volume da madeira promovendo, embora de forma rudimentar, a rotura da rocha.

Há mais de 300 anos já se referia que a quebra da rocha, quando desmontada pela acção de explosivos, ocorria por acção do efeito de subida dos gases produzidos na detonação. Esta teoria foi aceite até final dos anos 50, quando se verificou que a rocha quebra principalmente pela acção da reflexão da onda de choque que se transmite radialmente da zona onde está colocada a carga, para o exterior (Bhandari, 1997).

O objectivo do emprego de explosivos em aplicações civis como o desmonte de rocha, prende-se com o aproveitamento da energia gerada pela explosão e a sua transferência para a rocha de forma a realizar trabalho (fragmentação e movimento da rocha). O resultado do desmonte de rocha com explosivos depende de dois tipos de variáveis:

a) Variáveis incontroláveis:

- Características geológicas e petrofísicas do maciço rochoso – estrutura regional e litologia, textura, grau de fracturação, hidrologia e hidrogeologia do maciço, elasticidade, plasticidade, abrasividade, dureza, densidade, resistência à compressão, etc.

b) Variáveis controláveis:

- Perfuração – tipo, equipamento, eficiência, acessórios e erro;
- Propriedades do explosivo – tipo, energia do explosivo, método de carga e composição da carga;
- Sistema de iniciação – tipo de detonador, temporização utilizada, plano de distribuição dos detonadores e posição do detonador no furo;
- Geometria da pega – altura de bancada, subfuração, comprimento do furo, distância à frente livre, espaçamento entre furos, comprimento e qualidade do tamponamento, direcção para movimentação da rocha (20° a 45° com as discontinuidades), limpeza da frente livre (repés) e número de faces livres.

O princípio fundamental que rege o uso de explosivos para o desmonte de maciços rochosos relaciona a tensão de rotura à tracção do maciço com a tensão induzida nesse maciço pela detonação dos explosivos. Para que ocorra fragmentação, o arranque e o desmonte no maciço rochoso, é necessário que a influência resultante do trabalho dos explosivos ultrapasse a tensão de rotura à tracção da rocha.

Num maciço rochoso a detonação de uma carga de explosivo no interior de um furo, previamente aberto no maciço, induz alteração num determinado volume desse maciço adjacente ao furo, pelo que essa massa perturbada tem forma cilíndrica - cilindro de comoção (Figura 19) - com geratriz igual ao comprimento do furo e cujo raio varia em função das características e quantidade do explosivo aplicado e das características do maciço. Para que ocorra desmonte o raio deste cilindro tem que ser superior à distância à frente livre (Figura 20).

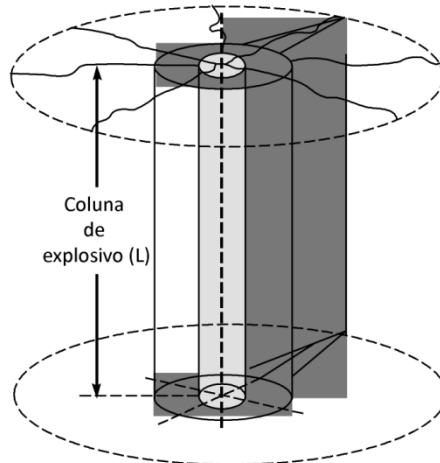


Figura 19 - Zona de influência de uma coluna de explosivo (adaptado de Silva, 2010).

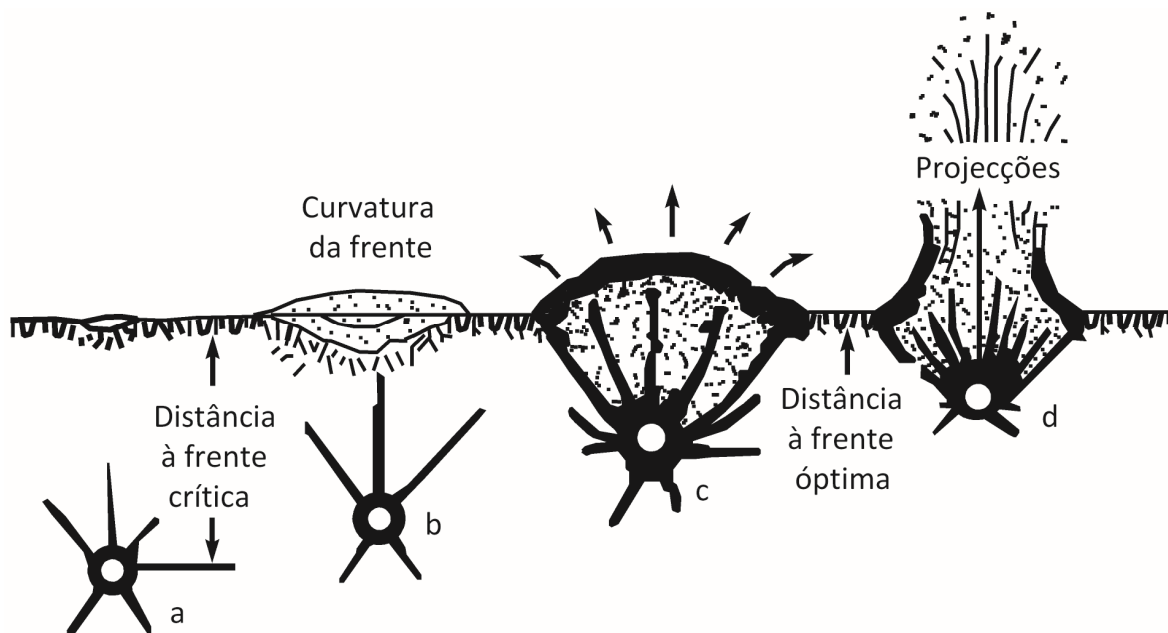


Figura 20 - Efeito do rebentamento em relação à distância à frente livre (Góis et al., 2011, 2012).

- Se o raio do referido cilindro for menor que a distância à frente livre, previamente criada, não haverá trabalho útil e apenas se instalarão fracturas radiais dentro desse mesmo cilindro (Figura 20 – a);
- Se o raio do cilindro for igual à distância à frente livre, irá verificar-se nessa mesma frente a formação de fracturação, mas não haverá arrancamento do material (Figura 20 – b);
- No caso de o raio ser maior que a distância à frente livre, então irá verificar-se fracturação, arrancamento e consequente, maior ou menor projecção de material rochoso (Figura 20 – c). No entanto, se o raio é muito maior que a distância à frente livre existe o risco de projecções de material fragmentado (Figura 20 – d).

A compreensão do mecanismo de rotura da rocha permite, pelo seu conhecimento, potenciar o efeito da acção do explosivo e simultaneamente ajustar os parâmetros do diagrama de fogo ao objectivo granulométrico adequado à execução da obra.

Quando se procede à detonação de uma carga explosiva dentro de um furo, cria-se, durante a detonação do explosivo quatro zonas distintas (Bhandari, 1997), as quais estão representadas na Figura 21:

- Zona original do furo;
- Zona esmagada – Varia entre 2 e 4 raios do furo inicial;
- Zona fracturada - Varia entre 20 e 50 raios do furo inicial;
- Zona sísmica.

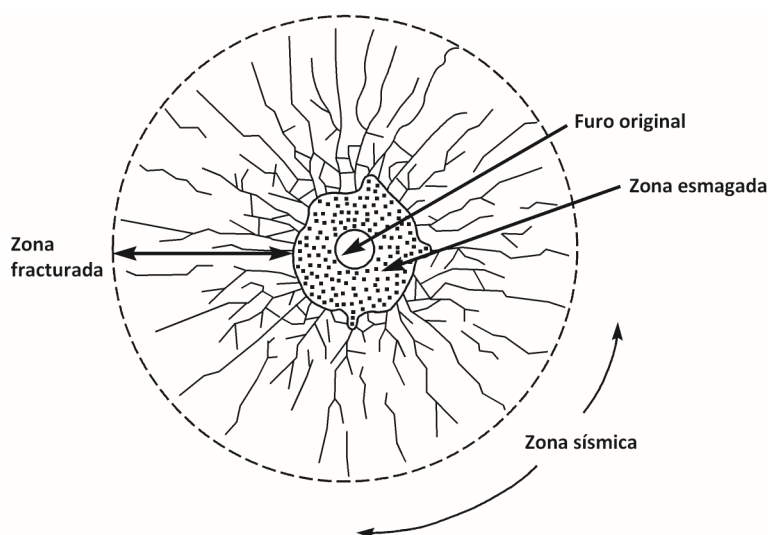


Figura 21 - Periferia da zona de fragmentação (Bhandari, 1997).

A existência de uma onda de choque de elevada temperatura, associada à expansão dos gases da explosão libertados a elevadas pressões, cria no maciço rochoso um campo de tensões que vão originar a fracturação ou aproveitar outras discontinuidades já existentes para o enfraquecer provocando o seu desmonte (Esteves, 1993). A rotura ocorre no maciço rochoso quando a tensão induzida pela onda de choque e pela expansão de gases ultrapassa inicialmente a resistência à compressão, provocando por pulverização o aumento do diâmetro do furo e induzindo a criação de fendas. Posteriormente, ultrapassando a resistência à tracção da rocha, provoca a sua rotura e fragmentação. López Jimeno et al., (1991, 1995); Gomes et al., (2008) explicam este processo enunciado as suas diferentes etapas (Figura 22):

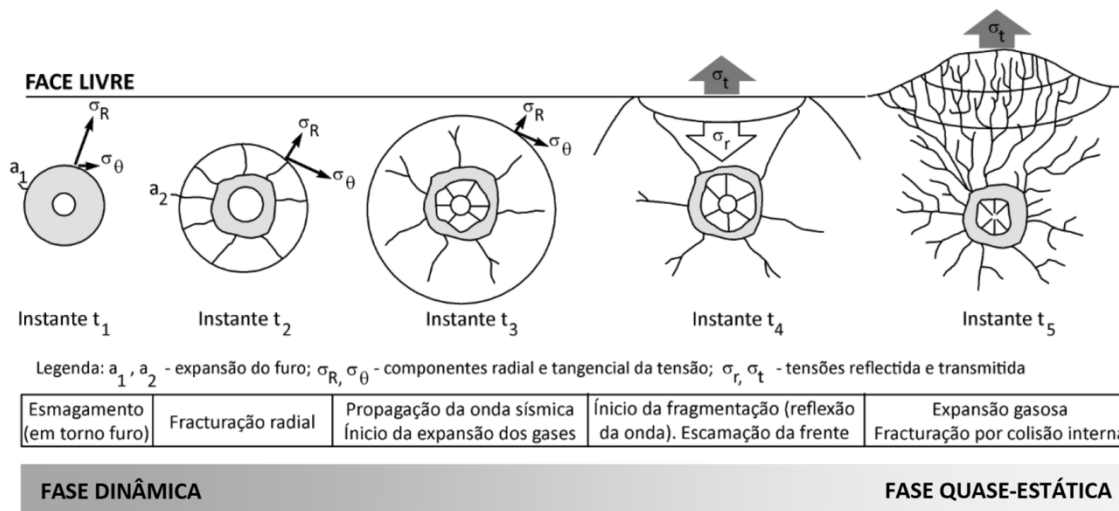


Figura 22 - Fases de detonação de explosivo (adaptado de Hartman, 1992).

- 1) Instante t_1 - Trituração da rocha - A coluna explosiva transforma-se em alguns milissegundos numa coluna de gás animado de uma certa velocidade. O gás com alta pressão (600 a 900 MPa; 1MPa = 10,33 Kg/cm² = 10 bars), e alta velocidade (1800 a 2200 m/s), entra violentamente em contacto com a parede do furo e cria uma onda de choque na interface entre o gás da explosão e a rocha, nos primeiros instantes, atinge valores que ultrapassam a resistência à compressão da rocha e provocam a sua pulverização;
- 2) Instante t_2 - Fendilhação radial - A onda de choque propaga-se na rocha degradando-se rapidamente. Na vizinhança directa do furo estamos largamente acima da resistência à compressão. A zona anelar do furo é sujeita a compressão radial que induz componentes de tracção nos planos tangenciais da onda de choque. Quando as tensões ultrapassam a resistência à tracção da rocha tem lugar a formação de fendilhação;
- 3) Instante t_3 - Ampliação e abertura das fendas radiais - Por acção da pressão de gases depois da passagem da onda de choque;
- 4) Instante t_4 - Início da fragmentação – Logo que a onda de choque atinge a frente da bancada, reflecte-se. A rocha é muito resistente à compressão mas pouco à tracção. A onda reflectida ultrapassa largamente a resistência à tracção, provocando um fenómeno de fissuração sensivelmente paralelo à frente livre. Praticamente ao mesmo tempo, o gás residual penetra nas fissuras alargando-as. A pressão diminui rapidamente.
- 5) Instante t_5 – Rotura por colisão – A rocha está fragmentada pelo efeito combinado da fracturação radial e da fracturação pela onda reflectida. O gás empurra o material para fora da cavidade.

A maior parte da energia produzida pela detonação de uma carga explosiva é transferida ao ambiente circundante sob a forma de impactes ambientais, como vibrações transmitidas aos terrenos, projecções de rocha, poeiras e sobre facturação do maciço remanescente.

A intensidade destes impactes está directamente relacionada com os parâmetros de dimensionamento das pegas de fogo. Como tal, os mesmos devem ser criteriosos e globalmente ajustados para interferirem o mínimo com o ambiente circundante.

A fragmentação da rocha é influenciada pelos seguintes factores:

- Estado de fracturação natural do maciço;
- Parâmetros geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço;
- Perfuração específica;
- Carga específica;
- Diagrama de fogo;
- Sequência de iniciação;
- Inclinação do furo;
- Desvio do furo;
- Geometria da pega.

2.3.1. Métodos de exploração e operações de desmonte de rocha

A exploração é a actividade posterior à prospecção e pesquisa, abrangendo o reconhecimento, a preparação e a extracção do minério bruto, do solo ou subsolo, bem como o seu tratamento e transformação, quando processados em anexos mineiros. Esta pode ser de quatro tipos:

- Subterrânea (quando as escavações realizadas para a exploração do minério não estão em contacto com o ar livre, encontrando-se rodeadas pelos terrenos do subsolo);
- A céu aberto (quando as escavações realizadas para a exploração do minério estão em contacto com o ar livre. É o caso das pedreiras e minas a céu aberto);
- A partir de perfurações (acontece quando o jazigo, embora subterrâneo, é explorado sem necessidade de se abandonar a superfície, por exemplo a partir de sondagens (caso de algumas explorações de minerais urníferos, sal gema, petróleo, etc.);

- Hidráulica (que pode ser tanto subterrânea como a céu aberto, consiste em utilizar a força hidráulica (essencialmente água) nas frentes de trabalho para o desmonte do minério).

2.3.2. Método de desmonte a céu aberto

O desmonte a céu aberto pode ser realizado em flanco de encosta (Figura 23) ou em corta (abaixo da superfície) (Figura 24). A posição da rocha e a viabilidade económica do seu aproveitamento ditará, qual dos dois métodos se deve adoptar.

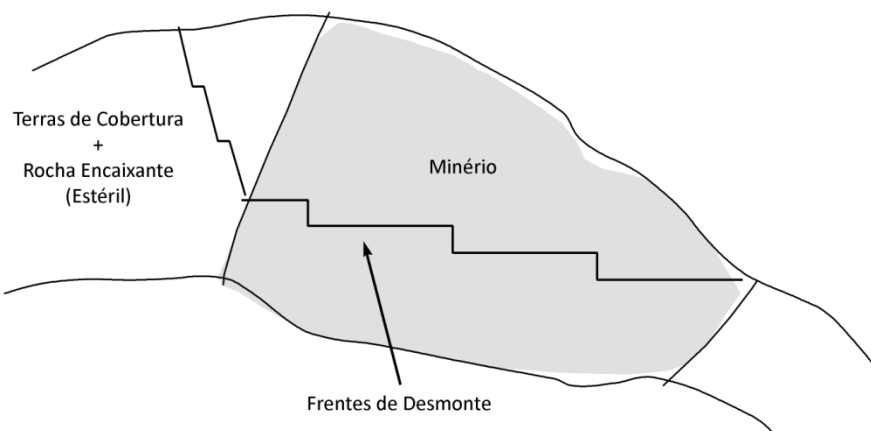


Figura 23 - Típico desmonte em flanco de encosta (IGM, 1999).

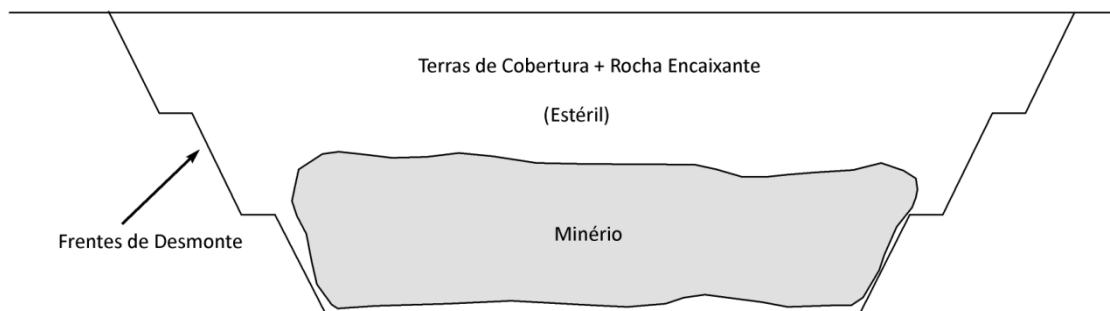


Figura 24 - Típico desmonte em corta (IGM, 1999).

A exploração a céu aberto pode ser feita por:

- Degraus direitos;
- Arranque de pequenas ou grandes massas;

2.3.3. Operações de desmonte de rocha

O método de desmonte está essencialmente dependente das características da exploração, pelo que o método usado para explorações de rocha ornamental será completamente diferente do usado em explorações de rochas industriais. Assim, dado o facto de as operações inerentes ao método de desmonte dos dois tipos de exploração serem diferentes, optou-se por tratá-los separadamente.

Rocha Ornamental

Nas explorações de rocha ornamental programa-se o desmonte de blocos primários, blocos esses que são definidos consoante as características do maciço, as produções requeridas, mão- de-obra e equipamentos disponíveis. Entende-se por tempo de desmonte de um bloco primário o tempo necessário à exploração até à retirada completa do estéril e do minério gerado pelo mesmo. A exploração de um bloco primário faz-se em 6 operações fundamentais, as quais se dividem por sua vez em operações secundárias.

As operações fundamentais após a limpeza da rocha útil, são:

- Furação;
- Corte;
- Derrube;
- Esquartejamento;
- Extracção;
- Acabamento.

A definição de cada uma das operações deve constar no plano de lavra e tem por objectivo o aproveitamento máximo de blocos de dimensão comercial.

O desmonte inicia-se com a operação de furação (Figura 25), sendo os furos realizados com o objectivo de definir materialmente a área do bloco primário e a largura das fatias, isto é a dimensão do bloco a desmontar. Após a execução dos referidos furos é introduzido o fio helicoidal diamantado, roçadora ou jacto hidráulico com vista à realização do corte de levante (corte de fundo). Em seguida, para individualização do bloco primário, são realizados os cortes laterais. Uma vez terminada a individualização do bloco primário, procede-se ao corte do bloco em fatias que definem o bloco maior transportável, com a operação de esquartejamento.

Após as fatias se encontrarem plenamente individualizadas, são derrubadas sendo os blocos transportados por grua ou através de outro equipamento de transporte se a corta estiver ligada ao exterior por rampa. Se o material exceder em peso a capacidade da grua, as dimensões forem superiores ao arco máximo da mono-lâmina, ou apresentar irregularidades excessivas, serão esquartejados na pedreira.



Figura 25 - Operações fundamentais de desmonte de rocha ornamental (granito) (Adaptado de Gomes et al., 2008).

O derrube (figura 26) de uma fatia é realizado com o auxílio de uma almofada ou macaco hidráulico, que originam o desequilíbrio da fatia até esta cair numa "cama" previamente realizada. A cama tem uma dupla função: amortecer o impacto da queda da fatia derrubada, minimizando a quantidade de fracturas induzidas pelo choque, e ajudar posteriormente a operação de esquartejamento, permitindo a passagem do fio diamantado, sem que seja necessário proceder a nova furação. A cama é normalmente construída com terra, fragmentos de rochas e pneus velhos.

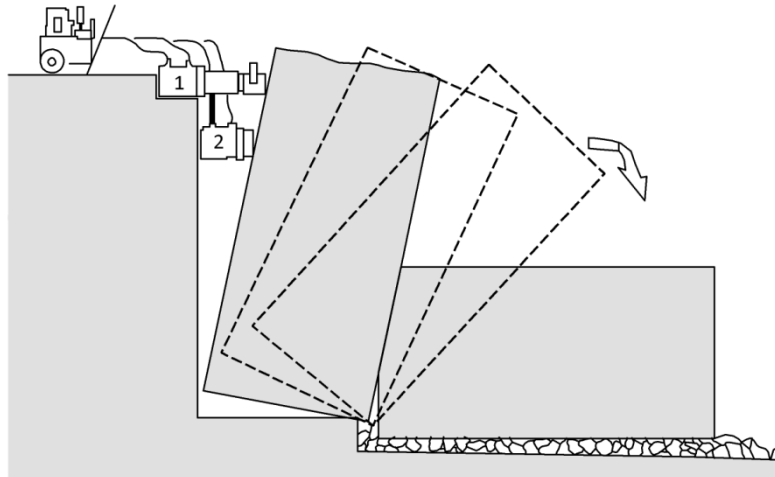


Figura 26 – Pormenor da operação de derrube de uma fatia (IGM, 1999).

O esarteamento é sem dúvida a operação crítica no que diz respeito ao correcto planeamento das operações. Este é bastante influenciado pelas características de fracturação do bloco, operações anteriores e posteriores, e pelo mercado.

O desmonte termina com a limpeza da frente retirando-se o estéril para a escombreira com o recurso à pá carregadora, e elevando o minério para o parque de blocos por grua ou dumper.

Pelo facto de os blocos apresentarem dimensões e formas muito variadas, torna-se necessário efectuar uma operação de acabamento. Esta operação, realizada pela mono-lâmina, tem por objectivo a correcção total dos blocos transportados, com vista a posterior comercialização ou a serragem.

Rocha Industrial

A indústria de rocha industrial, ao invés da indústria extractiva de rocha ornamental, realiza o desmonte do minério com arranque por explosivos no caso de massa mineral consistente, ou por arranque directo ou hidráulico em massas incoerentes. Por conseguinte as operações fundamentais de uma exploração de rocha industrial são totalmente diferentes das operações realizadas numa exploração de rocha ornamental. O desmonte de maciços rochosos com recurso a explosivos é constituído por um ciclo de operações (perfuração, desmonte/fragmentação, fragmentação secundária, carga, transporte e britagem) resultantes de um enquadramento e análises técnicas fundamentais (Galiza, 2001) (Figura 27 e Quadros 25 a 31).

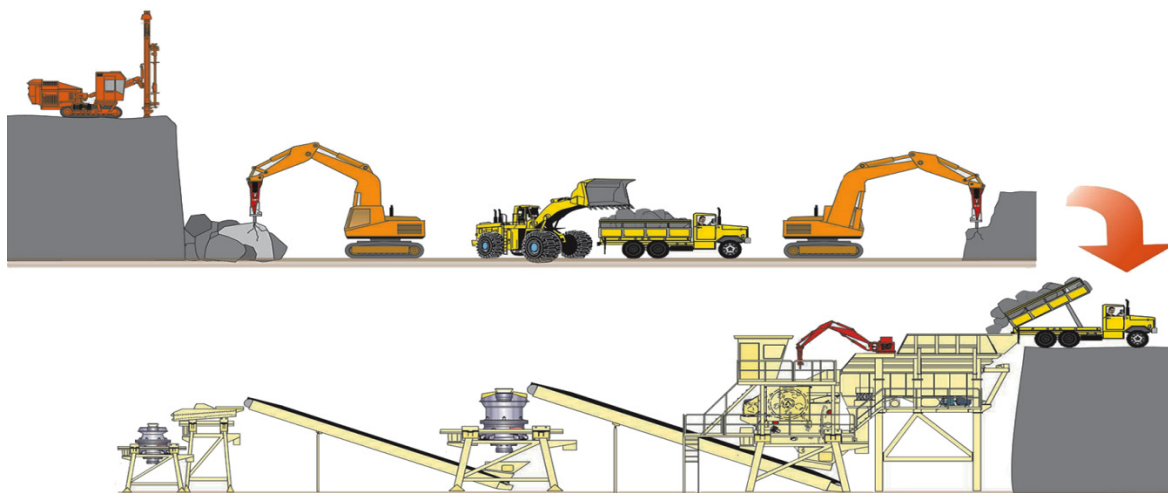


Figura 27 – Diferentes etapas da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Sandvik-Tamrock, 1999).

Quadro 25 - Perfuração - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Galiza, 2013; Gomes et al., 2008).

Perfuração
Descrição
<p><i>A perfuração do maciço rochoso é a primeira operação a ser executada no processo de transformação que vai desde a identificação do georrecurso (maciço) até ao fabrico do produto final (Galiza, 2013) e, apesar de representar um dos menores custos de operação, a par do carregamento e rebentamento, é das que mais influencia a optimização das restantes. Consiste na realização de furos no maciço rochoso que pretendemos desmontar, segundo uma geometria e localização previamente calculada.</i></p>
Observações
<p><i>A perfurabilidade de uma rocha depende, de entre outros factores, da natureza e do tamanho dos grãos dos minerais nela contidos. Assim, uma rocha que tenha grande quantidade de quartzo finamente disseminado será mais difícil de perfurar que uma rocha de grão grosseiro, que por sua vez é mais difícil de perfurar que uma rocha com calcite. Normalmente associa-se a perfurabilidade de uma rocha à sua resistência à compressão. Outras propriedades a ter em conta são a abrasividade e a estrutura do maciço rochoso. Entende-se por estrutura de um maciço rochoso a forma como este se apresenta (falhas, diáclases, planos de xistosidade, etc.). A abrasividade de um maciço rochoso está relacionada com a quantidade de minerais duros que entram na sua composição. A pressão exercida por uma força de grande intensidade sobre a rocha instala um estado de tensão em redor desse ponto de contacto. Se a força for suficientemente elevada e o material usado no corte for suficientemente duro, haverá uma fragmentação do material à volta do ponto de contacto (Gomes et al., 2008). Os parâmetros a ter em conta na perfuração em desmonte de rocha são (Gomes et al., 2008): diâmetro do furo; comprimento do furo; desvio de furação e estabilidade. As principais propriedades físicas das rochas que influenciam o mecanismo da perfuração são (Gomes et al., 2008): dureza; resistência à compressão; elasticidade; plasticidade; abrasividade; textura estrutura.</i></p>

Quadro 26 – Desmonte/Fragmentação - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial – Parte 1 (Mohanty, 1996; Vaz, 2008).

Desmonte/Fragmentação
Descrição
<p>A operação de arranque é a primeira e muito importante operação de escavação a céu aberto, pois uma deficiente operação de fragmentação da rocha irá influenciar muito os rendimentos das restantes operações. A fragmentação da rocha pode realizar-se fundamentalmente por dois métodos: i) directo (por acção mecânica de uma ferramenta); ii) indirecto (realizado a partir da libertação de energia de um explosivo situado no interior do furo no maciço rochoso). Para se obter fragmentação pelo método indirecto, é necessário que os valores das tensões de tracção instaladas no maciço pela acção dos explosivos sejam superiores às tensões de rotura à tracção da rocha (Vaz, 2008). As tensões de tracção surgem após a energia libertada na explosão. A onda de choque produzida e a pressão dos gases libertados vão expandir as paredes dos furos produzindo assim as fracturas na rocha envolvente (Mohanty, 1996). A onda de compressão libertada vai propagar-se em todas as direcções e quando atingir uma superfície livre é reflectida, originando ondas de tracção no interior do maciço, igualmente responsáveis pela fracturação (Vaz, 2008). Segundo Gomes et al., (2008), a fragmentação pelo método indirecto é utilizada no desmonte em bancada e é afectada pelos seguintes factores: i) estado da fracturação natural do maciço; ii) características físico-mecânicas do maciço rochoso; iii) carga específica; iv) perfuração específica; v) tipos de diagrama de fogo; vi) sequência de iniciação; vii) número de unidades detonadas no mesmo rebentamento; viii) qualidade da perfuração e ix) inclinação da perfuração.</p>
Observações
<p>i) estado de fracturação natural do maciço (é o único factor incontrolável, tem a ver com a atitude, a continuidade, o espaçamento das fracturas, a plasticidade, a presença de água, a fracturação e as falhas. Apesar de incontrolável, o técnico responsável pelo rebentamento com explosivos deve ser capaz de avaliar as circunstâncias em que se realiza cada rebentamento e ajustar os parâmetros do diagrama de fogo de modo a contrariar o efeito negativo das características geológicas locais);</p> <p>ii) características físico-mecânicas do maciço rochoso (características de resistência de rotura à compressão e tracção, densidade, velocidade sísmica, dureza e fragilidade do maciço rochoso. São características importantes para se identificar o tipo de maciço rochoso, uma vez que, quanto maior for a resistência de rotura à tracção, maior será a energia necessária para o desmontar. O mesmo acontece em relação à perfuração que iremos ter maior ou menor dificuldade em perfurar a rocha consoante o seu grau de dureza);</p> <p>iii) carga específica (quantidade de explosivo (kg) utilizado para desmontar um metro cúbico de rocha. Quanto maior a carga específica mais fragmentada irá ficar a rocha, mas maior será a probabilidade de projecções);</p>

Quadro 27 - Desmonte/Fragmentação - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial – Parte 2 (Mohanty, 1996; Vaz, 2008).

Desmonte/Fragmentação
Observações
<p>iv) perfuração específica (quantidade de metros de furo (m) realizados por metro cúbico de rocha. Quanto maior o diâmetro de perfuração, menor será a perfuração específica, já que possibilita o aumento de concentração de carga. No entanto o risco de maiores projecções e vibrações aumenta);</p>
<p>v) tipos de diagrama de fogo (distinguem-se os diferentes diagramas de fogo pela modificação da relação espaçamento/distância à frente. Para uma fragmentação de menores calibres a relação entre os dois factores deve ser próxima de 8. Caso contrário, para obter uma fragmentação de maiores calibres então a relação terá de baixar para 0,5. Uma boa relação rondará os 1,25);</p>
<p>vi) sequência de iniciação (sequência com que se dão as detonações de cada um dos furos do rebentamento. É um factor importante, uma vez que, uma temporização inadequada, para além de prejudicar a fragmentação, também pode originar projecções verticais ou projecções da primeira fiada de furos consoante o intervalo de tempo utilizado);</p>
<p>vii) número de unidades detonadas no mesmo rebentamento (quanto mais fiadas de furos tiver um rebentamento, menor será a percentagem de fragmentos de grande calibre, porque para além da colisão entre as partículas originar ainda mais fragmentação, o rebentamento de outras fiadas vai dar origem a mais frentes livres, que por sua vez originará mais ondas de reflexão, provocando mais tensões de tracção no maciço. No entanto, o comprimento do rebentamento não deverá ultrapassar 50% da largura da frente);</p>
<p>viii) qualidade da perfuração (factor muito importante para o resultado final do rebentamento. Uma furação bem realizada, controlando e minimizando os desvios, é condição essencial para o bom desempenho resultante do rebentamento do explosivo, já que as cargas ficarão convenientemente distribuídas no maciço a fragmentar. Caso contrário, pode originar distâncias à frente irregulares provocando projecções, um aumento das vibrações, a instabilidade dos taludes, a sobre fracturação na parte superior da bancada prejudicando a próxima perfuração, a alteração da movimentação da rocha, a produção de blocos de grande diâmetro com conseqüente aumento dos custos de todas as operações. A deficiente selecção do equipamento e dos acessórios de perfuração, o erro humano e as propriedades estruturais do maciço rochoso, a textura, a elasticidade, a plasticidade, a densidade, a abrasividade e a resistência à compressão constituem as principais causas dos desvios. Para diminuir ou evitar os desvios, o operador deverá posicionar o equipamento e executar um correcto emboquilhamento do furo);</p>
<p>ix) inclinação da perfuração (inclinação próxima dos 18 graus (3:1) reduz, a quebra à retaguarda e o aparecimento de blocos de grandes dimensões provenientes da parte de cima da bancada, o aparecimento de repés, a possibilidade de interrupção do sistema de iniciação e ainda facilita o emboquilhamento da perfuração da pega seguinte. Para que se verifique movimento de rocha há que ter em conta a distância à frente livre, a qual, deverá estar de acordo com a carga explosiva do furo que por sua vez se relaciona com o tipo e diâmetro do explosivo utilizado (Vaz, 2008). Qualquer carga explosiva detonada no interior de um furo irá originar uma superfície cilíndrica teórica. Essa superfície cilíndrica, conhecido por cilindro de comoção, vai ter uma geratriz igual ao comprimento do furo e o raio originado vai depender da quantidade e características do explosivo e das características mecânicas do maciço rochoso. Ainda em relação ao cilindro de comoção, são pertinentes as seguintes considerações: a) não haverá desmonte, se o raio do cilindro for menor que a distância à frente livre, formar-se-ão apenas fracturas radiais; b) vai provocar fracturação na frente livre sem no entanto haver desmonte, se o raio do cilindro for igual à distância à frente livre; c) haverá desmonte com maior ou menor projecção, se o raio do cilindro for maior que a distância à frente livre. O volume arrancado por um tiro será teoricamente definido por um prisma triangular, mas na prática, como ocorre rebentamento quase simultâneo de vários tiros o volume arrancado terá dimensões de uma secção rectangular cujas dimensões correspondem à distância à frente e o espaçamento entre furos (Vaz, 2008).</p>

Quadro 28 – Fragmentação secundária - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Vieira, 2008).

Fragmentação secundária
Descrição
<p>Consiste em reduzir a dimensão dos blocos resultantes de um rebentamento e que têm dimensões superiores à capacidade da máquina de carregamento ou do equipamento de britagem a que se destinam. Podem ser utilizados três métodos para realizar fragmentação secundária, os quais consistem em: i) colocar um explosivo sobre o bloco; ii) executar um furo na rocha para colocar um explosivo e iii) utilizar o martelo demolidor.</p>
Observações
<p>i) colocação do explosivo sobre o bloco (deve obedecer a alguns parâmetros entre os quais: a) deve-se utilizar um explosivo fracturante; b) o explosivo colocado sobre o bloco deve ser coberto com argila e c) deve ser usada uma carga específica na ordem de $1,0 \text{ kg/m}^3$);</p> <p>ii) execução de um furo para colocação do explosivo (deve obedecer às seguintes condições: a) o furo deve ser executado de modo a atingir o centro geométrico do bloco; b) a carga colocada no furo deve ser suficiente para partir o bloco, normalmente com um valor de $0,060 \text{ kg/m}^3$ e c) deve ser executado um tamponamento eficaz);</p> <p>iii) No desmonte de rocha pelo uso de explosivos, o material fragmentado não se encontra totalmente com diâmetro abaixo da dimensão desejada. Por essa razão uma fracção do material segue directamente para o britador primário, ao passo que a outra fracção, devido às suas elevadas dimensões, é separado para sofrer fragmentação secundária.</p> <p>Dos três métodos possíveis para realizar a fragmentação secundária, a tendência actual recai no uso do martelo demolidor. O martelo demolidor é uma ferramenta acoplada a uma retroescavadora devendo ser usado em material duro, abrasivo e quebradiço. As principais razões para uso do martelo hidráulico em detrimento dos outros dois métodos, baseiam-se nas seguintes questões: a) eliminação de projecções, que por vezes são difíceis de controlar; b) apesar de provocar algum ruído de forma contínua, é muito menor do que o ruído provocado pelo rebentamento de um explosivo rápido e normalmente pouco confinado; c) economicamente mais barato, por ser mais mecanizado e com menos utilização de mão-de-obra e d) método muito mais seguro.</p>

Quadro 29 - Carga - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Lopes & Jimeno, 1991).

Carga
Descrição
<p>Transferência de qualquer tipo de material, feito normalmente por pás carregadoras/ retroescavadoras, a partir do solo para um qualquer meio de transporte (dumpers). Segundo Lopez & Jimeno (1991), para que haja rentabilidade neste processo, existe uma série de parâmetros aos quais se deve dar atenção: i) força de penetração do equipamento; ii) força de arranque; iii) força de elevação; iv) distância de manobra e v) capacidade do balde.</p>
Observações
<p>i) força de penetração (parâmetro que resulta da inércia e do esforço de tracção que a máquina possui. A energia cinética que leva o balde a abordar o material depende da velocidade de deslocamento. Esta é controlada pelo operador que deverá evitar que as rodas/esteiras derrapem podendo provocar danos estruturais à máquina. A força de penetração depende muito das condições do terreno e pode variar segundo: a relação força/potência do motor do equipamento; o diâmetro dos pneus; o estado em que se encontra o terreno; o peso da máquina e a sua distribuição pelos eixos e as engrenagens da transmissão).</p> <p>ii) força de arranque (força máxima e contínua em sentido vertical ascendente aplicado a 100 mm da ponta do balde, conseguida pela capacidade de elevar e recolher o balde a partir de um ponto específico).</p> <p>iii) força de elevação (é aquela que se exerce para elevar o balde a uma altura específica. Esta depende da capacidade do sistema hidráulico e também do peso da própria máquina, uma vez que se esta for demasiado leve, poderá levantar a parte traseira quando o balde carregado atingir uma determinada altura.</p>

Quadro 30 – Transporte - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Ribeiro, 2008; Spínola 1999).

Transporte
Descrição
<p><i>Actividade mais dinâmica no processo produtivo de uma exploração de uma pedreira, exigindo sempre um redimensionamento ao longo da respectiva vida, para se adequar ao constante crescimento da mesma (Ribeiro, 2008) no intuito de otimizar as actividades, calculando frequentemente o tempo de ciclo constituído por: tempo de posicionamento na frente de desmonte; tempo que demora a carregar; tempo necessário para chegar ao local de descarga; tempo de manobra; tempo necessário para descarregar a carga; tempo de percurso de regresso, vazio. Nas explorações a céu aberto, o transporte do material pode ser feito por dumpers, por telas transportadoras ou, mais raramente, transporte sobre carris.</i></p> <p><i>O transporte por dumpers tem como principais vantagens, a maior manobrabilidade e maiores rendimentos que os outros meios e se por algum motivo o dumper avariar, não implica a paralisação de toda exploração. No entanto, devido ao alto custo do transporte por dumpers, a sua utilização só se torna vantajosa para distâncias entre 1 a 5 km (Spínola, 1999).</i></p> <p><i>A dependência das condições climáticas para certo tipo de dumpers e sistema de tracção e os elevados gastos na conservação e reparação constituem as principais desvantagens. Com o objectivo de se obter uma maior rentabilidade, isto é, maior produção ao menor custo, devemos ter em conta os seguintes factores: produção da instalação; percurso a realizar desde a frente de desmonte à tolva de alimentação do britador primário; características do percurso, nomeadamente quanto às inclinações, raios de curvatura e condições de manutenção da pista; dimensão máxima do produto a transportar e ocupação das unidades de carga a 100%.</i></p> <p><i>Um dos factores, e talvez o mais importante a ter em conta na optimização, é sem dúvida o estado das pistas. Para tal, deve-se reduzir o mais possível as inclinações das rampas, manter as pistas niveladas para melhorar a qualidade do piso e aplicar adequadamente as regas (Ribeiro, 2008).</i></p>

Quadro 31 - Britagem - etapa da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (adaptado de Sampaio 2006).

Britagem
Operação
<p><i>Principais operações de tratamento de minérios. É a etapa que recebe o material proveniente do desmonte, fragmentando-o para que possa ser encaminhado para as operações seguintes. Esta operação é realizada por fragmentadores, também designados de britadores, que exercem forças de compressão sobre as partículas a fragmentar vencendo assim as forças de coesão internas separando-as e produzindo material de menor calibre (Sampaio, 2006). A operação de britagem tem como principais objectivos: produzir lotes de material de utilização imediata; reduzir o material desmontado para este seguir para outro tipo de equipamento e produzir um produto final que seja facilmente transportável. Os factores que influenciam os ciclos de britagem são o tempo de residência e a relação de redução.</i></p>

***3 - Aplicação da cartografia de zonamento geotécnico
no apoio ao planeamento de exploração de
georrecurso: o maciço rochoso da Curviã***

3. Aplicação da cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento de exploração de georrecurso: o maciço rochoso da Curviã

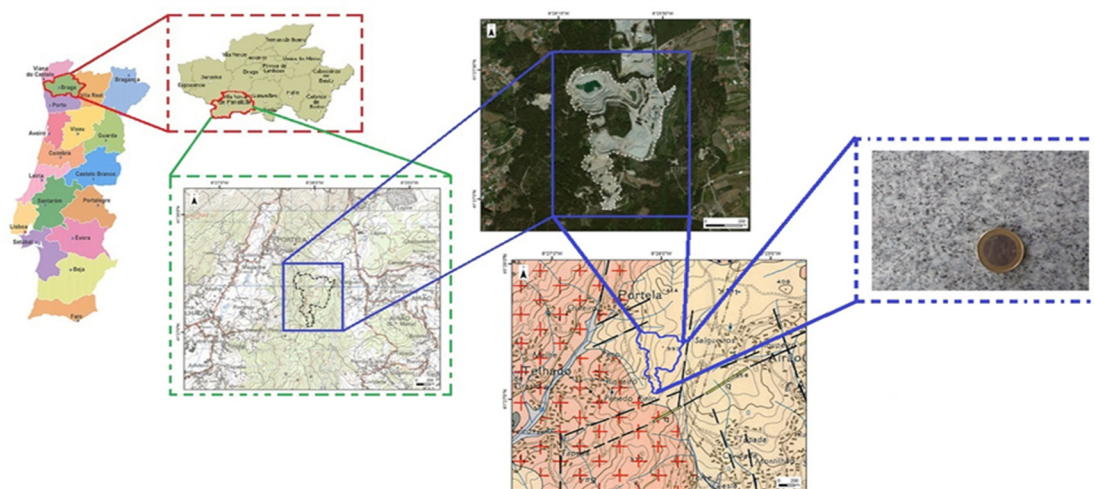
3.1. Enquadramento da pedreira da Curviã n.º 2

No Quadro 32 está representada a localização, vias de acesso e aspectos gerais do georrecurso da pedreira da Curviã n.º 2 (Joane, Vila Nova de Famalicão).

A tectónica e as diferenças litológicas são os principais factores que condicionam a geomorfologia da região norte de Portugal. Através da análise da carta geológica, militar e imagem satélite verificam-se afloramentos graníticos nos pontos altos da região e vários troços de linhas de água e rios com orientação definida grosso modo pelos lineamentos tectónicos em que se encaixam. É notável também desigualdades acentuadas de cota devidas ao substrato granítico verificado em toda a área, e, o predomínio de afloramentos graníticos no rio Ave a que perifericamente se formam depósitos aluviais nas zonas de planície onde este circula (Pereira, 1992). As altitudes mais elevadas do concelho de Vila Nova de Famalicão encontram-se no limite Nordeste (Figura 28). No sector Norte é perfeitamente visível o vale do rio Pelhe (afluente do rio Ave), onde ocorre a cota mais baixa do concelho, sendo ainda possível individualizar os vales de alguns dos seus afluentes. O relevo da zona nascente do concelho é ondulado, sendo perceptíveis os entalhes da rede hidrográfica, com frequentes oscilações de altitude.

A região do centro de exploração, propriedade da SecilBritas, em apreço enquadra-se no quadrante NW da carta geológica, folha 9-B de Guimarães (Montenegro de Andrade et al., 1986) sendo afectada essencialmente por rochas magmáticas (Figura 29).

Quadro 32 - Localização, vias de acesso e aspectos gerais do georrecurso do centro de exploração da Secil Britas em Joane, Vila Nova de Famalicão (adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986; Pereira, 1992; Cavalheiro et al., 2002; IGeoE, 1997, 1998).



Localização

O centro de exploração de rocha, industrial e ornamental, sita nas freguesias de Portela e Joane, no lugar da Curviã, propriedade da empresa SECIL BRITAS S.A., concelho de Vila Nova de Famalicão, distrito de Braga e está circunscrito pelas povoações de Portela (Sta. Marinha) a nordeste, Telhado a oeste, Airão a este e sudeste e Joane a sul. As bases topográficas utilizadas foram as cartas n.º 70 (Braga) e n.º 84 (Selho - Guimarães) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25000).

Vias de Acesso

Para quem se desloca a partir do Porto ou de Braga, toma a Auto-estrada A3 até Vila Nova de Famalicão. Chegado a esta localidade, dirige-se pela estrada n.º 206 em direcção a Guimarães. Aí, encontra, à esquerda, ao Km 22 um cruzamento em direcção a Braga (estrada n.º 309). Nesta, passando por Telhado, Maganhe e Portela, cerca do Km 19 encontra, à direita, um entroncamento com a indicação de pedreiras. Após percorrer cerca de 1,6 Km, a subir, novamente à direita, encontra uma placa com a indicação de SECIL BRITAS. Entra aí directamente no caminho de acesso à pedreira, cujos escritórios se encontram a cerca de 200 m. Da rede viária que circunda e serve a área da pedreira mais próxima, destaca-se as seguintes vias: rede principal (estradas nacionais): i) ER206 - entre Vila do Conde e Guimarães, constitui a principal ligação entre as estradas municipais e as auto-estradas IP1 (A3) e IC5 (A7); ii) IP1 (A3) - serve de ligação para os principais destinos - Porto e Braga; iii) IC5 (A7) - actualmente liga Póvoa do Varzim (IC1) - Famalicão - Guimarães - Fafe - Vila Pouca de Aguiar e a rede distribuidora e secundária (estradas municipais): i) EM309 - liga a freguesia de Portela, Telhado e outras à ER206, no sentido sul e no sentido norte liga com a EN14; ii) EM628 - liga as freguesias de Airão (S. João Baptista) e Airão (Sta. Maria) à ER206, no sentido sul e no sentido norte, liga a EM309 que por sua vez liga à EN14 (Porto-Braga).

Aspectos geológicos gerais do georrecurso

Inserir-se num extenso maciço granítico tardi e pós-tectónico relativamente à última fase de deformação varisca (fase regional F3), intrusivo nos granitos grosseiros porfirídeos. A rocha em apreço é um granito de tendência monzonítica, por vezes, granodiorítica, de grão médio, com tendência porfiríode, de duas micas, essencialmente biotítico (Serviços Geológicos de Portugal à escala 1:50000, Carta 9-B de Guimarães - Montenegro de Andrade et al., 1986), fracturado e às vezes alterado, caso em que adquire tonalidade amarelada. O granito possui cor geralmente cinzenta e textura bastante uniforme, o diaclasamento apresenta-se, em muitas zonas, relativamente espaçado, características que conferem, ao maciço, interesse industrial para produção de lajes destinadas ao fabrico de guias de passeio paralelepípedos e elementos de alvenarias. A boa homogeneidade textural, quer quanto à granularidade, quer quanto à cor e o aspecto são, conferem a esta rocha boas características para ser explorada para britas. Apesar disso, algumas zonas de superfície de maciço, nomeadamente a zona mais superficial apresentam granito de cor amarelada por alteração, tal como acontece em estreitas faixas ao longo dos bordos de algumas das diáclases onde rocha de cor amarela - acastanhada se circunscreve às zonas de circulação de águas superficiais ou infiltradas. outras vezes, essa tonalidade está associada a zonas de esmagamento (cisalhamentos, caixas de falha), sendo de realçar uma larga faixa da zona nascente controlada por fracturas paralelas de orientação sensivelmente N10°E, responsáveis pela reactivação de fracturas mais antigas. No seio desta massa fracturada e alterada individualizam-se, em alguns locais, "bolas" de granito duro, ordinariamente com um metro a dois de diâmetro. No que se refere à granularidade, verificam-se ligeiras variações ao longo do maciço, nomeadamente com ligeiro aumento do tamanho do grão da matriz e da tendência porfiríode, que se traduz por maior abundância de pequenos cristais feldspáticos maiores que os da matriz, mantendo-se dispersos outros de maior tamanho (Montenegro de Andrade et al., 1986; Pereira, 1992).

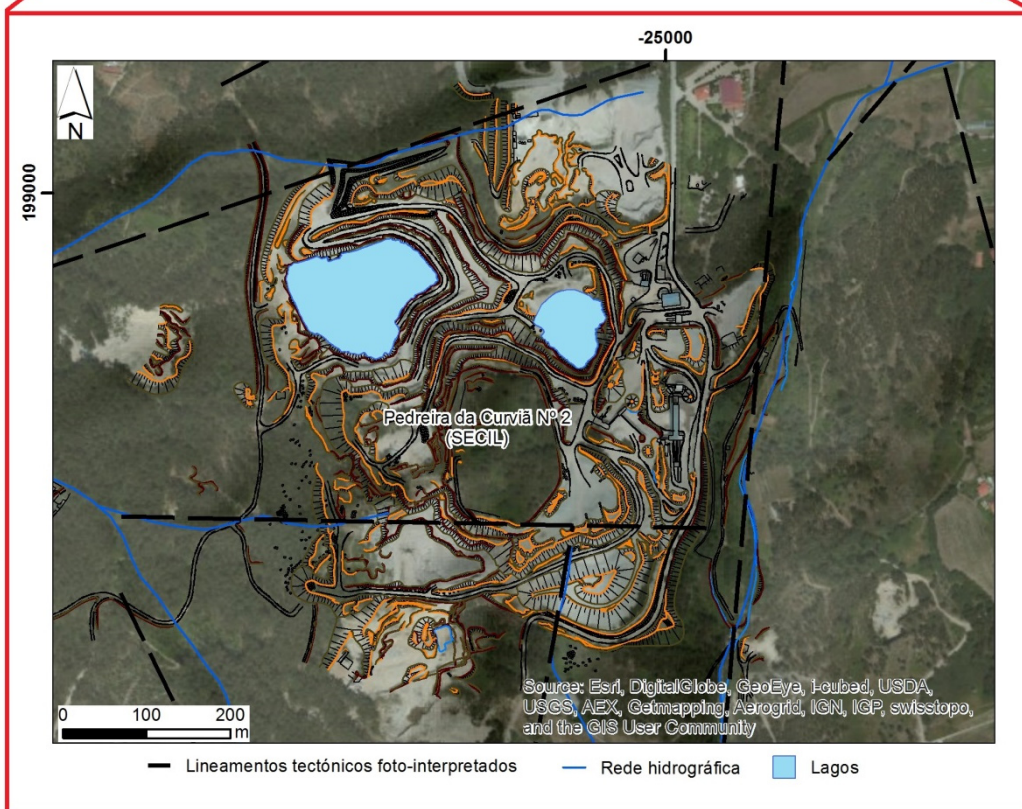
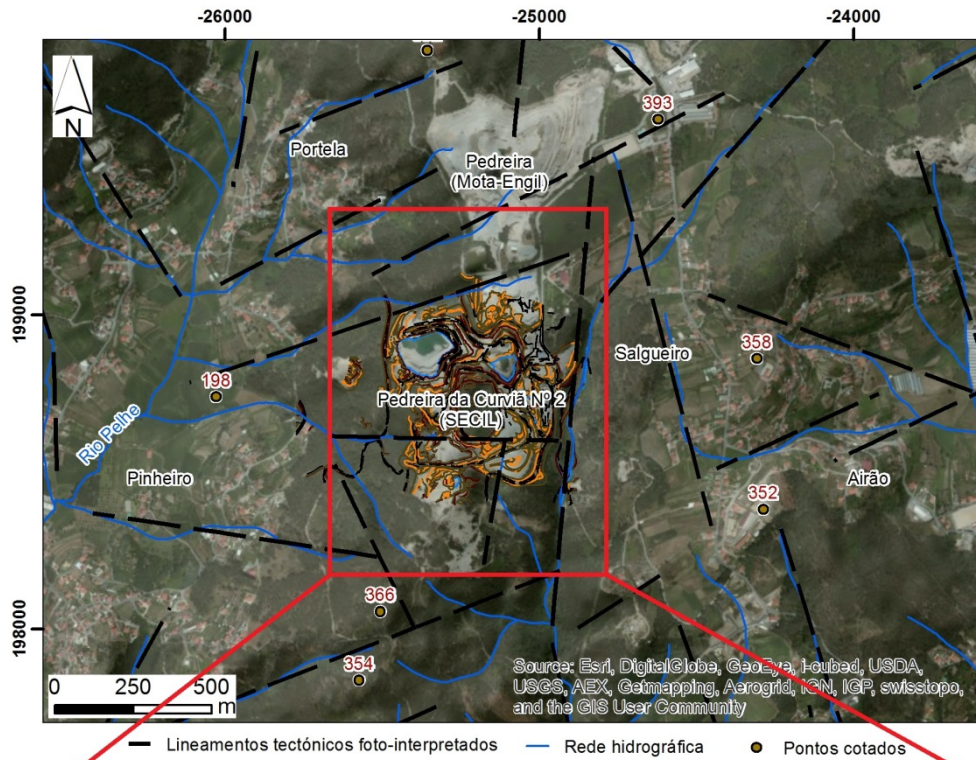


Figura 28 - Aspectos morfológicos observados a partir da imagem aérea da área da pedreira da Curviã Nº2 e envolvente (adaptado do Google Earth Pro).

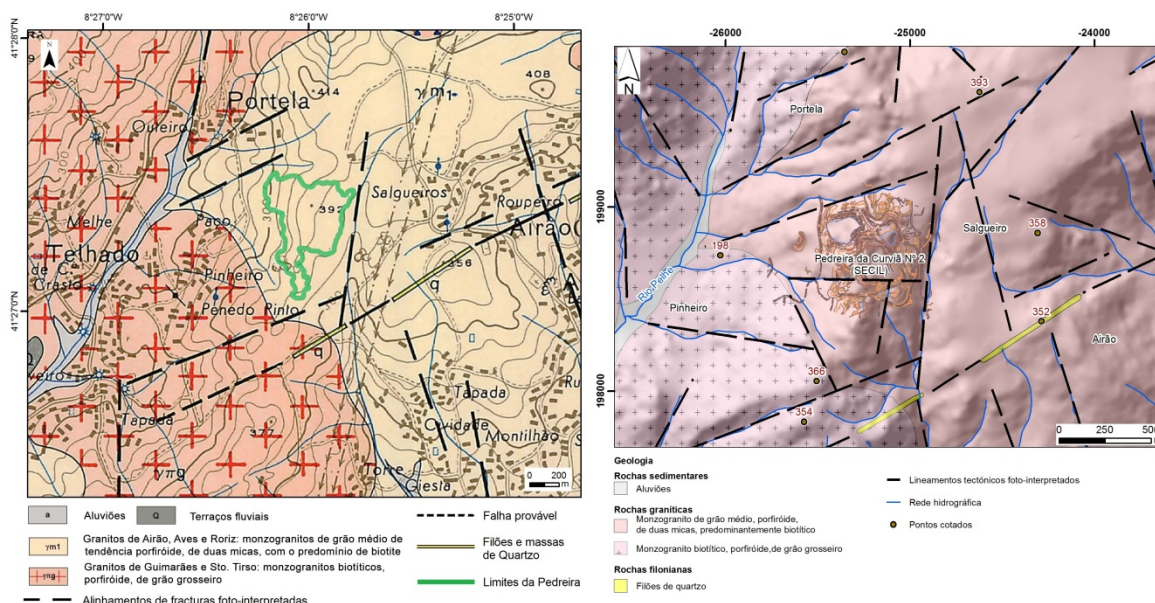


Figura 29 - Esboço geológico regional da área da pedreira da Curviã n.º 2 e envolvente (adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986).

Na referida região predominam rochas granitóides variscas (ou hercínicas), verificando-se maior abundância dos Granitos de Guimarães e de Santo Tirso, bem como Granitos de Burgães, Selho e Arões (Montenegro de Andrade et al., 1986). Com menos expressão é visível a presença do Granito de Airão, Aves e Roriz. Refira-se também a existência de lineamentos tectónicos com orientação geral N-S, NE-SW, NW-SE e pendor sub-vertical dispersas por toda a área em estudo. A presença de terraços fluviais e filões surgem de forma irrelevante. A sismicidade, em Portugal, não é, normalmente, nem muito intensa, nem muito frequente (Pereira, 1992).

A precipitação tem influência determinante nas características hidrológicas e hidrogeológicas de uma dada região. Utilizando o boletim de precipitação de Barcelos, no ano 2011/12 (Figura 30) como base de dados para aferir os níveis de precipitação no Concelho de Vila Nova de Famalicão depreende-se que é de 122 mm a quantidade média de precipitação mensal, verificando-se valores relativamente constantes (entre 113 e 220 mm) durante praticamente todos os meses do ano à excepção dos meses de Verão, nomeadamente, Junho, Julho, Agosto e Setembro.

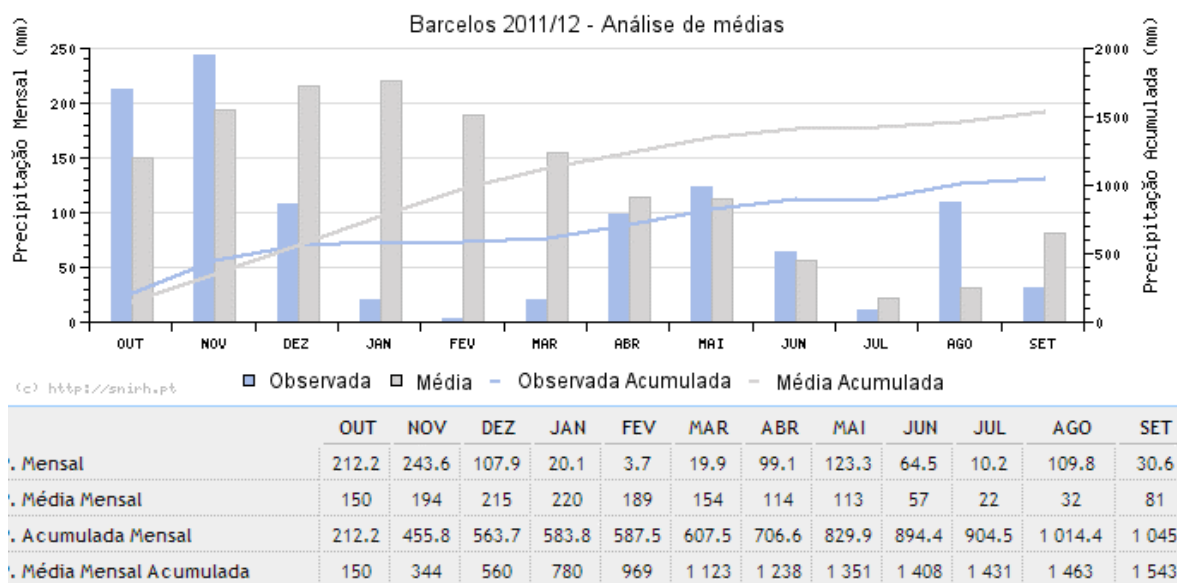


Figura 30 - Boletim de precipitação de Barcelos (<http://snirh.apambiente.pt/>)

Inserese regionalmente na parte norte da bacia hidrográfica do rio Ave, cujo leito do rio corre a sul, limitada a norte pela bacia do rio Cavado e oeste pelo Oceano Atlântico. Como principais linhas de água que passam mais próximas ao local da pedreira são a nascente o rio Pele e a Poente o rio Pelhe, ambos a desaguar a sul, no rio Ave. Segundo os dados fornecidos pela carta hidrogeológica de Portugal (Pedrosa, 1998), a permeabilidade atribuída as formações rochosas presentes na área variam entre média a baixa e, a sua produtividade aquífera é considerado significativa, com valores situados entre 1 e 3 L/s.km² (Pedrosa, 1998).

Os aquíferos na zona da pedreira podem caracterizar-se sumariamente como pertencendo a dois grupos (Pedrosa, 1998):

- i) Aquíferos livres superficiais, na zona de alteração superior do maciço, instalados nos solos residuais resultantes da meteorização do granito, cuja base é o granito do maciço subjacente, que apresentam porosidade em pequeno;
- ii) Aquíferos em meio fissurado, instalados nas zonas diaclasadas do maciço granítico, que recebem a recarga através dos aquíferos livres sobrejacentes descritos no ponto anterior, com um sistema de fissuras que fecha em profundidade, e onde a água circula através da rede de diaclases, que apresentam, conseqüentemente, porosidade em grande.

3.2. Levantamento geológico-geotécnico e geomecânico: generalidades

Os primeiros passos do trabalho de campo desta dissertação tiveram início em Maio de 2014, no centro de produção de rocha, industrial e ornamental, da Secil Britas, S.A., em Joane, (Vila Nova de Famalicão), com os reconhecimentos geológico-geotécnicos preliminares, seguidos de uma cartografia das superfícies expostas do maciço rochoso fracturado – através da técnica de amostragem linear (“Scanline Sampling Technique”) e do esclerómetro portátil (martelo de Schmidt, Proceq, tipo L) – em duas bancadas, numa extensão avaliada em cerca de 347,25 m (176,75 m na bancada 1 e 170,5 m na bancada 2) (Figura 31, área assinalada a vermelho). O desmonte teria como finalidade a produção de rocha industrial por forma, a complementar a informação geológico-geomecânica, para avaliação da influência das anisotropias do maciço nos desvios de perfuração em maciços rochosos fracturados, realizada através da monitorização da perfuração de furos para 3 pegas de fogo, em zonas no maciço a definir.

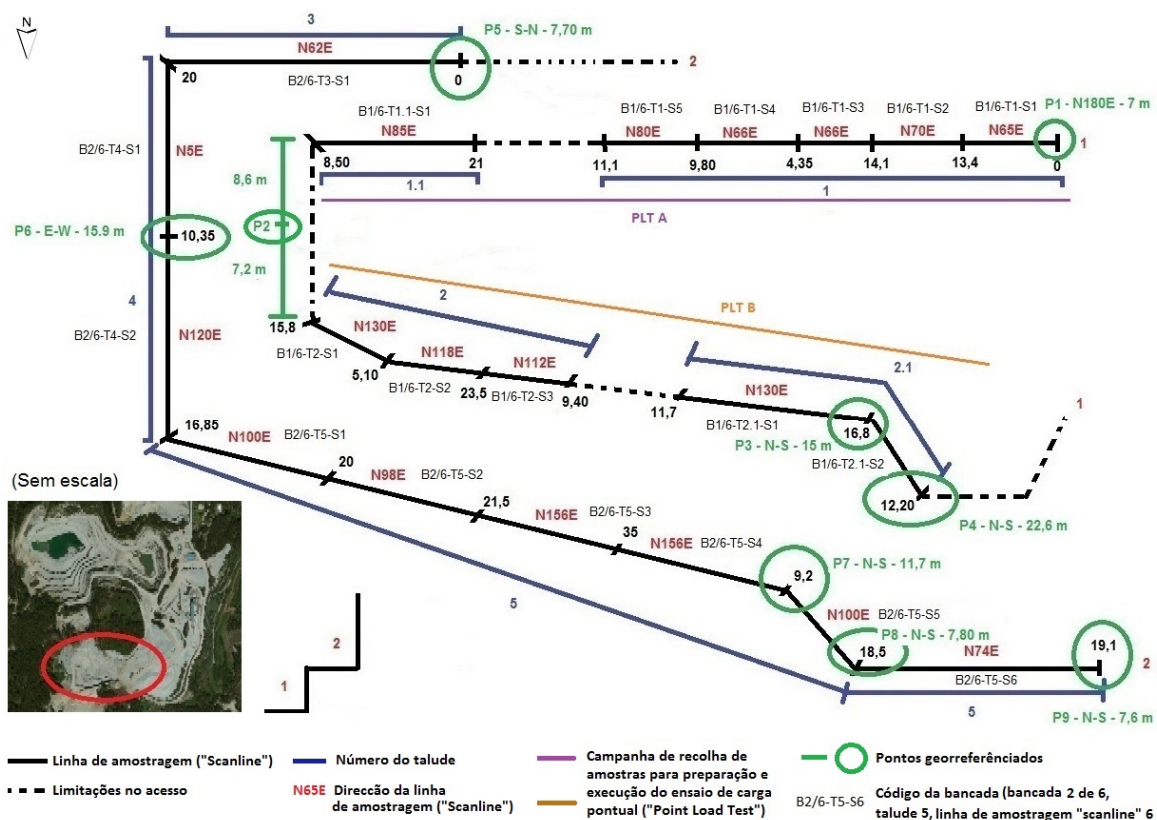


Figura 31 - Representação esquemática da primeira etapa de caracterização geológico-geotécnica das superfícies expostas dos taludes.

Foram cartografadas 207 discontinuidades e avaliada a resistência à compressão uniaxial, com esclerómetro portátil (martelo de Schmidt Proceq, tipo L) em 39 estações geomecânicas e seleccionadas na bancada 1, duas zonas amostrais com recolha de amostras para realização do

ensaio de laboratório PLT ("Point Load Test"; ISRM, 1985) para corroborar os valores do ensaio *in situ* e de laboratório para estimativa da resistência indicada anteriormente.

Em meados de Junho de 2014, tiveram lugar, alterações no alinhamento inicial da dissertação, tendo sido o estudo à *posteriori* direccionado para as metodologias cartográficas geotécnicas para a contribuição da gestão da exploração de georrecursos. Esta mudança, a que somos alheios, deveu-se a motivos operacionais da empresa relacionados com a perfuração de furos a realizar, com o objectivo de executar pegas de regularização das bancadas, o que não permitiria forma de monitorização adequada dos desvios de perfuração.

Com este novo alinhamento da dissertação e utilizando as mesmas técnicas de caracterização geológico-geomecânica foram cartografadas quatro novos patamares, numa extensão estimada em 685,85 m (110,4 m na bancada 3; 200,55 m na bancada 4; 43,7 m na bancada 5 e 331,2 m na bancada 6) (Figura 32, assinalado a área a azul), cujo desmonte tem como finalidade a obtenção de rocha industrial e ornamental.

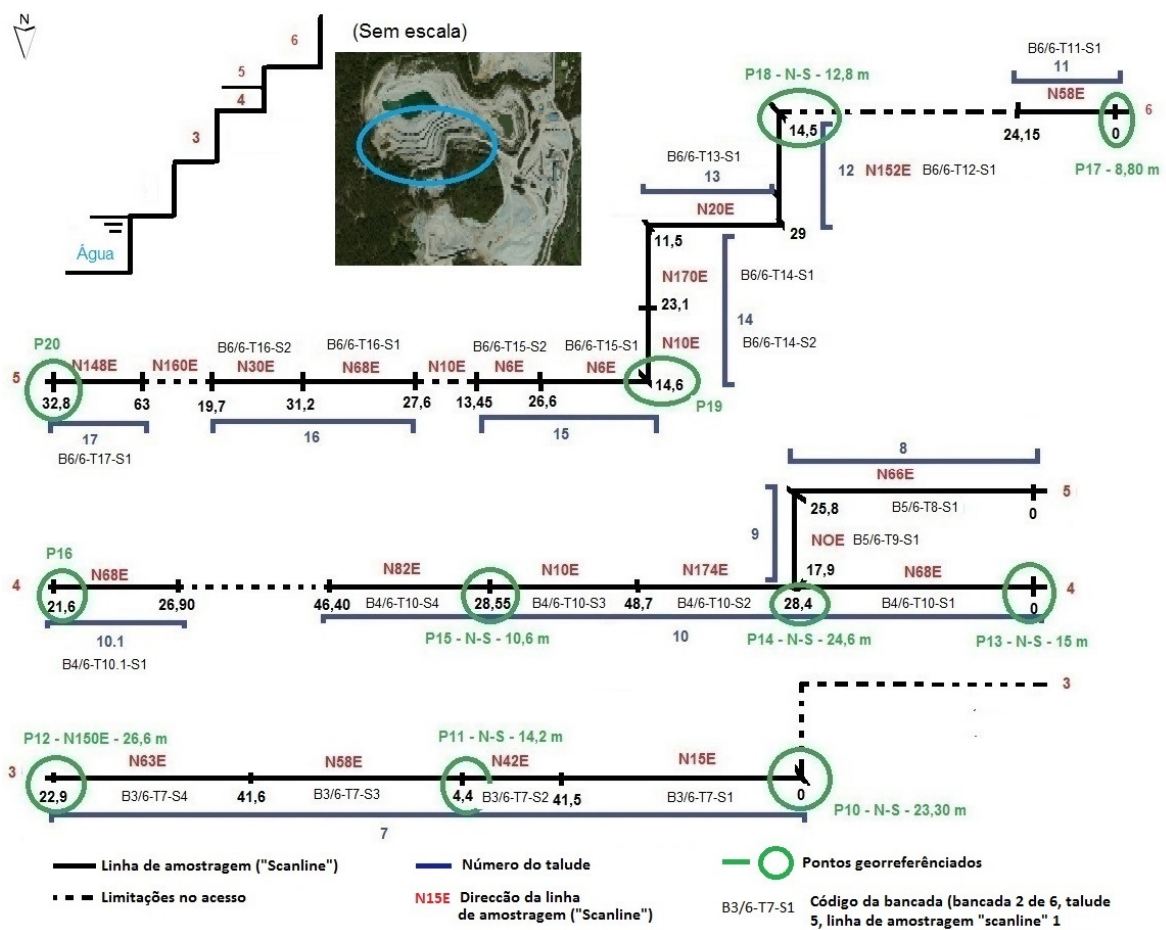


Figura 32 - Representação esquemática da segunda etapa de caracterização geológico-geotécnica das superfícies expostas dos taludes.

Foram caracterizadas 375 descontinuidades e avaliada a resistência à compressão uniaxial, com esclerómetro portátil (martelo de Schmidt, Proceq, tipo L) em 75 estações geomecânicas e seleccionadas 3 zonas amostrais com recolha de amostras para realização do ensaio de laboratório PLT (Point Load Test – ISRM, 1985) para corroborar os valores do ensaio *in situ* e de laboratório para estimativa da resistência indicada anteriormente.

O local seleccionado para caracterização dos seis patamares teve em consideração os seguintes critérios:

- Fácil acessibilidade ao local com condições técnicas e de segurança viáveis para a aplicação da técnica de amostragem linear ao longo de uma série sucessiva de taludes;
- Sabendo que a pedreira se encontrava em funcionamento, o levantamento geológico-geomecânico de campo não poderia perturbar o normal funcionamento da mesma;
- Era importante a caracterização geológico-geotécnica e geomecânica do núcleo central da exploração por forma a cartografar áreas do maciço segundo as quais seria expectável a obtenção de determinadas dimensões de bloco para determinados fins.

De uma forma geral, a Figura 33 representa, a informação referente às cotas de início e fim das bancadas/patamares cartografados, número de descontinuidades cartografadas, estações geomecânicas realizadas, extensão e altura das bancadas cartografadas.

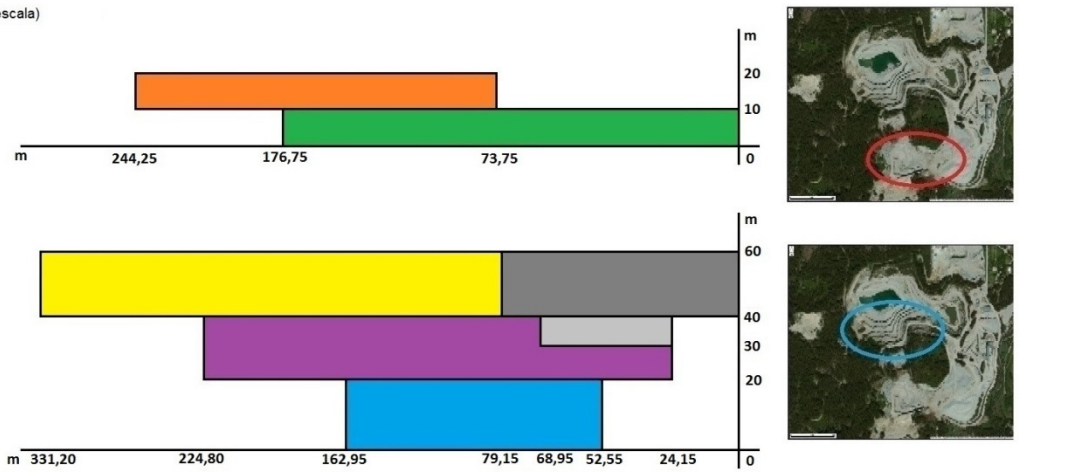
Utilizando a informação das seis bancadas, com faces expostas do maciço rochoso, cartografadas é elaborado um esboço do zonamento geotécnico preliminar (Outubro de 2014), em que se evidencie as zonas do maciço, em que é expectável a obtenção de blocos de diferentes dimensões dada a heterogeneidade da continuidade do diaclasamento, blocos com diferente constituição mineralógica ou com determinados índices de resistência. Do ponto de vista técnico-económico a alteração no alinhamento inicial da dissertação acrescenta valor à organização na forma e na localização geográfica de como e onde deverá ser explorado o georrecurso conforme as necessidades do mercado tornando assim, este caso de estudo, uma ferramenta de apoio à optimização da gestão do georrecurso local.

A principal actividade da organização é a extracção de granitos para produção de agregados com transformação no local. Para além desta produção de agregados em dinâmica laboração, coexiste em paralelo na cota mais elevada do complexo, uma extracção de blocos de granito com características ideais para a actividade de transformação na área da rocha ornamental, actividade com longo historial que se verifica coexistir na área envolvente do complexo em empresas especializadas nesta área em paralelo com a produção de agregados.

São vários os produtos da Secil Britas S.A. (V. N. de Famalicão, Braga), como é habitual em idênticos pólos industriais desta área e natureza, todos os produtos são produzidos com parâmetros normalizados (EN), marcação CE, com produtos desde os mais finos, pó mineral e areias finas, passando pelos vários calibres de britas, britas normais e drenantes as gravilhas, os ABGE de maior amplitude granulométrica e os de maiores calibres como o balastro, o enrocamento e o rachão.

A produção directa dos agregados está aparentemente condicionada pelo “layout” da parte da transformação do material desmontado, que se afigura de certo modo em área confinada e dimensionada de acordo com a disponibilidade pré-existente, obrigando a uma permanente gestão de stock face à produção imediata e a uma necessária deslocação do “excedente” do colector, que é usado para fornecimento imediato e de carga externa no raio de acção dos tapetes que transportam material resultante dos fragmentadores secundários e terciários, e sempre que necessário são esses “excedentes” momentâneos, deslocados para área em cota superior, sendo colocados em pilhas para posterior utilização.

(Sem escala)



Bancada 1 - 105 descont. cartografadas, 19 estações geomecânicas em 176,75 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha industrial. **Bancada 2** - 102 descont. cartografadas, 20 estações geomecânicas em 170,50 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha industrial.



Bancada 5 - 9 descont. cartografadas, 6 estações geomecânicas em 43,7 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha ornamental.



Bancada 3 - 124 descont. cartografadas, 18 estações geomecânicas em 110,40 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha industrial.

Bancada 4 - 106 descont. cartografadas, 22 estações geomecânicas em 200,55 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha industrial.

Bancada 6 - 110 descont. cartografadas, 21 estações geomecânicas em 252,05 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha industrial.

Bancada 6 - 26 descont. cartografadas, 8 estações geomecânicas em 79,15 m de extensão com aproveitamento expectável para rocha ornamental.

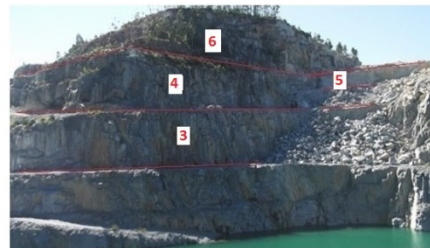


Figura 33 - Resumo da informação referente às cotas de início e fim das bancadas cartografadas, número de descontínuas cartografadas, estações geomecânicas realizadas, extensão e altura das bancadas cartografadas.

3.3. Quadro geológico e geotécnico local da exploração

Como referido anteriormente, na Pedreira da Curviã, o maciço rochoso em apreço é um granito de tendência monzonítica, por vezes, granodiorítica, de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, fracturado e às vezes alterado, caso em que adquire tonalidade amarelada (Figura 34). O granito possui cor geralmente cinzenta e textura bastante uniforme.

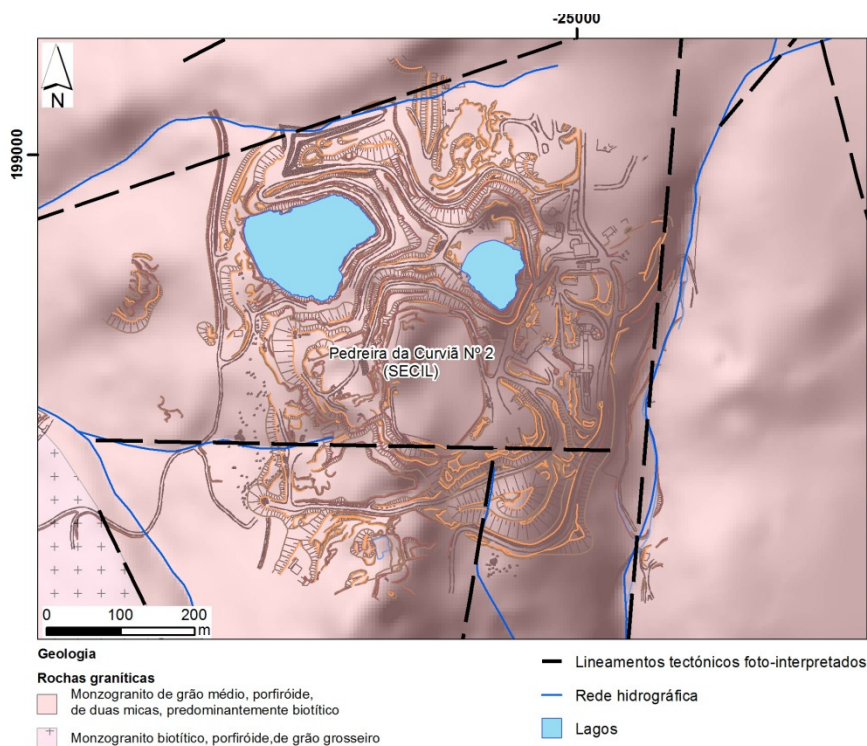


Figura 34 – Esboço geológico local da área da pedreira da Curviã n.º 2 e envolvente (Adaptado de Montenegro de Andrade *et al.*, 1986)

Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear para a caracterização e avaliação geológico-geotécnica e geomecânica das superfícies expostas do material rocha granítico, foram analisados estatisticamente recorrendo a diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural ou estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de discontinuidades e a sua representatividade.

A análise dos diagramas geológico-estruturais da Figura 35 permite constatar que as discontinuidades dos seis patamares caracterizados se concentram em duas famílias principais, sendo: a mais importante (1) N40°-80°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para SE e a segunda família (2) N120°-160°E, com pendores que oscilam entre 55°-80° para NE.

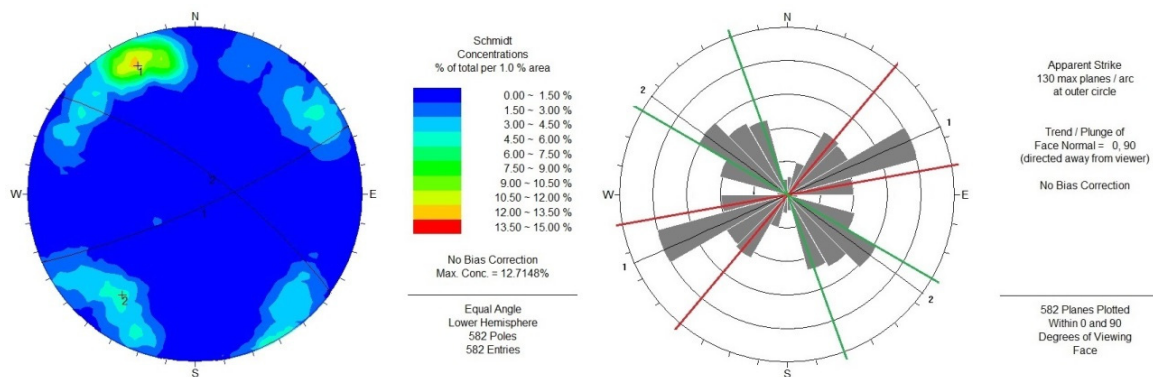


Figura 35 - Diagramas geológico-estruturais: diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=582) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°[.

Na projecção e análise das descontinuidades em diagramas de rosetas, está normalmente determinado por defeito um intervalo com amplitude de 10° com início em 0°, sendo o primeiro intervalo (pétala) constituído por todas as descontinuidades com as seguintes direcções: N 0°, 1° a 9° E. Esta análise nem sempre garante uma definição das principais famílias, isto é, será que ao analisar num intervalo [1°; 15°[, por exemplo, não se englobará um maior número de descontinuidades? Isto implica poder cometer erros na atribuição da ordem das principais famílias, assim como no rigor do intervalo definido para as mesmas. Para que tal não aconteça, verificou-se para cada conjunto de pétalas todos os intervalos possíveis, com amplitudes variando nos 20°, 30° a 40°, de forma a garantir que o intervalo definido para cada uma das duas famílias delimitadas seja o que contém o maior número de descontinuidades contempladas aumentando a representatividade de descontinuidades contidas em cada família principal. Definiu-se, inicialmente, uma amplitude de pétalas no diagrama de rosetas 15° a 20°, por ser um intervalo aceitável para a caracterização geral do maciço.

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 40° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 33).

Quadro 33 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude geológica média	Representatividade	
1ª F	N[40°/79°]E; [60°/85°]SE		N61 ° E; 80°SE	213	37%
2ª F	N[120°/159°]E; [55°/80°]NE		N131 ° E; 74°NE	184	32%
FP	Famílias principais		-	397	69%
A	Aleatórias		-	185	31%
G	Geral		-	582	100%

Amplitude das pétalas 15°

Amplitude das famílias 40°

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 69% do total das descontinuidades em duas famílias principais (Quadro 33) sendo: a mais importante (1) N61°E; 80°SE e a segunda família (2) N131°E; 74°NE.


Os parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos foram caracterizados na generalidade do maciço rochoso estudado, de acordo com os critérios propostos pela ISRM (1978, 1981, 2007) e GSE (1995). Nas Figuras 36 a 46 é apresentada toda a estatística referente à descrição destas propriedades do maciço rochoso da pedreira da Secil Britas de Vila Nova de Famalicão. Em cada análise é representado o número de descontinuidades para a primeira, segunda e terceira (se existir) família, para as famílias principais, para as aleatórias e para o número total das descontinuidades cartografadas.

Caracterização do material rochoso

O Quadro 34 apresenta um resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração.

Quadro 34 - Resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração (CICCOPN, 2010) in Dias, 2013.

<i>Parâmetro</i>	<i>Breve Descrição</i>		
<i>Classificação geológica</i>	<i>Rocha ígnea plutónica</i>		
<i>Estrutura</i>	<i>Compacta - composta por minerais leucocratas (feldspato, quartzo e moscovite) e melanocratas (biotite).</i>		
<i>Textura</i>	<i>Holocristalina, fanerítica, com tendência porfiróide</i>		
<i>Superfície</i>	<i>Áspera</i>		
<i>Porosidade</i>	<i>Baixa</i>		
<i>Mineralogia</i>	<i>Quartzo</i>	<i>1 a 5 mm</i>	<i>30%</i>
	<i>Feldspatos</i>	<i>1 a 30 mm</i>	<i>60%</i>
	<i>Micas</i>	<i>0,5 a 2 mm</i>	<i>9%</i>
	<i>Outros</i>	<i>-</i>	<i>1%</i>



Grau de Alteração

É de referir que estamos na presença de um maciço rochoso que foi sendo explorado ao longo dos anos num âmbito industrial mais concretamente para a produção de agregados, sendo a zona balizada para estudo, coincidente com as frentes em exploração, seria expectável encontrar um maciço de boa qualidade que permita a produção desse mesmo agregado com as características pretendidas para o efeito.

Verifica-se, através da análise da Figura 36 que a rocha se apresenta, maioritariamente, são ou não alterada, W1 (66%), ocorrendo em percentagens, algo expressivas (23%) descontinuidades ligeiramente alteradas, W2, e pouco expressivas (11%) descontinuidades mediamente alteradas, W3. Devido ao maciço apresentar-se muito pouco alterado, o material-rocha apresenta globalmente uma tonalidade acinzentada. Da análise das principais famílias, constatou-se que não se verificam variações em relação à análise geral, ou seja, predomina um maciço são ou não alterado, W1, com algumas descontinuidades W2 e W3.

Designação	Grau de Alteração			Total
	Sã ou não alterada	Ligeiramente alterada	Medianamente alterada	
	W1	W2	W3	
1ª Família	64%	24%	11%	100%
2ª Família	65%	23%	11%	100%
Famílias Principais	65%	24%	11%	100%
Aleatórias	70%	19%	10%	100%
Geral	66%	23%	11%	100%

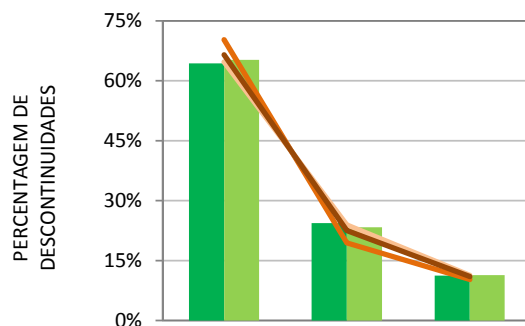


Figura 36 - Grau de alteração do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Tipo de descontinuidade

A Figura 37 mostra, de entre as 582 descontinuidades analisadas, que há uma clara predominância (92%) de diaclases. As restantes superfícies de descontinuidade (8%) correspondem a falhas. Ao analisar os tipos de descontinuidade mais frequentes nas famílias principais, verifica-se, o predomínio da mesma representatividade global para diaclases e falhas.

Designação	Tipo de Descontinuidade		Total
	Falha	Diaclase	
	F	D	
1ª Família	9%	91%	100%
2ª Família	7%	93%	100%
Famílias Principais	8%	92%	100%
Aleatórias	8%	92%	100%
Geral	8%	92%	100%

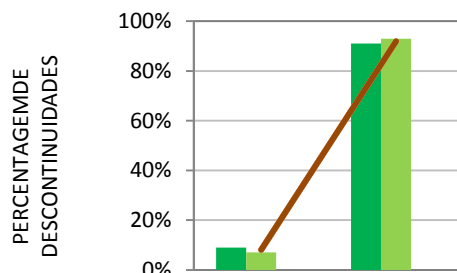


Figura 37 - Tipo de descontinuidade presente no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Grau de fracturação ("fracture intercept")

O espaçamento é caracterizado pela intensidade da fracturação num determinado volume de maciço rochoso. É um factor condicionante no tamanho do bloco unitário e como é uma característica muito variável no maciço, é necessário calcular a média do valor medido ou o valor mais provável, admitindo uma distribuição normal.

A análise global do grau de fracturação, utilizando os critérios da ISRM (1978, 1981) e as recomendações de Priest (1993), permite verificar que a intensidade da fracturação é distribuída pelas cinco classes definidas (Figura 38) com uma maior expressão, 33% são descontinuidades afastadas (F2). A estas seguem-se, com 26% as descontinuidades medianamente afastadas (F3), com 23%, as descontinuidades muito afastadas (F1), com 13% as descontinuidades próximas (F4) e ainda com alguma expressão, 5% de descontinuidades muito próximas (F5). Relativamente às principais famílias, verifica-se, maior representatividade de descontinuidades afastadas (F2), seguidas das descontinuidades medianamente afastadas (F3), muito afastadas (F1), próximas (F4) e muito próximas (F5).

Designação	Grau de Fracturação "Fracture intercept"					Total
	Muito afastadas	Afastadas	Medianamente afastadas	Próximas	Muito próximas	
	F1	F2	F3	F4	F5	
1ª Família	25%	29%	26%	15%	5%	100%
2ª Família	18%	35%	29%	11%	6%	100%
Famílias Principais	22%	32%	28%	13%	5%	100%
Aleatórias	24%	35%	23%	13%	5%	100%
Geral	23%	33%	26%	13%	5%	100%

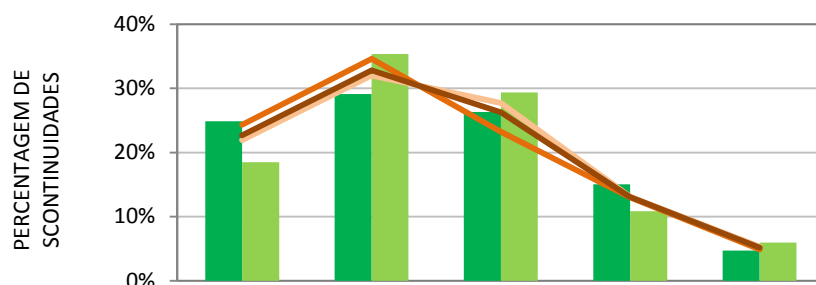


Figura 38 - Grau de Fracturação "Fracture Intercept" no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

A definição do parâmetro "Fracture Intercept", recomendado pela ISRM (1981) para os estudos de compartimentação de maciços rochosos é de extrema importância no enquadramento deste trabalho. Devido à anisotropia inerente ao elemento que se pretende estudar, maciço rochoso, a natureza dos dados que daí advêm, apresentam normalmente um elevado coeficiente de

variação. É fundamental uma análise meticulosa dos dados recolhidos, mas também, uma análise estatística descritiva básica que permita tratar essa mesma informação de uma forma mais adequada obtendo conseqüentemente resultados mais fidedignos.

A recomendação do ISRM (1981) para definição do parâmetro “Fracture Intercept”, ou seja expresso em termos de espaçamento independentemente das famílias de descontinuidades, nos estudos de compartimentação de maciços rochosos para fins de engenharia é de extrema importância. A inclinação das descontinuidades representativas neste maciço levaram, tal como preconizado pela ISRM (1981) e Priest (1993), a uma correção do espaçamento médio das descontinuidades, como evidencia o Quadro 35. Os valores do espaçamento médio corrigido dão a ordem de grandeza em que o maciço rochoso se encontra compartimentado, tendo esses valores alguma variação significativa atendendo à anisotropia do maciço rochoso e devendo-se ter sempre presente, que estes espaçamentos são valores médios e, como foi referido anteriormente, pela sua natureza anisotrópica, apresentam um elevado coeficiente de variação, que possivelmente só um adequado tratamento estatístico poderia reduzir.

Quadro 35 - Espaçamento médio das descontinuidades para o maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Família	Direcção	Espaçamento médio	Correcção do espaçamento (ISRM, 1981; Priest, 1993)	Espaçamento médio corrigido
		cm	$S_1 = d_1 \cdot \text{sen}(\alpha_1)$	cm
1ª F	N61°E; 80°SE	150		115
2ª F	N131°E; 74°NE	174		126
FP	Famílias Principais	81		52
A	Aleatórias	183		167
G	Geral	58		48

Abertura

Relativamente à abertura, segundo a análise da Figura 39, verifica-se que as descontinuidades, cerca de 59% são classificadas como fechadas e 41% como abertas. O valor médio da abertura é de 1,6 mm. É de referir que cada uma das classes de abertura está dividida em três subclasses, o que torna possível uma análise mais precisa. No maciço, em geral, verifica-se, que as descontinuidades classificadas como fechadas encontram-se na sua maioria na subclasse muito

apertadas, as descontinuidades classificadas como abertas encontram-se com maior representatividade na subclasse razoavelmente larga. Numa análise pormenorizada, pode-se constatar, que nas famílias principais as descontinuidades são na sua maioria classificadas como fechadas e abertas, sendo a subclasse, respectivamente, muito apertada e razoavelmente larga.

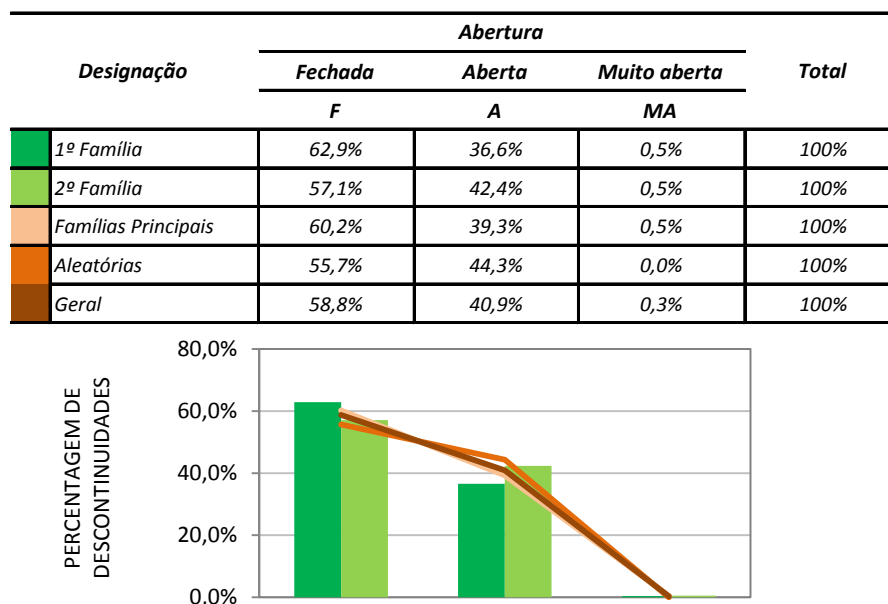


Figura 39 - Tipo de abertura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Continuidade

A continuidade caracteriza a extensão em área de uma descontinuidade num dado volume de rocha. O estudo da continuidade das descontinuidades numa bancada pode ter um factor de distorção que é a própria altura da bancada (K), por esse motivo a leitura da continuidade das descontinuidades poderá ser complementada pelo seguinte parâmetro: a terminação. Assim, um grande número de descontinuidades terminadas em rocha indicará à partida, uma menor continuidade das mesmas, pelo contrário, se uma descontinuidade termina de forma obscura, pode indicar, uma maior continuidade das mesmas.

Constata-se na Figura 40 que as descontinuidades cartografadas são geralmente medianamente contínuas (38%), muito pouco contínuas (31%), pouco contínuas (29%) e com menor expressão, contínuas (2%). O valor médio da extensão da descontinuidade é de 4 m na totalidade do maciço. Nas famílias principais não se observa diferença relativamente à análise geral.

Designação	Continuidade				Total
	Muito Pouco Continua	Pouco Continua	Medianamente continua	Continua	
	< 1 (m)	1 - 3 (m)	3 - 10 (m)	10 - 20 (m)	
1ª Família	19%	29%	52%	0%	100%
2ª Família	45%	28%	27%	1%	100%
Famílias Principais	31%	28%	40%	1%	100%
Aleatórias	31%	30%	34%	6%	100%
Geral	31%	29%	38%	2%	100%

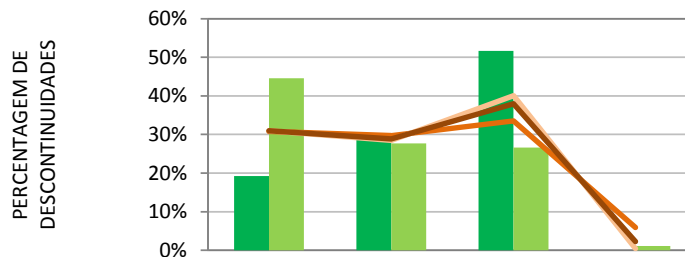


Figura 40 - Continuidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Terminação

No que respeita à terminação (Figura. 41), na generalidade do maciço, verifica-se que 77% da terminação das superfícies de descontinuidades é noutra descontinuidade, 21% terminam na rocha, tendo as restantes 2% terminação indefinida (obscura). Nas famílias principais não se verificam alterações face à análise geral do maciço rochoso.

Designação	Terminação			Total
	Rocha	Descontinuidade	Obscura	
	R	D	O	
1ª Família	20%	80%	0%	100%
2ª Família	22%	77%	1%	100%
Famílias Principais	21%	79%	1%	100%
Aleatórias	23%	74%	4%	100%
Geral	21%	77%	2%	100%

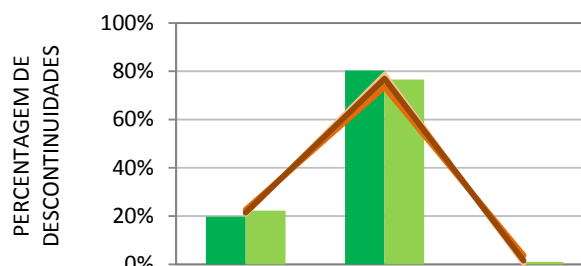


Figura 41 - Tipo de terminação das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Curvatura

Em termos globais, a curvatura (Figura 42) das descontinuidades é fundamentalmente do tipo planas a ligeiramente curvas (C1-2), com cerca de 73%, seguidas de 26% de descontinuidades curvas (C3) e com menor expressão, 1% das descontinuidades são muito curvas (C4-5). Na análise das famílias principais verifica-se que não existem diferenças significativas na distribuição das descontinuidades em relação à análise geral do maciço.

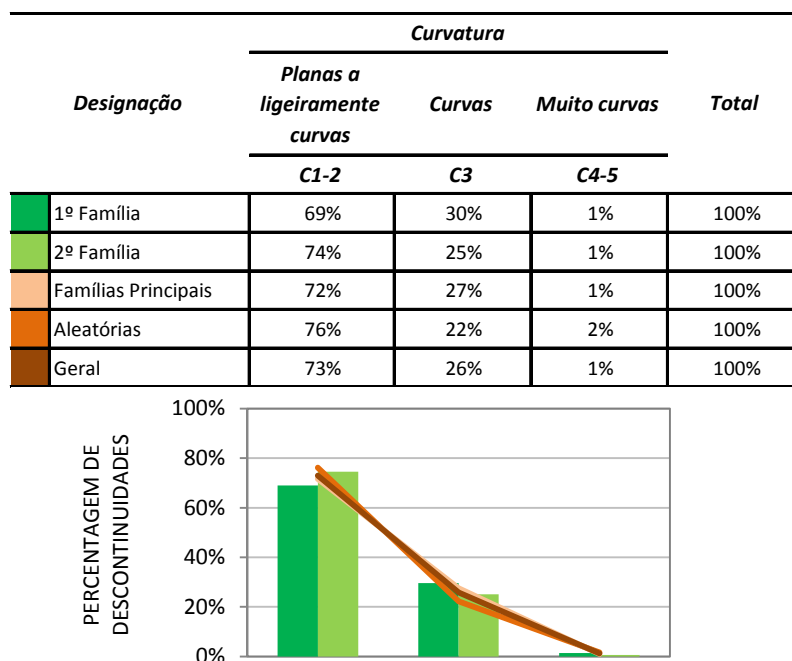


Figura 42 - Tipo de curvatura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Rugosidade

A rugosidade manifesta-se pela presença de irregularidades nas paredes das descontinuidades, podendo estas ser de diferentes tipos e de diferentes ordens (ISRM, 1978, 1981). Traduz-se na prática como um aumento da resistência ao corte ao longo da superfície da descontinuidade e introduzem perturbações na percolação das águas. É um dos factores que mais influência a variação da abertura ao longo de uma descontinuidade.

Numa abordagem geral, a rugosidade (Figura 43) com mais expressão é do tipo ondulada com 74% das descontinuidades, seguindo-se, com 15% as descontinuidades com rugosidade do tipo plana e por último, com menor expressão (11%) as descontinuidades com tipo de rugosidade denteada. É de destacar que as três classes definidas para a rugosidade podem-se subdividir em três subclasses cada. Assim, as classes de rugosidade apresentam, respectivamente, com maior

representatividade, as subclasses rugosa (R3), lisa a algo rugosa (R1-2) e muito rugosa (R4-5), respectivamente. Nas principais famílias de descontinuidades não se verificam alterações ao exposto.

Designação	Rugosidade			Total
	Denteada	Ondulada	Plana	
	D	O	P	
1ª Família	10%	77%	13%	100%
2ª Família	10%	76%	15%	100%
Famílias Principais	10%	76%	14%	100%
Aleatórias	13%	71%	16%	100%
Geral	11%	74%	15%	100%

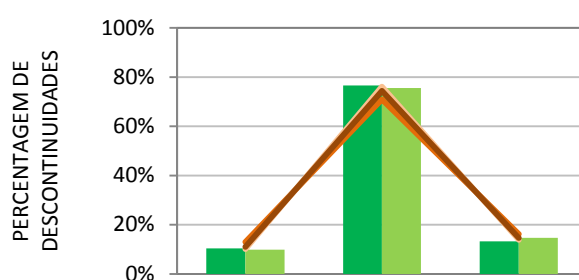


Figura 43 - Rugosidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Tipo de preenchimento

Entende-se por enchimento o material que se encontra a preencher o espaço entre as duas paredes das descontinuidades (ISRM, 1978, 1981). A espessura do enchimento depende muito da abertura da descontinuidade. A caracterização física e mecânica do material de enchimento é de extrema importância, pois a sua permeabilidade e espessura condicionam as características de percolação nas descontinuidades, assim como a sua resistência, deformabilidade e espessura condicionam todo o processo de rotura.

Quanto ao enchimento/preenchimento, na Figura 44, pode-se constatar que 85% das descontinuidades não são preenchidas por qualquer tipo de material, por outro lado, a abertura de 8% e 6% das descontinuidades é, respectivamente, preenchida por cataclasito/milonito e por outro tipo de material. Na análise das famílias principais, verifica-se que o preenchimento das descontinuidades não teve variação face à análise geral.

Designação	Tipo de Enchimento/Preenchimento			Total
	Cataclasito/ Milonito	Outro	Nenhum	
	C/M	O	N	
1ª Família	10%	5%	85%	100%
2ª Família	7%	9%	84%	100%
Famílias Principais	9%	7%	85%	100%
Aleatórias	8%	4%	88%	100%
Geral	8%	6%	85%	100%

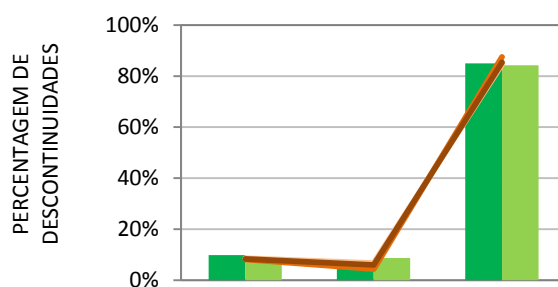


Figura 44 - Tipos de enchimento/preenchimento das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Presença de água

Quanto à presença de água no maciço, apreende-se, através da Figura 45, que as descontinuidades se apresentam maioritariamente secas (89%), salientando-se 9% das descontinuidades apresentam-se húmidas. A percentagem de descontinuidades gotejantes não é contudo desprezável (2%). Esta última situação pode estar relacionada com a circulação de água subterrânea na abertura das descontinuidades. Da análise das famílias principais verifica-se que não existem diferenças significativas na distribuição das descontinuidades em relação à análise geral do maciço.

Designação	Presença de água			Total
	Seco	Húmido	Gotejante	
	S	H	G	
1ª Família	91%	8%	1%	100%
2ª Família	88%	8%	4%	100%
Famílias Principais	89%	8%	3%	100%
Aleatórias	89%	10%	1%	100%
Geral	89%	9%	2%	100%

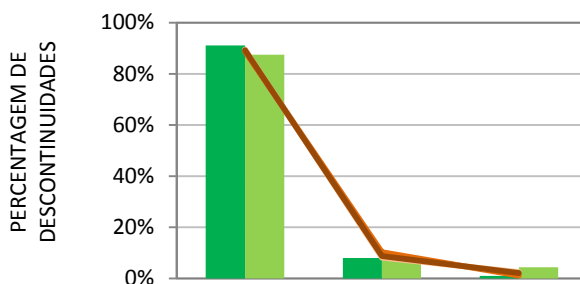


Figura 45 - Presença de água nas descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Resistência à compressão uniaxial

Para a caracterização mecânica de um maciço rochoso é importante o conhecimento da resistência à compressão uniaxial do material-rocha recorrendo, entre outras formas (por exemplo à recolha de amostras para o ensaio “Point Load Test” (ISRM, 1985), à determinação da dureza com esclerómetro portátil (ou martelo de Schmidt, Proceq, tipo L), podendo conduzir à estimativa do valor da resistência à compressão uniaxial (ISRM, 1985, 2007).

Para uma amostragem de 114 estações geomecânicas recorrendo à utilização deste instrumento e através das curvas de calibração (Ábaco de Miller), adequadas ao modelo utilizado e considerando uma densidade média da rocha de 26,0 KN/m³, constatou-se que o maciço se classifica (Figura 46), na sua maioria, como sendo do tipo S2 (91%), resistência elevada, segundo a ISRM (1981), sendo que o valor médio da resistência, nesta classe é de 108,3 MPa, seguindo-se, com menor expressão 6% das descontinuidades com grau de resistência média, S3, e resistência muito elevada S1 em 3% das medições efectuadas nas descontinuidades, com 55,5 e 219,5 MPa, respectivamente. Globalmente, o valor médio da resistência à compressão medido situa-se nos 108 MPa.

Designação	Resistência à compressão uniaxial			Total
	Muito elevada	Elevada	Média	
	S1	S2	S3	
Geral	3%	91%	6%	100%

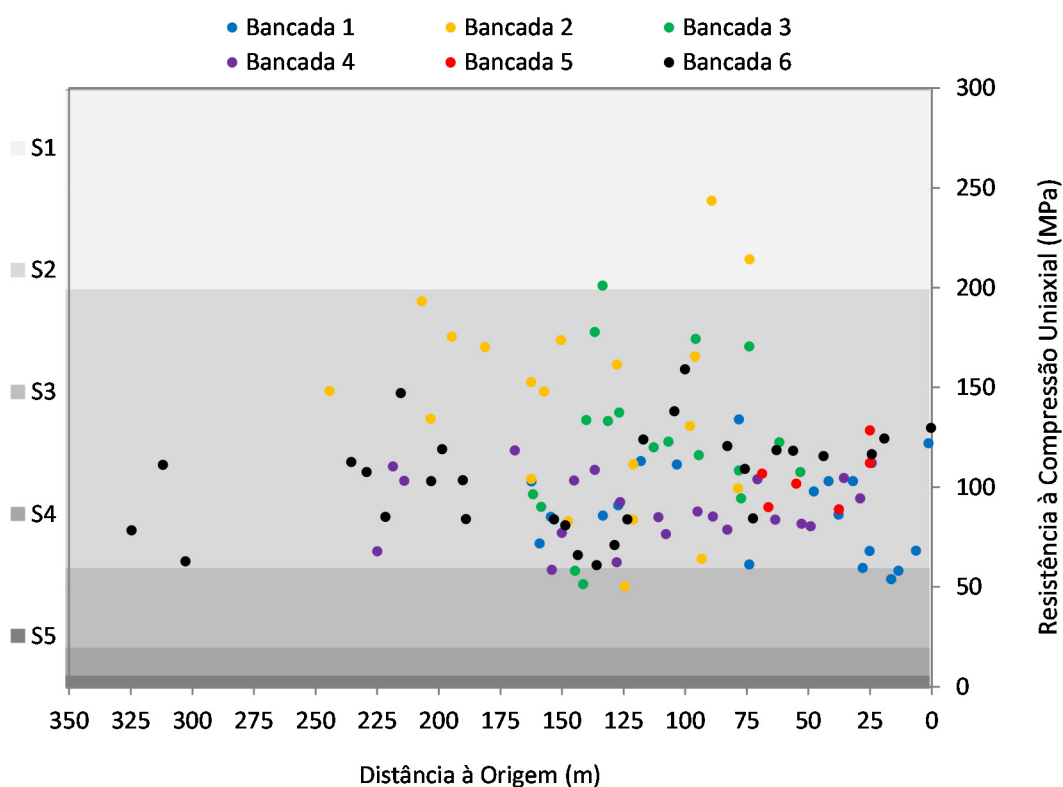
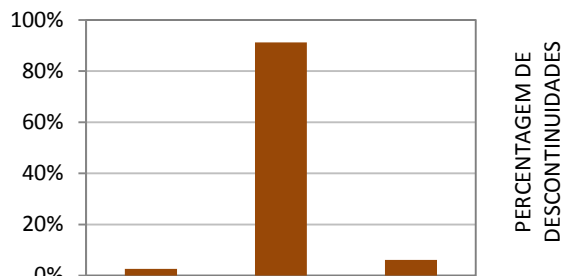


Figura 46 - Análise das classes de resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) - (codificação das classes de resistência (S – “Strenght”, segundo a ISRM, 1981).

Para uma ampla caracterização do maciço rochoso e tendo em vista a quantificação da resistência do material rocha foi realizado o ensaio de carga pontual (“Point Load Test”, PLT) a duas campanhas amostrais, A e B, na bancada 1, tendo permitido, respectivamente ensaiar 19 e 14 provetes prismáticos (blocos serrados) (Figura 47) no Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia do Porto (LGMC|ISEP). No Quadro 36 apresentam-se os resultados do ensaio PLT.

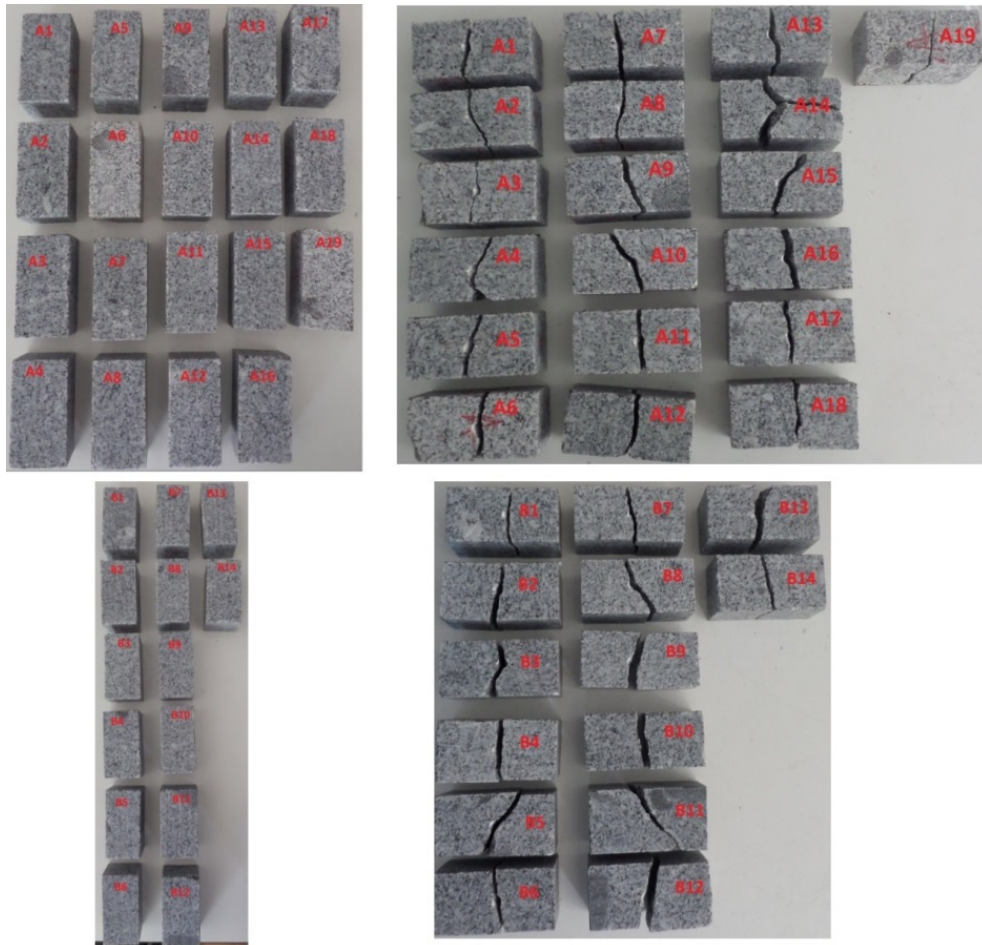


Figura 47 - Provetes de amostras ensaiadas no PLT (as 2 fotos acima correspondem ao conjunto A de 19 provetes e as duas fotos abaixo correspondem ao conjunto B com 14 provetes).

Os provetes A3, A4 e B3 foram considerados inválidos, uma vez que, os provetes A3 e A4 não pertenciam ao conjunto de provetes da zona amostral A e no provete B3 a carga (P) foi aplicada na dimensão D em vez da dimensão W do provete.

De acordo com a proposta da ISRM (1985) o valor médio do Índice de Resistência à Carga Pontual (Is_{50}) em ambas as amostras foi obtido retirando os dois valores mais altos (a azul) e os dois valores mais baixos (a verde) de 10 ou mais testes válidos, permitindo assim que o valor médio seja 7,49 e 8,19 MPa para as amostras A e B, respectivamente.

Estes valores permitiram a determinação da resistência à compressão uniaxial, a qual se situa no valor de 164 e 180 MPa, respectivamente, para a zona amostral A e B em ambos os valores se enquadram na classe de resistência (ISRM, 1981) S2, resistência elevada.

Em cada uma das amostras submetidas a ensaio de carga pontual (PLT, ISRM 1985), foram realizadas três séries de 25 percussões com o esclerómetro portátil (“Martelo de Schmidt”,

Proceq, tipo L) por forma a averiguar a resistência à compressão uniaxial dos provetes e corroborar com o resultado do ensaio de carga pontual (PLT) uma vez que os resultados do ensaio PLT deverão ser encarados de forma conservadora, pois, como se referiu anteriormente, apenas foram seleccionados dois pontos de amostragem e a avaliação da resistência à compressão uniaxial com o esclerómetro portátil é um método mais representativo, económico, simples e expedito em contrapartida ao ensaio de carga pontual no qual são necessários o transporte de amostras para a realização do ensaio e encargos económicos na preparação das mesmas.

O valor médio de ressalto foi obtido retirando o valor mais alto e o mais baixo em cada serie de 25 ressaltos seguido da média do ressalto das três séries sendo, convertidos através do ábaco de Miller para resistência à compressão uniaxial (UCS) e realizada a média final para cada um dos pontos amostrais.

Foram comparados os dois pontos amostrais de avaliação de resistência à compressão uniaxial recorrendo ao ensaio de carga pontual (PLT) e aos valores do esclerómetro portátil. É expectável que os valores determinados pelos dois métodos fossem relativamente próximos (diferenças entre métodos avaliada em cerca de 10 a 20 MPa). Nestas circunstâncias, os valores de resistência à compressão uniaxial determinados pelo método do ensaio de carga pontual (PLT) e esclerómetro portátil, são, respectivamente, 164,78 e 83 MPa para o ponto amostral A e para o ponto amostral B, 180,18 e 80 MPa, ambos pertencentes à classe de resistência (ISRM, 1981) S2, resistência elevada. Pelos dois métodos de avaliação, não se verificou a diferença expectável. A incoerência nos valores, pode ser explicada devido a anomalias no equipamento do ensaio de carga pontual, nomeadamente ao desgaste da superfície de contacto entre as ponteiros e o provete que fazem com que a pressão de carga para a ponteira penetrar o provete sejam maiores do que na área de contacto de uma ponteira que apresente menor superfície de desgaste. Por outro lado, a avaliação da resistência à compressão uniaxial nas superfícies das descontinuidades pelo método do esclerómetro portátil, corrobora com os resultados da resistência à compressão uniaxial nos provetes do ensaio de carga pontual utilizando o mesmo método, cuja diferença entre valores se enquadra no intervalo expectável (estimada em cerca de 10 a 20 MPa), sendo nos provetes e nas superfícies das descontinuidades, respectivamente, 83 e 84,47 MPa para a zona amostral A e para a zona amostral B 80 e 94,28 MPa, cujos valores se enquadram na classe de resistência (ISRM, 1981), S2, resistência elevada (Quadro 36).

Quadro 36 - Resultados do ensaio de carga pontual (PLT "Point Load Test") para a zona amostral A e B, da bancada 1.

Ensaio de Carga Pontual ("Point Load Test", ISRM, 1981, 1985, 2007) (LGMC ISEP)																			Resistência à compressão uniaxial nas superfícies das discontinuidades		
Amostra	Provete	Dimensões do provete			Verificação das dimensões dos provetes				Área	Diâmetro equivalente	Carga de rotura	Índice de resistência à carga pontual	Factor de correcção	Índice de resistência à carga pontual (D=50mm)		Resistência à compressão uniaxial		Resistência à compressão uniaxial		σ _c	Classe de resistência
		Comprimento	Largura	Distância entre ponteiros (Altura)	Comprimento		Relação distância entre ponteiros – largura do provete							Is ₍₅₀₎	Valor médio	UCS	Classe de resistência	σ _c	Classe de resistência		
		L	W	D	L	L > 0,5 x D	0,3 x W	0,3 x W < D < W	A = W x D	De = √(4 x A / π)	P	Is = P / De ²	F = (De / 50) ^{0,45}	Is ₍₅₀₎ = F x Is	22 x Is ₍₅₀₎	-	MPa	-	MPa	-	
		mm	mm	mm	mm	-	mm	-	mm ²	mm	KN	MPa	mm	MPa	MPa	-	MPa	-	MPa	-	
A	A1	99,40	51,87	49,97	24,99	V	15,56	V	2591,94	57,45	17,00	5,15	1,06	5,48	7,49	164,78	S2	83,00	S2	84,47	S2
	A2	102,22	51,80	49,81	24,91	V	15,54	V	2580,16	57,32	25,00	7,61	1,06	8,09							
	A3	99,21	52,44	49,31	24,66	V	15,73	V	2585,82	57,38	27,00	8,20	1,06	8,72							
	A4	99,41	53,31	49,75	24,88	V	15,99	V	2652,17	58,11	26,50	7,85	1,07	8,40							
	A5	99,53	50,65	49,67	24,84	V	15,20	V	2515,79	56,60	27,00	8,43	1,06	8,91							
	A6	100,13	51,60	50,25	25,13	V	15,48	V	2592,90	57,46	12,00	3,63	1,06	3,87							
	A7	99,61	52,96	50,01	25,01	V	15,89	V	2648,53	58,07	25,00	7,41	1,07	7,93							
	A8	99,91	50,94	49,77	24,89	V	15,28	V	2535,28	56,82	29,00	8,98	1,06	9,52							
	A9	99,37	50,69	50,06	25,03	V	15,21	V	2537,54	56,84	10,00	3,10	1,06	3,28							
	A10	99,52	51,19	50,01	25,01	V	15,36	V	2560,01	57,09	22,00	6,75	1,06	7,16							
	A11	99,75	51,50	49,77	24,89	V	15,45	V	2563,16	57,13	27,00	8,27	1,06	8,78							
	A12	99,32	50,56	49,58	24,79	V	15,17	V	2506,76	56,50	25,00	7,83	1,06	8,28							
	A13	99,92	51,73	49,59	24,80	V	15,52	V	2565,29	57,15	26,00	7,96	1,06	8,45							
	A14	99,60	51,51	49,66	24,83	V	15,45	V	2557,99	57,07	20,00	6,14	1,06	6,52							
	A15	99,05	51,16	50,03	25,02	V	15,35	V	2559,53	57,09	23,00	7,06	1,06	7,49							
	A16	99,19	51,49	49,94	24,97	V	15,45	V	2571,41	57,22	27,00	8,25	1,06	8,76							
	A17	99,54	52,40	49,63	24,82	V	15,72	V	2600,61	57,54	26,00	7,85	1,07	8,36							
	A18	100,03	51,36	49,68	24,84	V	15,41	V	2551,56	57,00	22,00	6,77	1,06	7,18							
	A19	100,59	51,86	50,25	25,13	V	15,56	V	2605,97	57,60	15,00	4,52	1,07	4,82							
B	B1	99,44	52,38	49,54	24,77	V	15,71	V	2594,91	57,48	26,00	7,87	1,06	8,38	8,19	180,18	S2	80,00	S2	94,28	S2
	B2	100,16	54,25	49,82	24,91	V	16,28	V	2702,74	58,66	25,00	7,26	1,07	7,81							
	B3	99,43	52,98	50,09	25,05	V	15,89	V	2653,77	58,13	26,00	7,69	1,07	8,23							
	B4	99,93	53,57	49,99	25,00	V	16,07	V	2677,96	58,39	26,00	7,63	1,07	8,18							
	B5	98,87	51,82	50,11	25,06	V	15,55	V	2596,70	57,50	26,00	7,86	1,06	8,37							
	B6	99,49	52,89	49,96	24,98	V	15,87	V	2642,38	58,00	28,00	8,32	1,07	8,90							
	B7	99,28	52,10	49,66	24,83	V	15,63	V	2587,29	57,40	23,50	7,13	1,06	7,59							
	B8	99,49	50,45	49,96	24,98	V	15,14	V	2520,48	56,65	25,00	7,79	1,06	8,24							
	B9	99,45	50,95	49,94	24,97	V	15,29	V	2544,44	56,92	25,00	7,72	1,06	8,18							
	B10	99,25	50,65	49,97	24,99	V	15,20	V	2530,98	56,77	27,00	8,38	1,06	8,87							
	B11	99,46	54,69	49,99	25,00	V	16,41	V	2733,95	59,00	26,50	7,61	1,08	8,20							
	B12	99,41	54,72	50,10	25,05	V	16,42	V	2741,47	59,08	27,00	7,74	1,08	8,34							
	B13	99,54	55,32	50,02	25,01	V	16,60	V	2767,11	59,36	26,00	7,38	1,08	7,97							
	B14	99,82	53,41	50,10	25,05	V	16,02	V	2675,84	58,37	24,50	7,19	1,07	7,71							

No Quadro 37 apresenta-se a síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das discontinuidades presentes nos 6 patamares estudados do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Quadro 37 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das discontinuidades presentes nos 6 patamares estudados (n=582) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos	Classe	Gráfico	Representatividade
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	66%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2	23%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	11%
Tipo de discontinuidade	<i>Falha</i>	F	8%
	<i>Diaclase</i>	D	92%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1	23%
	<i>Afastadas</i>	F2	33%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3	26%
	<i>Próximas</i>	F4	13%
	<i>Muito próximas</i>	F5	5%
Abertura	<i>Fechada</i>	F	58,8%
	<i>Aberta</i>	A	40,9%
	<i>Muito Aberta</i>	MA	0,3%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC	31%
	<i>Pouco contínua</i>	PC	29%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC	38%
	<i>Contínua</i>	C	2%
Terminação	<i>Rocha</i>	R	21%
	<i>Descontinuidade</i>	D	77%
	<i>Obscura</i>	O	2%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2	73%
	<i>Curvas</i>	C3	26%
	<i>Muito Curvas</i>	C4-5	1%
Rugosidade	<i>Denteada</i>	D	11%
	<i>Ondulada</i>	O	74%
	<i>Plana</i>	P	15%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Cataclasito/milonito</i>	CM	8%
	<i>Outro</i>	O	6%
	<i>Nenhum</i>	N	85%
Presença de água	<i>Seco</i>	S	89%
	<i>Húmido</i>	H	9%
	<i>Gotejante</i>	G	2%
Resistência à compressão uniaxial	<i>Muito elevada</i>	S1	3%
	<i>Elevada</i>	S2	91%
	<i>Média</i>	S3	6%

3.4. Cartografia do zonamento geotécnico-geomecânico do maciço rochoso da Curviã n.º2

Foi efectuado um reconhecimento geológico e geomorfológico de superfície, na área envolvente à pedreira da Curviã n.º2, com o objectivo de estimar a representatividade cartográfica da fácies granítica em afloramento e a qualidade geotécnica do material rochoso à (sub) superfície. Contudo, verificou-se que alguns dos terrenos da exploração encontram-se com uma vegetação rasteira algo densa (Figura 48 – g), presença de bacias de sedimentação (Figura 48 – e), depósitos

irregulares de material de grandes dimensões (Figura 48 – a, b, c, d, f) formando plataformas de acesso instáveis à frente de escavação e muros de suporte no maciço rochoso (Figura 48 - h) o que impossibilitou em alguns sectores o reconhecimento cartográfico pormenorizado do substrato rochoso.

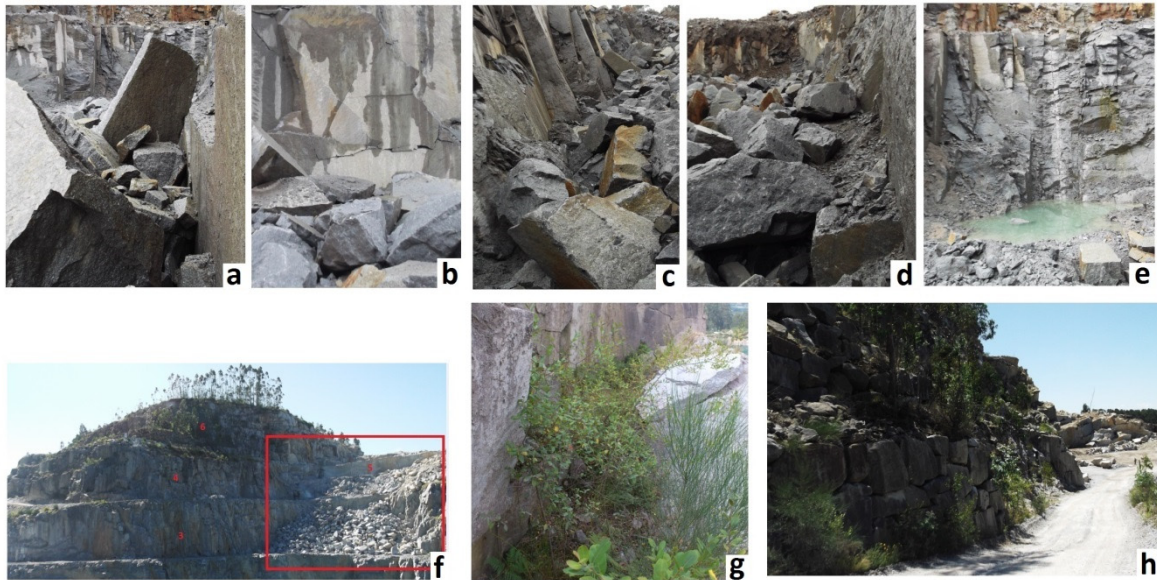


Figura 48 - Exemplos de circunstâncias que impossibilitam o acesso às frentes de escavação.

3.4.1. Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos – apresentação e discussão dos dados

Tendo em vista a melhor compreensão da rede de fracturação dominante na compartimentação do maciço rochoso da pedreira da Curviã, foram analisados com pormenor, para cada uma das seis bancadas, os parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos, com foco principal no grau de alteração (W), grau de fracturação (F) e resistência à compressão uniaxial (S) com a finalidade de delinear um modelo geológico-geotécnico e geomecânico no qual estão patentes as principais características do maciço rochoso da Curviã n.º 2.

Bancada 1

Possui 176,75 m de extensão, na qual foram cartografadas 105 descontinuidades e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade. A Figura 49 permite constatar que as descontinuidades se concentram em duas famílias principais, sendo: a mais importante (1) N40°-80°E, com inclinações que variam entre 70°-89° para SE e a segunda família (2) N120°-160°E, com pendores que oscilam entre 70°-89° para NE.

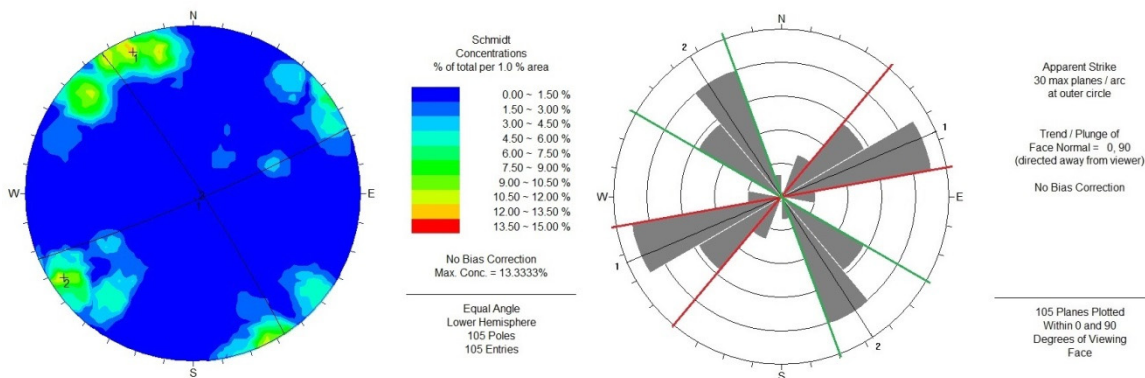


Figura 49 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=105) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 20° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 20° e 40° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 38).

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 85% do total das descontinuidades em duas famílias principais (Quadro 38) sendo: a mais importante (1) N55°E; 82°SE e a segunda família (2) N142°E; 72°NE.

Quadro 38 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 1.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude média	Representatividade	
1ª F	N[38°/77°]E; [70°/89°]SE		N55 ° E; 82°SE	45	43%
2ª F	N[125°/164°]E; [70°/89°]NE		N142 ° E; 72°NE	44	42%
FP	Famílias Principais		-	89	85%
A	Aleatórias		-	16	15%
G	Geral		-	105	100%

Amplitude das pétalas 20°

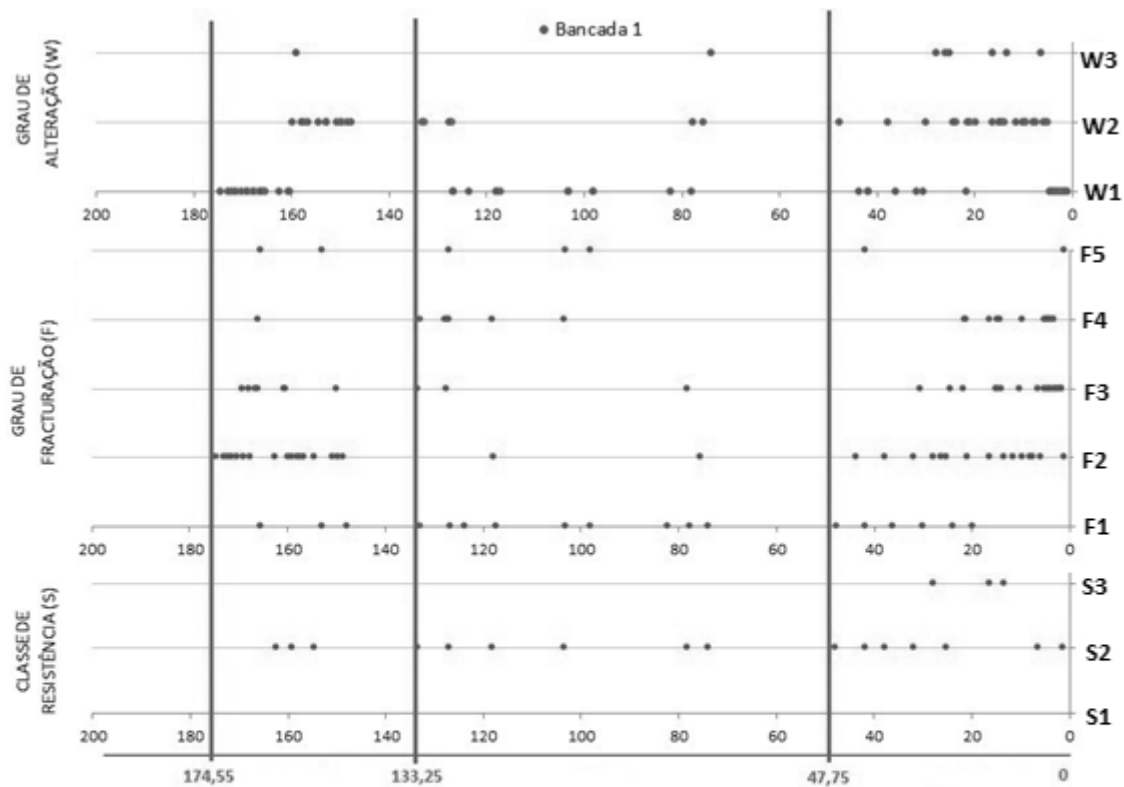
Amplitude das famílias 40°

O quadro 39 representa, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos da bancada 1.

Quadro 39 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das discontinuidades estudadas na bancada 1 (n=105) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos	Classe	Gráfico	Representatividade
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	50%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2	42%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	8%
Tipo de descont.	<i>Diaclase</i>	D	100%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1	17%
	<i>Afastadas</i>	F2	32%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3	25%
	<i>Próximas</i>	F4	19%
	<i>Muito próximas</i>	F5	7%
Abertura	<i>Fechada</i>	F	51%
	<i>Aberta</i>	A	49%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC	33%
	<i>Pouco contínua</i>	PC	25%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC	42%
Terminação	<i>Rocha</i>	R	25%
	<i>Descontinuidade</i>	D	74%
	<i>Obscura</i>	O	1%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2	79%
	<i>Curvas</i>	C3	21%
Rugosidade	<i>Denteada</i>	D	19%
	<i>Ondulada</i>	O	59%
	<i>Plana</i>	P	22%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Argila Mole</i>	AM	1%
	<i>Outro</i>	O	26%
	<i>Nenhum</i>	N	73%
Presença de água	<i>Seco</i>	S	96%
	<i>Húmido</i>	H	4%
Resistência à compressão uniaxial	<i>Elevada</i>	S2	84%
	<i>Média</i>	S3	16%

A Figura 50 representa o exemplo dos gráficos, segundo os quais possibilitam a elaboração do zonamento geotécnico, o qual é refinado mediante os resultados de todas as bancadas. Para as restantes bancadas, o procedimento de zonamento é o mesmo pelo que se optou por apresentar no final da análise das bancadas o mapa de cartografia com as zonas geotécnicas e geomecânicas com as principais características do maciço rochoso da Curviã n.º2 de forma a não tornar demasiado repetitiva a análise das bancadas.



Código da bancada	Distância			Zona Geotécnica	Classe de Resistência			Grau de Fracturação			Grau da Alteração		
	Início	Fim	Extensão		Nomenclatura	Mínimo	Máximo	Médio	Nomenclatura	Mínimo		Máximo	Médio
B	d			ZG	S			F			W		
-	m			-	-	MPa			-	cm			-
1	0,00	47,75	47,75	ZG 2 b	S 2	53,8	121,9	81,9	F 2 a F 3	0,0	430,0	85,0	W 1 a W 2
	47,76	133,25	85,49	ZG 2 a	S 2	61,2	133,9	99,3	F 1	0,0	1580,0	221,0	W 1 a W 2
	133,26	174,55	41,29	ZG 2 b	S 2	71,6	102,8	86,5	F 2	0,0	295,0	88,0	W 1 a W 2

Figura 50 - Gráficos que possibilitam a elaboração do zonamento geotécnico.

Bancada 2

Possui 170,5 m de extensão, na qual foram cartografadas 102 discontinuidades e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de discontinuidades e a sua representatividade. A Figura 51 permite constatar que as discontinuidades se concentram em duas famílias principais, sendo: a mais importante (1) N60°-80°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para SE e a segunda família (2) N145°-165°E, com pendores que oscilam entre 60°-85° para SW.

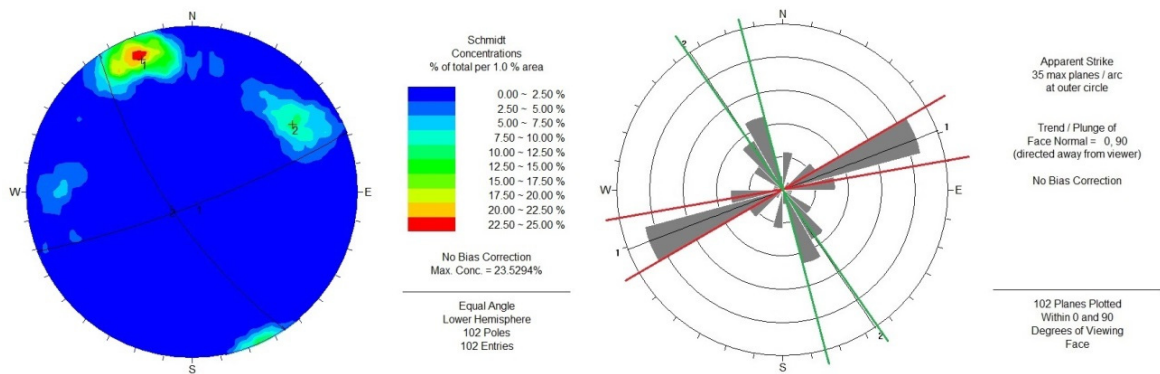


Figura 51 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=102) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 20° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 40).

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 55% do total das descontinuidades em duas famílias principais (Quadro 40) sendo: a mais importante (1) N69°E; 82°SE e a segunda família (2) N155°E; 76°SW.

Quadro 40 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 2.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude geológica média		Representatividade	
1ª F	N[60°/79°]E; [60°/85°]SE		N69 ° E;	38	37%	
2ª F	N[145°/164°]E; [60°/80°]SW		82°SE	18	18%	
FP	Famílias Principais		-	56	55%	
A	Aleatórias		-	46	45%	
G	Geral		-	102	100%	

Amplitude das pétalas 15°
 Amplitude das famílias 20°

O Quadro 41 representa, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos.

Quadro 41 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades estudadas na bancada 2 (n=102) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

<i>Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos</i>	<i>Classe</i>	<i>Gráfico</i>	<i>Representatividade</i>
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	86%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2	12%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	2%
Tipo de descont.	<i>Diaclase</i>	D	100%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1	28%
	<i>Afastadas</i>	F2	35%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3	24%
	<i>Próximas</i>	F4	7%
	<i>Muito próximas</i>	F5	6%
Abertura	<i>Fechada</i>	F	47%
	<i>Aberta</i>	A	53%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC	17%
	<i>Pouco contínua</i>	PC	26%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC	57%
Terminação	<i>Rocha</i>	R	14%
	<i>Descontinuidade</i>	D	86%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2	75%
	<i>Curvas</i>	C3	24%
	<i>Muito Curvas</i>	C4-5	1%
Rugosidade	<i>Denteada</i>	D	7%
	<i>Ondulada</i>	O	80%
	<i>Plana</i>	P	13%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Outro</i>	O	3%
	<i>Nenhum</i>	N	97%
Presença de água	<i>Seco</i>	S	62%
	<i>Húmido</i>	H	27%
	<i>Gotejante</i>	G	11%
Resistência à compressão uniaxial	<i>Muito elevada</i>	S1	10%
	<i>Elevada</i>	S2	85%
	<i>Média</i>	S3	5%

Bancada 3

Foram cartografadas 124 descontinuidades (numa extensão total de 110,40 m) e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade. A Figura 52 permite constatar que as descontinuidades se concentram em três famílias principais, sendo: a mais importante (1) N100°-130°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para NE, a segunda família (2) N40°-70°E, com pendores que oscilam entre 60°-85° para NW e a terceira família sub-horizontal (3) N130°-160°E, com pendores que oscilam entre 15°-35° para NE.

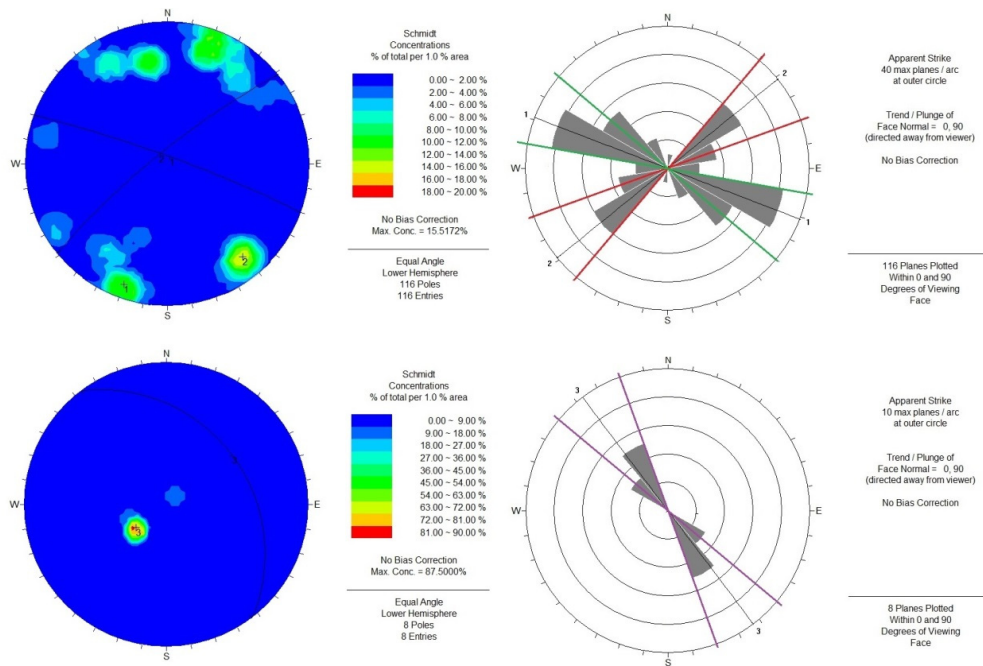


Figura 52 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=124) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 20° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°[.

Visto que as três famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 20° e 40° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 42).

Quadro 42 - Síntese dos dados geológico-estruturais da bancada 3.

<i>Família</i>	<i>Atitude geológica</i>	<i>Diagramas geológico-estruturais</i>	<i>Atitude geológica média</i>	<i>Representatividade</i>	
<i>1ª F</i>	<i>N[105°/134°]E; [60°/85°]NE</i>		<i>N116° E; 76°NE</i>	<i>54</i>	<i>44%</i>
<i>2ª F</i>	<i>N[40°/69°]E; [60°/85°]NW</i>		<i>N54° E; 80°NW</i>	<i>33</i>	<i>27%</i>
<i>3ª F</i>	<i>N[130°/159°]E; [15°/35°]NE</i>		<i>N143° E; 30°NE</i>	<i>6</i>	<i>5%</i>
<i>FP</i>	<i>Famílias Principais</i>		-	<i>93</i>	<i>76%</i>
<i>A</i>	<i>Aleatórias</i>		-	<i>31</i>	<i>24%</i>
<i>G</i>	<i>Geral</i>		-	<i>124</i>	<i>100%</i>

Amplitude das pétalas 20°
Amplitude das famílias 30°

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 76% do total das discontinuidades em três famílias principais (Quadro 42) sendo: a mais importante (1) N116°E; 76°NE, a segunda família (2) N54°E; 82°NW e a terceira família (3) N143°E; 30°NE.

O Quadro 43 apresenta, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos.

Quadro 43 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades caracterizadas na bancada 3 (n=124) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

<i>Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos</i>	<i>Classe</i>	<i>Gráfico</i>	<i>Representatividade</i>
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	77%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2	14%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	10%
Tipo de descontinuidade	<i>Falha</i>	F	8%
	<i>Diaclase</i>	D	92%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1	10%
	<i>Afastadas</i>	F2	35%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3	34%
	<i>Próximas</i>	F4	19%
	<i>Muito próximas</i>	F5	2%
Abertura	<i>Fechada</i>	F	67%
	<i>Aberta</i>	A	33%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC	28%
	<i>Pouco contínua</i>	PC	18%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC	44%
	<i>Contínua</i>	C	10%
Terminação	<i>Rocha</i>	R	18%
	<i>Descontinuidade</i>	D	77%
	<i>Obscura</i>	O	6%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2	77%
	<i>Curvas</i>	C3	19%
	<i>Muito Curvas</i>	C4-5	5%
Rugosidade	<i>Denteada</i>	D	10%
	<i>Ondulada</i>	O	77%
	<i>Plana</i>	P	12%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Cataclasito/milonito</i>	CM	10%
	<i>Outro</i>	O	4%
	<i>Nenhum</i>	N	86%
Presença de água	<i>Seco</i>	S	86%
	<i>Húmido</i>	H	13%
	<i>Gotejante</i>	G	1%
Resistência à compressão uniaxial	<i>Muito elevada</i>	S1	6%
	<i>Elevada</i>	S2	83%
	<i>Média</i>	S3	11%

Bancada 4

Foram cartografadas 106 descontinuidades (numa extensão total de 200,55 m) e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade. A Figura 53 permite constatar que as descontinuidades se concentram em três famílias principais, sendo: a mais importante (1) N120°-150°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para NE, a segunda família (2) N60°-90°E, com pendores que oscilam entre 60°-85° para SE e a terceira família (3) N5°-35°E, com pendores que oscilam entre 60°-85° para SE.

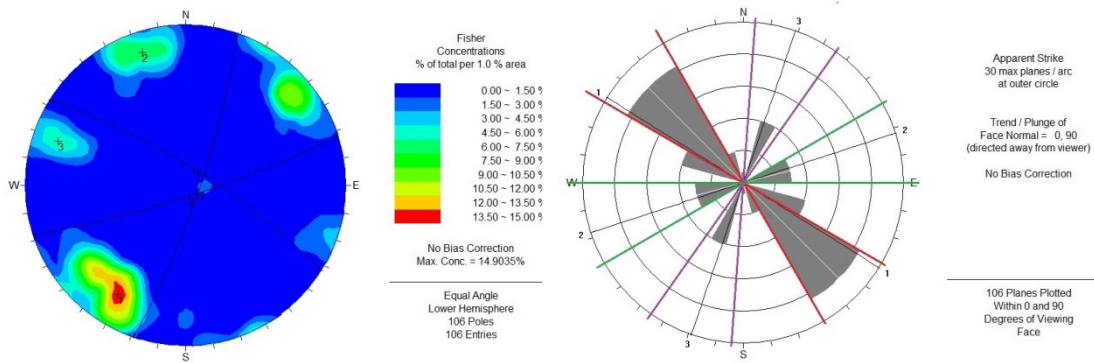


Figura 53 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=106) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].

Visto que as três famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 20° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 44).

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 85% do total das descontinuidades em três famílias principais (Quadro 44) sendo: a mais importante (1) N130°E; 78°NE, a segunda família (2) N72°E; 82°SE e a terceira família (3) N20°E; 75°SE.

Quadro 44 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 4.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude geológica média	Representatividade	
1ª F	N[115°/144°]E; [60°/85°]NE		N130° E; 78°NE	56	53%
2ª F	N[60°/89°]E; [60°/85°]SE		N72° E; 82°SE	18	17%
3ª F	N[5°/34°]E; [60°/85°]SE		N20° E; 75°SE	16	15%
FP	Famílias Principais		-	90	85%
A	Aleatórias		-	16	15%
G	Geral		-	106	100%

Amplitude das pétalas 15°

Amplitude das famílias 30°

O Quadro 45 apresenta, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos.

Quadro 45 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas na bancada 4 (n=106) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos	Classe	Gráfico	Representatividade
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1	56%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2	31%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3	13%
Tipo de descontinuidade	<i>Falha</i>	F	11%
	<i>Diaclase</i>	D	89%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1	23%
	<i>Afastadas</i>	F2	33%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3	29%
	<i>Próximas</i>	F4	9%
	<i>Muito próximas</i>	F5	6%
Abertura	<i>Fechada</i>	F	52%
	<i>Aberta</i>	A	46%
	<i>Muito Aberta</i>	MA	2%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC	30%
	<i>Pouco contínua</i>	PC	41%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC	29%
Terminação	<i>Rocha</i>	R	16%
	<i>Descontinuidade</i>	D	83%
	<i>Obscura</i>	O	1%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2	67%
	<i>Curvas</i>	C3	33%
Rugosidade	<i>Denteada</i>	D	6%
	<i>Ondulada</i>	O	84%
	<i>Plana</i>	P	10%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Cataclasito/milonito</i>	CM	11%
	<i>Nenhum</i>	N	89%
Presença de água	<i>Seco</i>	S	100%
Resist. à compressão uniaxial	<i>Elevada</i>	S2	95%
	<i>Média</i>	S3	5%

Bancada 5

Foram cartografadas 9 descontinuidades (numa extensão total de 43,70 m) e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade. A Figura 54, permite constatar que as descontinuidades se concentram em duas famílias principais, sendo: a mais importante (1) N55°-75°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para SE, a segunda família sub-horizontal (2) N145°-165°E, com pendores que oscilam entre 20°-35° para NE.

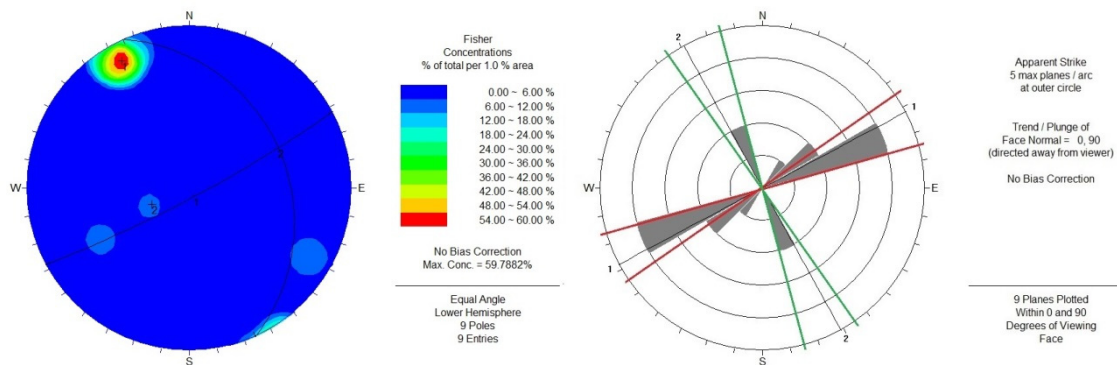


Figura 54 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=9) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°].

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 20° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (Quadro 46).

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 89% do total das descontinuidades em duas famílias principais (Quadro 46) sendo: a mais importante (1) N61°E; 83°SE e a segunda família (2) N156°E; 30°NE.

Quadro 46 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 5.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude geológica média		Representatividade	
1ª F	N[55°/74°]E;; [60°/85°]SE		N61 °E;	83°SE	6	67%
2ª F	N[145°/164°]E;; [20°/35°]NE		N156 °E;	30°NE	1	22%
FP	Famílias Principais		-	-	7	89%
A	Aleatórias		-	-	2	11%
G	Geral		-	-	9	100%

Amplitude das pétalas 15 °

Amplitude das famílias 20°

O Quadro 47 apresenta, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos.

Quadro 47 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades estudadas da bancada 5 (n=9) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos	Classe	Gráfico	Descontinuidades
Grau de alteração	Sã ou não alterada	W1	78%
	Ligeiramente alterada	W2	22%
Tipo de descont.	Diaclase	D	100%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	Muito afastadas	F1	56%
	Afastadas	F2	22%
	Muito próximas	F5	22%
Abertura	Fechada	F	67%
	Aberta	A	33%
Continuidade	Muito pouco contínua	MPC	67%
	Pouco contínua	PC	33%
Terminação	Rocha	R	67%
	Descontinuidade	D	33%
Curvatura	Planas a ligeiramente curvas	C1-2	78%
	Curvas	C3	22%
Rugosidade	Ondulada	O	56%
	Plana	P	44%
Enchimento	Nenhum	N	100%
Presença de água	Seco	S	100%
Resist. à compressão uniaxial	Elevada	S2	100%

Bancada 6

Foram cartografadas 136 descontinuidades (numa extensão total de 331,20 m) e analisadas estatisticamente em diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural, os estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade. A Figura 55 permite constatar que as descontinuidades se concentram em três famílias principais, sendo: a mais importante (1) N25°-55°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para SE, a segunda família (2) N55°-85°E, com pendores que oscilam entre 50°-75° para SE e a terceira família (3) N145°-175°E, com pendores que oscilam entre 70°-89° para SW.

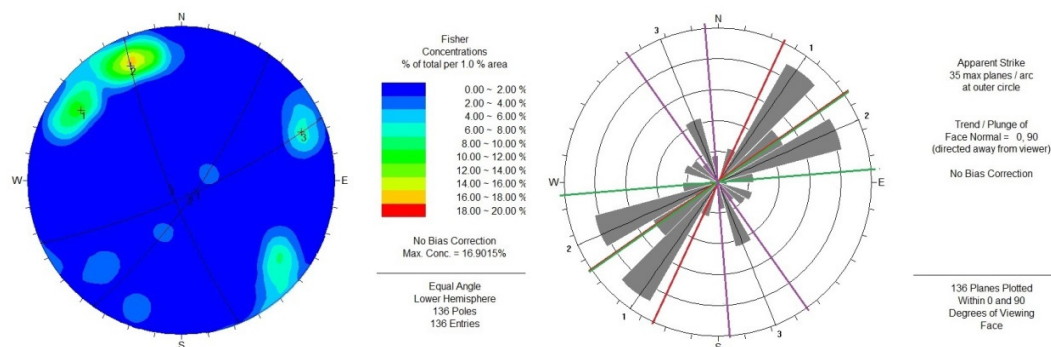
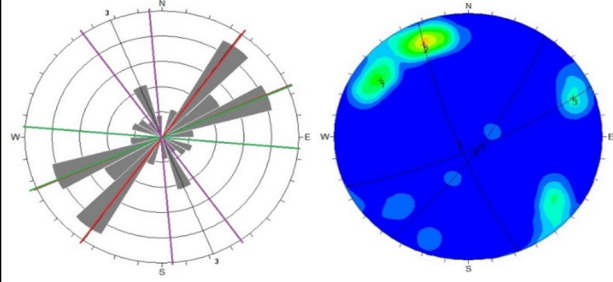


Figura 55 - Diagramas geológico-estruturais - diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=136) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10°[.

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 30° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de discontinuidades (Quadro 48).

A realização dos diagramas geológico-estruturais evidencia uma concentração de 72% do total das discontinuidades em três famílias principais (Quadro 48) sendo: a mais importante (1) N50°E; 78°SE, a segunda família (2) N74°E; 75°SE e a terceira família (3) N159°E; 65°SW.

Quadro 48 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação da bancada 6.

Família	Atitude geológica	Diagramas geológico-estruturais	Atitude geológica média		Representatividade	
1ª F	N[35°/64°]E; [60°/85°]SE		N50°E; 78°SE	49	36%	
2ª F	N[65°/94°]E; [50°/75°]SE		N74°E; 75°SE	25	18%	
3ª F	N[145°/174°]E; [70°/89°]SW		N159°E; 65°SW	25	18%	
FP	Famílias Principais		-	99	72%	
A	Aleatórias		-	37	28%	
G	Geral		-	136	100%	

Amplitude das pétalas 15°

Amplitude das famílias 30°

O Quadro 49 apresenta, de forma sintetizada a caracterização dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos.

Quadro 49 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades cartografadas na bancada 6 (n=136) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos		Classe	Gráfico	Representatividade
Grau de alteração	<i>Sã ou não alterada</i>	W1		63%
	<i>Ligeiramente alterada</i>	W2		17%
	<i>Moderadamente alterada</i>	W3		20%
Tipo de descontinuidade	<i>Falha</i>	F		18%
	<i>Diaclase</i>	D		82%
Grau de Fracturação "fracture intercept"	<i>Muito afastadas</i>	F1		32%
	<i>Afastadas</i>	F2		29%
	<i>Medianamente afastadas</i>	F3		22%
	<i>Próximas</i>	F4		12%
	<i>Muito próximas</i>	F5		5%
Abertura	<i>Fechada</i>	F		71%
	<i>Aberta</i>	A		29%
Continuidade	<i>Muito pouco contínua</i>	MPC		40%
	<i>Pouco contínua</i>	PC		35%
	<i>Medianamente contínua</i>	MC		25%
Terminação	<i>Rocha</i>	R		29%
	<i>Descontinuidade</i>	D		71%
Curvatura	<i>Planas a ligeiramente curvas</i>	C1-2		68%
	<i>Curvas</i>	C3		32%
	<i>Dentada</i>	D		13%
Rugosidade	<i>Ondulada</i>	O		73%
	<i>Plana</i>	P		14%
	<i>Cataclasito/milonito</i>	CM		18%
Enchimento ou Preenchimento	<i>Outro</i>	O		8%
	<i>Nenhum</i>	N		74%
	<i>Seco</i>	S		98%
Presença de água	<i>Húmido</i>	H		2%
	Resist. à compressão uniaxial Elevada	S2		100%

3.4.2. Cartografia de zonamento geotécnico aplicada aos georrecurso: uma proposta

Em complemento à análise estatística das bancadas cartografadas, desenvolveu-se um estudo de análise interpretativa da informação geológico-geotécnica e geomecânica do maciço rochoso da Curviã. Assim, como referido anteriormente, a partir dos parâmetros geotécnicos grau de alteração (W), grau de fracturação (F) e de grau resistência (S) – confrontar com os gráficos do exemplo da Figura 50 em cada uma das seis bancadas estudadas – resultaram em indicações das características geotécnicas locais expectáveis.

O cruzamento e a análise de toda esta informação culminou na proposta preliminar (versão de Outubro de 2014) do esboço de cartografia de zonamento geotécnico do maciço rochoso da Curviã n.º 2 (Figura 56). Toda a informação foi sistematizada conforme a finalidade expectável que as superfícies expostas do maciço exibiam, ou seja, uma zona geotécnica com aptidão para produção de rocha ornamental (ZG3) e as restantes três zonas geotécnicas com características para produção de rocha industrial para agregados (ZG1, ZG2a, ZG2b).



Zonas Geotécnicas: versão preliminar (Outubro de 2014)

- ZG1 - Granito de grão médio, com tendência porfíróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1); resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (130 - 165 MPa); espaçamento afastado a médio F_2 a F_3 (120 a 160 cm / 45-60 cm).
 - ZG2a - Granito de grão médio, com tendência porfíróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1); resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (89 - 110 MPa); espaçamento médio a muito afastado F_3 a F_1 (90 a 115 cm / 200 a 235 cm).
 - ZG2b - Granito de grão médio, com tendência porfíróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são a pouco alterado (W_1 a W_2); resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (70 - 85 MPa); espaçamento afastado F_2 (80 - 90 cm).
 - ZG3 - Granito de grão médio, com tendência porfíróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1); resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (105 - 125 MPa); espaçamento muito afastado F_1 (460 - 475 cm).
-
- Ponto de controlo (GPS)
 - Linha de amostragem (Scanline)
 - Lineamentos tectónicos foto-interpretados
 - Pontos cotados
 - Lago artificial da exploração
-
- ZG1 a ZG2b:
 Rocha Industrial (Agregados)
 - ZG3: Rocha Ornamental

Figura 56 - Esboço cartográfico de zonamento geotécnico preliminar (Outubro de 2014): uma proposta.

3.5. Caracterização do grau de compartimentação do maciço rochoso

Das 582 descontinuidades cartografadas em todo o maciço, 453 (78%) integram as principais famílias de descontinuidades. Tal facto releva a importância do conhecimento profundo de todas as descontinuidades no maciço (diaclases, falhas ...), tal como é preconizado pela ISRM (1981) ao introduzir o conceito de grau de fracturação (“fracture intercept”) ao longo de uma dada linha de amostragem linear e assim reduzir a incerteza dada a variabilidade natural dos sistemas geológico-estruturais naturais (Chaminé et al., 2014). Apesar das principais famílias de descontinuidades terem um papel importante na definição dos sistemas de fracturação regional do maciço (em termos do padrão tectónico), as restantes famílias ou sistemas de diaclasamento de menor representatividade não deverão ser, no domínio da geotecnia mineira desprezadas (Chaminé et al., 2013). Assim, algumas descontinuidades poderão individualmente assumir uma função específica ainda mais importante que as famílias mais representativas. Daqui se infere a importância do conhecimento de um parâmetro que caracterize o número de descontinuidades por metro cúbico de rocha, o índice volumétrico, J_v (“volumetric joint count”; ISRM, 1978) que nos indica, de forma geral, o tamanho de blocos expectável formado pelas descontinuidades bem como a qualidade geotécnica do maciço.

Com o conhecimento da atitude geológica das descontinuidades aleatórias, foram englobadas na amplitude de definição das principais famílias, com 40° de amplitude de família de descontinuidades (já na análise geral do maciço rochoso e por bancada, foram utilizados intervalos de amplitude de família entre 20° e 40°, porque são intervalos que dada a quantidade de descontinuidades cartografadas, englobam no mesmo intervalo o maior número de descontinuidades por forma a diminuir o valor do espaçamento (F) médio das principais famílias de descontinuidades no patamar, delimitado pela zona geotécnica em análise); os espaçamentos (F) médios entre famílias de descontinuidades remetem-nos para uma outra propriedade de classificação do maciço rochoso, o bloco unitário tipo, formado através da intersecção das diferentes famílias de descontinuidades presentes no maciço rochoso, expresso, em volume, mediante as dimensões do bloco unitário tipo, ou em peso, obtido através da relação com a densidade da rocha. E, traduz o tamanho máximo de bloco que é expectável obter naquela delimitação de zona geotécnica em estudo. Toda a informação referida está sintetizada no Quadro 50.

Quadro 50 – Síntese dos valores de compartimentação do maciço rochoso com indicação da dimensão expectável do bloco unitário tipo para cada delimitação de zona geotécnica.

Zona Geotécnica	Código da bancada	Extensão de bancada			Famílias de descontinuidades			Índice dimensional ("block size index"; ISRM, 1978)	Índice volumétrico ("volumetric joint count"; ISRM, 1978)	Índice de qualidade da rocha - RQD ("rock quality designation"; Deere, 1964).			Bloco unitário		Aproveitamento expectável para blocos de				
		Início	Fim	d	Atitude geológica média	N.º de desc.	N.º de desc.			Espaçamento (F) média	lb	Classificação	Tamanho dos blocos	115 - 3,3 Jv para Jv > 4,5	100 para Jv ≤ 4,5	Qualidade do maciço rochoso	Volume	Peso específico do Granito	Peso
	B	m					e	m				%		m³	ton/m³	ton			ton
ZG 1	2	0,00	170,50	170,50	1.ª F.	N68°E; 81°SE	48	2,12	2,64	2,89	22	Pequenos	-	Fraco	7,29	19	X	X	
					2.ª F.	N147°E; 75°SW	31	5,52											
					3.ª F.	N10°E; 38°NW	15	0,50											
ZG 2 a	3	0,00	88,15	88,15	1.ª F.	N117°E; 78°SW	53	0,87	1,59	1,02	29	Pequenos a muito pequenos	-	Muito fraco	0,76	2	-	-	
					2.ª F.	N62°E; 77°SE	44	0,96											
					3.ª F.	N130°E; 10°SW	25	0,50											
ZG 2 a	4	0,00	174,55	174,55	1.ª F.	N55°E; 82°SE	43	2,05	4,07	2,74	23	Pequenos	-	Fraco	7,41	20	X	X	
					2.ª F.	N141°E; 75°NE	40	3,64											
					3.ª F.	N137°E; 31°SW	15	0,50											
ZG 2 a	6	79,15	331,20	252,05	1.ª F.	N142°E; 78°NE	38	2,84	5,07	3,58	19	Pequenos	-	Razoável	13,08	35	X	X	
					2.ª F.	N119°E; 78°NE	19	5,16											
					3.ª F.	N111°E; 18°SW	25	0,50											
ZG 2 b	3	88,16	110,40	22,24	1.ª F.	N65°E; 80°SE	49	4,62	4,62	2,74	23	Pequenos	-	Fraco	7,18	19	X	X	
					2.ª F.	N34°E; 79°NW	30	3,11											
					3.ª F.	N133°E; 21°SW	20	0,50											
ZG 3	5	0,00	43,70	43,70	1.ª F.	N142°E; 31°NE	40	-	0,15	1,68	19	Pequenos	-	Razoável	0,41	1	-	-	
					2.ª F.	N150°E; 84°NE	5	0,64											
					3.ª F.	N17°E; 77°SE	4	4,25											
ZG 3	6	0,00	79,15	79,15	1.ª F.	N61°E; 83°SE	6	5,41	2,70	3,97	3	Dimensão média a grande	-	Excelente	50,22	133	X	X	
					2.ª F.	N88°E; 72°NW	2	6,20											
					3.ª F.	N156°E; 30°NE	2	3,00											
ZG 3	6	0,00	79,15	79,15	1.ª F.	N159°E; 80°SW	12	4,93	4,93	3,70	6	Dimensão média	-	Excelente	47,03	125	X	X	
					2.ª F.	N36°E; 78°SE	8	3,18											
					3.ª F.	N158°E; 20°SW	4	3,00											

Os espaçamentos médios das famílias de descontinuidades sub-horizontais variam entre 0,10 e 0,60 m. Os valores foram aferidos por inspecção visual das faces expostas dos taludes cartografados e pela Figura 57 que representa a marcação das descontinuidades nos taludes de algumas bancadas (a vermelho são descontinuidades sub-verticais e a verde as descontinuidades sub-horizontais).

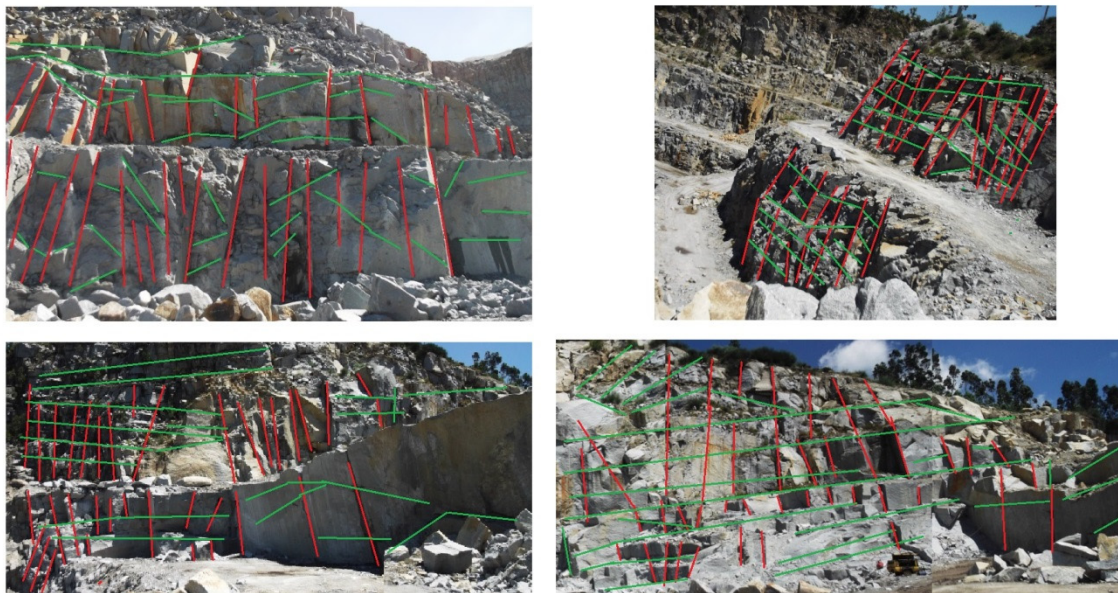


Figura 57 – Identificação esquemática das descontinuidades sub-verticais (a vermelho) e sub-horizontais (a verde).

No final do Quadro 50 estão representados o peso com aproveitamento comercial expectável para a empresa (4 a 8 ton e 9 a 12 ton), e o volume e peso expectável para a sua obtenção por zona geotécnica. Os valores obtidos, dificilmente se enquadram nos valores pretendidos para a empresa, com a diferença de que os valores apresentados pela organização, são os valores de peso de produto final à saída, na plataforma de expedição, e os valores de volume e peso apresentados, são os valores máximos expectáveis mediante o estudo geotécnico de terreno que a organização conseguirá obter em cada delimitação de zona geotécnica. Para que seja possível a obtenção do valor aproximado de peso do bloco unitário tipo, mediante a utilização para fins comerciais estipulada é necessária a monitorização de várias pegadas de desmonte de maciço rochoso, com o intuito de verificar, com algum pormenor o mecanismo de rotura, nomeadamente, a zona esmagada e a zona fracturada (Figura 58), possibilitando a obtenção da percentagem granulométrica expectável com determinado volume e peso face aos resultados do desmonte, que não é o objectivo deste estudo, sendo apenas a caracterização do maciço rochoso para a valorização e optimização da exploração do georrecurso existente.

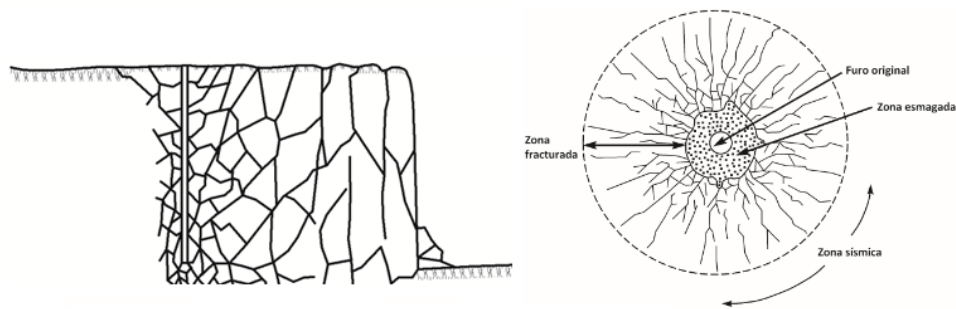


Figura 58 - Zona esmagada vs zona fracturada – características fundamentais à obtenção da dimensão dos blocos (Bhandari, 1997).

Verificou-se também, que na delimitação das zonas geotécnicas, predominam os aqui designados “corredores de fracturação” (em termos de densidade do grau de fracturação derivada da história geotectónica do maciço) em diversas zonas das bancadas. Duas das bancadas estão representadas na Figura 59.

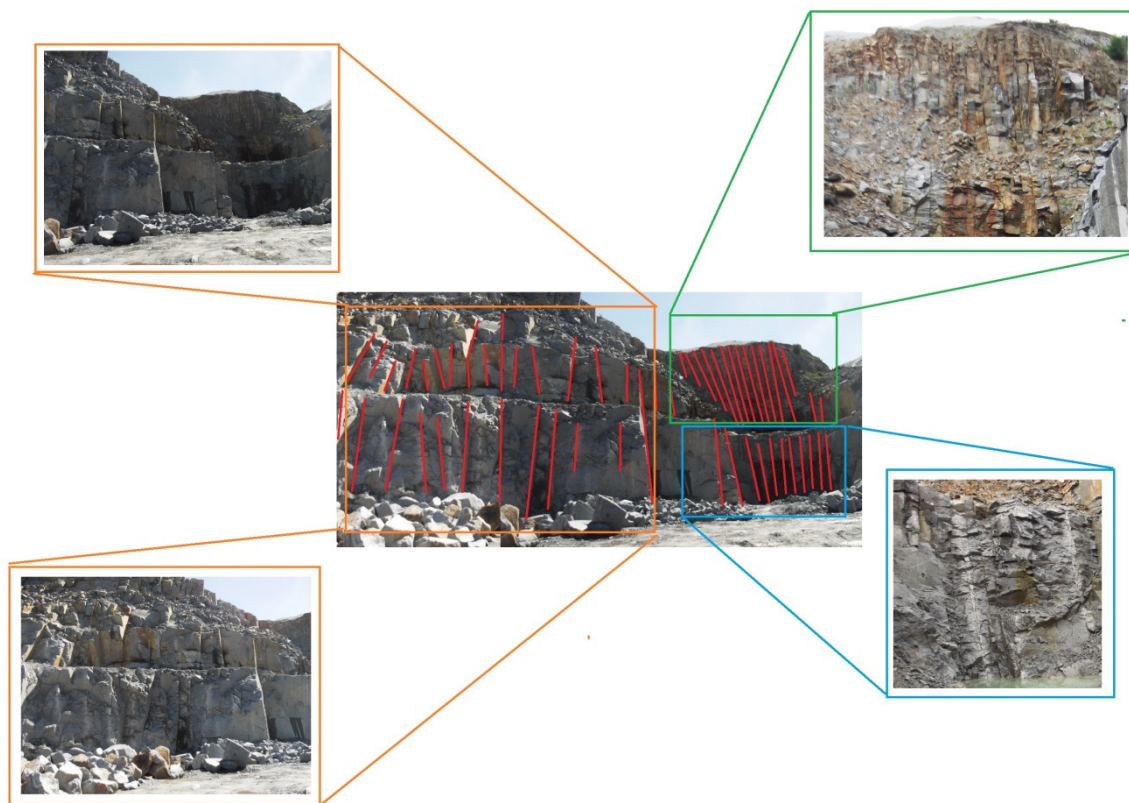
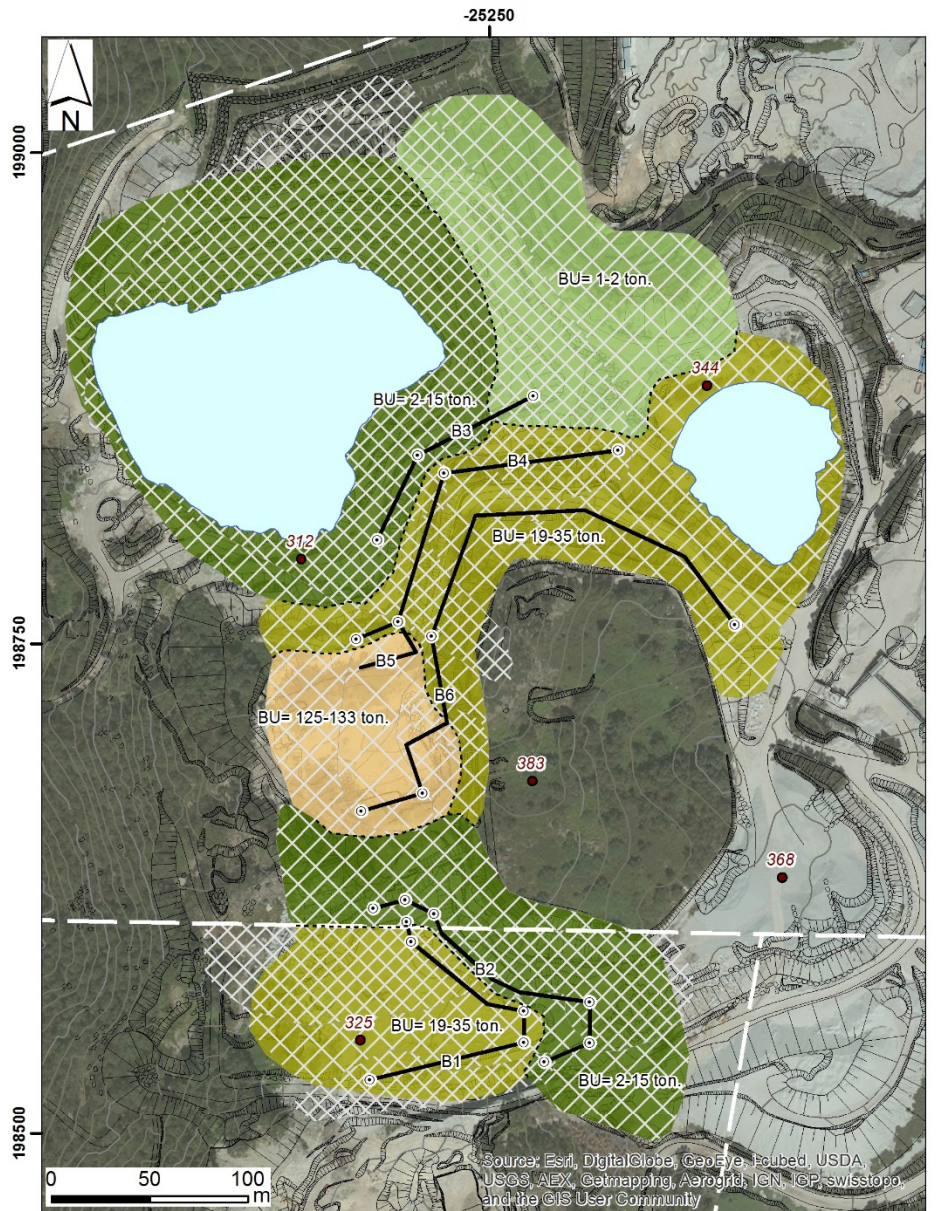


Figura 59 - Corredores de fracturação presentes nas bancadas 1 e 2.

Assim, foi elaborada a proposta de uma cartografia (Figura 60) onde é expectável a ocorrência de “corredores de fracturação”, com a aptidão da obtenção dos espaçamentos médios característicos, em cada delimitação de zona geotécnica do maciço rochoso da Curviã n.º 2 (Joane) e o peso dos blocos de obtenção expectável.



Zonas Geotécnicas: versão preliminar (Outubro de 2014)

- ZG1 - Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W1); resistência à compressão uniaxial elevada S₂ (130 - 165 MPa); espaçamento afastado a médio F₂ a F₃ (120 a 160 cm / 45-60 cm).
- ZG2a - Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W1); resistência à compressão uniaxial elevada S₂ (89 - 110 MPa); espaçamento médio a muito afastado F₃ a F₁ (90 a 115 cm / 200 a 235 cm).
- ZG2b - Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são a pouco alterado (W1 a W2); resistência à compressão uniaxial elevada S₂ (70 - 85 MPa); espaçamento afastado F₂ (80 - 90 cm).
- ZG3 - Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W1); resistência à compressão uniaxial elevada S₂ (105 - 125 MPa); espaçamento muito afastado F₁ (460 - 475 cm).

ZG1 a ZG2b: Rocha Industrial (Agregados)
 ZG3: Rocha Ornamental
 B.U.: Bloco unitário

Corredor de fracturação: espaçamento médio (F)

- F < 2,5 m
- F 2-5 m
- F > 5 m
- Ponto de controlo (GPS)
- Linha de amostragem (Scanline)
- Lineamentos tectónicos foto-interpretados
- Pontos cotados
- Lago artificial da exploração

Figura 60 – Esboço cartográfico preliminar de aptidão do maciço rochoso em função da ocorrência de “corredores de fracturação” com indicação na delimitação das zonas geotécnicas do peso do bloco unitário expectável.

4- Conclusões

4. Conclusões

O trabalho centrou-se no estudo do aproveitamento expectável, do maciço rochoso da pedreira da Curviã n.º 2 (Joane, V.N. de Famalicão), através da elaboração de uma proposta de cartografia geotécnica (versão preliminar) para o apoio à gestão da exploração racional do recurso geológico para fins industriais e/ou ornamentais. Além disso, tentou-se, na medida do possível, a avaliação de uma dada zona geotécnica do maciço rochoso ser propícia à obtenção de blocos com dimensão racional, após processo de transformação, por exemplo, para enrocamento em obras marítimas ou balastro em obras ferroviárias.

Envolveu, a compilação dos levantamentos geológico-geotécnicos e geomecânicos sistemáticos de descontinuidades em faces expostas do maciço rochoso para o estudo da compartimentação, utilizando aplicativos geo-informáticos desenvolvidos por Fonseca et al. (2010).

Do estudo geológico-geotécnico e geomecânico efectuado resultam os seguintes aspectos conclusivos:

- O material rochoso em estudo corresponde a um monzogranito de grão médio, de tendência porfiróide, de duas micas, com predomínio de biotite. Possui cor geralmente cinzenta e textura bastante uniforme. A análise dos dados do grau de alteração do material-rocha permitiu classificar como maioritariamente, são a pouco alterado, W_1 , ocorrendo em percentagens, algo expressivas descontinuidades ligeiramente alteradas, W_2 , e pouco expressivas descontinuidades medianamente alteradas, W_3 .
- A fácies granítica, em termos de qualidade geotécnica apresenta com maior expressão, as descontinuidades afastadas (F_2). A estas seguem-se, as descontinuidades medianamente afastadas (F_3), as descontinuidades muito afastadas (F_1), as descontinuidades próximas (F_4) e ainda com alguma expressão, descontinuidades muito próximas (F_5).
- O maciço em termos de resistência à compressão uniaxial classifica-se, na sua maioria, como sendo do tipo S_2 , resistência elevada, sendo o valor médio da resistência, nesta classe de 108 MPa, seguindo-se, com menor expressão, descontinuidades com grau de resistência média, S_3 e resistência muito elevada, S_1 , com valores médios de 55 e 219 MPa, respectivamente. Globalmente, o valor médio da resistência à compressão avaliado situa-se no intervalo 100-110 MPa (S_2).

Esta abordagem permitiu a execução de uma proposta de cartografia de zonamento geotécnico do recurso geológico na perspectiva da identificação das zonas de melhor ou pior apetência para

auxiliar o planejamento da gestão racional do maciço rochoso da Curviã n.º 2 bem como auxiliar na definição da compartimentação expectável em cada delimitação da zona geotécnica. O zonamento foi sistematizado conforme, a finalidade expectável que as faces expostas do maciço indicavam, ou seja, produção de rocha ornamental (ZG3) e/ou rocha industrial para agregados (ZG1 a ZG2b) e reunidos os seguintes atributos das zonas geotécnicas:

- ZG1: Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1) de resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (130 – 165 MPa) e espaçamento afastado a médio F_2 a F_3 (120 a 160 cm / 45 a 60 cm);
- ZG2a: Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1) de resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (89 – 110 MPa) e espaçamento médio a muito afastado F_3 a F_1 (90 a 115 cm / 200 a 235 cm);
- ZG2b: Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são a pouco alterado (W_1 a W_2) e resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (70 a 85 MPa) com espaçamento afastado F_2 (80 – 90 cm);
- ZG3: Granito de grão médio, com tendência porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico, são (W_1) de resistência à compressão uniaxial elevada S_2 (105 – 125 MPa) e espaçamento muito afastado F_1 (460 – 475 cm).

O zonamento geotécnico definiu o maciço rochoso com idênticas respostas geotécnicas a curto e a longo prazo. Esta forma de cartografar o maciço rochoso fracturado em zonas que exibem comportamentos geotécnicos e geomecânicos semelhantes, é um valioso auxiliar na gestão sustentável dos recursos geológicos, na medida em que permitirá a aplicação de várias técnicas de desmonte para os diferentes fins que o maciço vai proporcionar, fornecendo facilidades no dimensionamento, por exemplo, dos diagramas de fogo e otimizando a sua execução. Trata-se assim, de um zonamento do maciço rochoso dentro de limites bem definidos e aceitáveis em termos de homogeneidade litológica, grau de alteração (W), grau de fracturação (F) e grau de resistência (S). Além de contemplar outros parâmetros geotécnicos. É uma eficiente metodologia de trabalho, se forem atendidos os constrangimentos próprios dos centros de exploração de rocha, ou seja, dada a necessidade de extracção e tratamento de rocha, para aplicação industrial em que no caderno de encargos da obra a fornecer, restringe a resistência da rocha a determinado intervalo de valores, a cartografia de zonamento geotécnica remete-nos para a delimitação da zona geotécnica a explorar, que apresente essas características geomecânicas. Por si só, esta metodologia não é suficiente no ordenamento total do processo construtivo do aproveitamento do georrecurso, apesar de definir valores geomecânicos característicos de cada

zona geotécnica, pois, por exemplo, no caso de excesso de carga específica, na extração dos blocos poderá ocorrer o desenvolvimento de microfissuras, invisíveis a olho nu (na rocha desmontada), que façam com que a resistência da rocha para o fim da sua aplicação, diminua gradualmente com o passar do tempo e da utilização, enfraquecendo o próprio material, podendo-o levar à rotura e contribuir para a ocorrência de acidentes indesejáveis.

O âmbito do zonamento geotécnico não pode, muitas vezes, abranger simultaneamente os métodos de escavação para a obtenção das diferentes aplicações expectáveis do maciço rochoso sendo para rocha ornamental ou industrial. A título de exemplo, duas zonas com aproximadas características geotécnicas, poderão ter de sofrer distintos métodos de escavação, mediante, por exemplo a aplicação da força explosiva conforme o fracturação (diaclasamento) e a alteração do material rocha.

A definição do parâmetro espaçamento (ou também sob a designação de “fracture intercept), F, recomendada pela ISRM (1981) é de extrema importância para os estudos da compartimentação do maciço rochoso devido à anisotropia apresentada é de referir que os dados que daí advêm apresentam um elevado coeficiente de variação. Posto isto, é imprescindível fazer uma correcção do espaçamento médio das descontinuidades tal como proposto pela ISRM (1981) ou por exemplo Priest (1993). A amplitude da correcção é tanto maior quanto maior for a inclinação da descontinuidade. Os valores do espaçamento médio corrigido indicam a ordem de grandeza em que o maciço rochoso estará compartimentado. O sistema de famílias de descontinuidades, que é característico de uma dada zona do maciço rochoso, é designado por sistema de compartimentação e pode representar-se tridimensionalmente num bloco diagrama (ISRM, 1981) definido pela intersecção entre as famílias de descontinuidades presentes num maciço rochoso.

Logo, a partir do mapa de cartografia com a delimitação das zonas geotécnicas, foi possível o estudo do grau de fracturação para verificação do tamanho dos blocos que são expectáveis obter de acordo com a investigação da compartimentação do maciço rochoso. Assim, para cada uma das quatro zonas geotécnicas, ZG1, ZG2a, ZG2b e ZG3, é propícia a obtenção de blocos com, respectivamente, 2 a 15 ton, 19 a 35 ton, 1 a 2 ton e 125 a 133 ton, havendo a necessidade de consulta ao esboço de cartografia preliminar de aptidão do maciço rochoso em função da ocorrência de “corredores de fracturação”, por esta caracterização do maciço ser relevante para a gestão do georrecurso, na medida em que na área de delimitação com determinada dimensão expectável de bloco unitário é possível a obtenção de blocos de dimensão expectável menor do que a intenção da exploração, dada a existência dos referidos “corredores de fracturação”.

Desta forma, o esboço cartográfico preliminar de cartografia de zonamento geotécnico e de aptidão do maciço rochoso em função da ocorrência de “corredores de fracturação” com indicação na delimitação das zonas geotécnicas do peso do bloco unitário expectável não devem ser entendidos como um “manual de instruções”, pré-determinado, que dispense estudos específicos localizados, mas antes uma abordagem de cenários característicos para zonas relativamente homogéneas, onde a sua aplicação não induza custos acrescidos da extracção dos blocos para a empresa ou a redução das condições de segurança, mas que contribuem para a gestão e valorização do maciço rochoso da Curviã n.º 2.

Face ao exposto e tendo em consideração os objectivos deste trabalho, recomenda-se que os estudos futuros incidam sobre:

- A prospecção geológica de superfície, aplicando a técnica de amostragem linear, aos troços das bancadas onde não foi possível a cartografia das superfícies expostas do maciço rochoso devido aos défices no acesso (explicados no corpo deste relatório) com vista ao refinamento da cartografia geotécnica e estudo da compartimentação do georrecurso.
- A realização do ensaio de carga pontual (“Point Load Test”) aos novos provetes, referentes à nova campanha de colheita de amostras, para o ensaio de despiste aos resultados obtidos neste estudo e como complemento à caracterização mecânica do maciço rochoso em corroboração directa com os valores de resistência à compressão uniaxial obtidos através do ensaio esclerométrico (“Martelo de Schmidt”, Proceq, tipo L).
- A aplicação, do índice geológico-geomecânica GSI (“Geological Strength Index”) de Hoek (2007), com o objectivo de avaliar a qualidade geomecânica do maciço rochoso da Curviã, n.º 2, como refinamento à análise complementar do estudo de fracturação efectuado nas delimitações das zonas geotécnicas.
- A modelação geomecânica dos taludes finais da zona geotécnica (ZG2b), com o intuito de verificar a estabilidade estrutural e a segurança, assim como para proceder ao dimensionamento estrutural de elementos de reforço, recorrendo às classificações geomecânicas e/ou a programas de cálculo automático específicos com definição de cenários de susceptibilidade e de vulnerabilidade aos riscos geotécnicos materializados por mapas temáticos de avaliação de perigosidade.
- A elaboração de um diagrama de fogo tipo, em cada delimitação geotécnica, para a extracção dos blocos de rocha, de forma a ajustar as necessidades de produção (ornamental e/ou industrial), tendo em conta a monitorização de vários desmontes para

ser estudada a curva granulométrica resultante do desmonte e analisadas as zonas de rocha esmagada/fracturada ajustando-se um modelo de cartografia de percentagem expectável na obtenção de diferentes calibres granulométricos por zona geotécnica.

- A verificação da influência das anisotropias, do maciço rochoso, nos desvios de perfuração, em bancadas criteriosamente seleccionadas, para a qualidade do desmonte dos maciços rochosos.

5 – Referências Bibliográficas

5. Referências Bibliográficas

- Aires-Barros, L. 1991. Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 384 pp.
- Aydin, A. & Basu, A. 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 41, 211–14.
- Aydin A., 2008. ISRM suggested method for determination of the Schmidt Hammer rebound hardness: revised version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(3): 627-634.
- Bell F. G., 2007. *Engineering Geology*, 2nd edition. Elsevier Ltd. 593pp.
- Bernardo P., 2010. Reflexão acerca das bases actuais da escavação de maciços rochosos. *Portugal Mineral, Revista da Indústria Extractiva, ANIET*, 1: 38-43.
- Bhandari, S. (1997). *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
- Bock H., 2006. Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 65: 209-216.
- Brady B.H.G. & Brown, E.T., 2004. *Rock mechanics for underground mining*. Kulwer Academic Publishers, Dordrecht. 628 pp.
- Cavalheiro A., Baptista J. S., Carvalho J.S., (2002). Estudo da pedreira da Curviã N.º2 da Secil Britas S.A. – relatório técnico e parecer relativo à produção de balastro normal de acordo com a instrução técnica IT/DIF/01/75 da CP. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996, *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- Chaminé, H. I. & Gaspar, A. F., 1995, Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde Estudos, *Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto*, 37: 97-111.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Teixeira J., Ramos L., Fonseca L., Pinheiro R. & Galiza A.C. (2013). Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. *European Geologist Magazine, Journal of the European Federation of Geologists*, 36: 27-33.
- Chaminé H.I., Afonso M.J., Ramos L. & Pinheiro R. (2014). Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty (Chapter 61). In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P., Delgado C. (eds.), *Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects*, IAEG, Springer, 6: 357-361.
- Cunha A.P. & Muralha J., 1990. Scale effects in the mechanical behaviour of joints and rock masses. *Memória 763, LNEC, Lisboa*. 44 pp.

Deere, D.U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie* 1(1), 16-22.

Deere D.U., Hendron A.J., Patton F.D. & Cording E.J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In: C. Fairhurst, (ed.), *Failure and breakage of rock, proceedings 8th U.S. symposium rock mechanics*. Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrol. Engrs. pp. 237-302.

Deere, D.U. & Deere, D.W., 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In: Kirkaldie L., ed., *Rock classification systems for engineering purposes*, , ASTM Special Publication, Philadelphia, 984: 91-101.

Dias A., 2013. *Influência dos parâmetros geotécnicos na qualidade do desmonte de maciços rochosos fracturados*. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (tese de mestrado).

Dinis da Gama C., 1995. Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de Canteras. In: López Jimeno, C. (Ed.). *Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales*. Entorno Gráfico. S.L., Madrid, pp. 231-246.

Dobereiner L. & Freitas M.H., 1986. Geotechnical properties of weak sandstones. *Géotechnique*, 36(1): 79-94

EC7 [Eurocode 7], 1997. Geotechnical design – EN 1997-1. Part 1: General rules. EN 1997-2. Part 2: Ground investigation and testing. < <http://www.eurocodes.co.uk/>>

Esteves J.M., 1993. *Controlo de vibrações provocadas por explosões na indústria da construção*. LNEC, Lisboa. 108 pp.

Farinha Ramos J.M., Casal Moura A., Moreira A. & Oliveira A., 2003. Estudo geológico da pedreira da Curviã N°2 (Joane, V. N. Famalicão): características da fracturação. In: Portugal Ferreira M. (coord.), *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação*. Volume de Homenagem ao Prof. Doutor Cotelos Neiva, Imprensa da Universidade, Série Investigação, Coimbra. 2:323-334.

Ferrer M. & González de Vallejo L., 2007. *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. Publicaciones ITGE, Madrid.

Fonseca, 2008. *Interacção e avaliação entre o maciço rochoso e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas*. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 225 pp. (Tese de Mestrado).

Fonseca L., Ramos L., Galiza A.C. & Chaminé H.I., 2010. Avaliação geomecânica de maciços rochosos fracturados e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. In: Gomes Correia A. et al. (eds), *Actas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia (Geotecnia e Desenvolvimento Sustentável)*, SPG/UM, Guimarães. pp. 279-288.

Franklin J.A., Broc E. & Walton G., 1971. Logging the mechanical character of rock. *Tran. Inst. Min. Metall.*, 80: A1-A9.

Freitas M.H. de, 2009. Geology: its principles, practice and potential for Geotechnics. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42: 397-441.

Galiza A.C., 2001. A qualidade nas operações de desmonte. Relatório de provas públicas para provimento de um lugar de Professor Adjunto. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Politécnico do Porto. 76 pp. (Relatório inédito).

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011a. Geotecnia mineira de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. *Revista Ingenium, Ordem Engenheiros*, 124 (Jul/Agos): 76-80.

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I., 2011b. O papel da geotecnia mineira na optimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. *Boletim de Minas, DGEG, Lisboa*, 46(2): 103-120.

Galiza A.C., 2013. Qualidade e optimização do desmonte de maciços rochosos em geotecnia mineira. Universidade de Aveiro. (Tese de Doutoramento).

Góis J., Vieira A., Galiza A.C. & Chaminé H.I., 2011a. A new training manual and strategy for improving shotfire competences required by all professionals working in rock blasting in Portugal. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Explosive Education and Certification of Skills*, 21 September 2011, Lisbon, 7 pp. (on CD-Rom)

Góis J., Vieira A., Galiza A.C. & Chaminé H.I., 2011b. A new training manual and strategy for improving shotfire competences of professionals working in the field of explosives in rock. In: *Book of Abstracts of the 2nd International Conference on Explosive Education and Certification of Skills*, 21 September 2011, Lisbon, pp. 22.

Góis J.C., Vieira A., Galiza A.C., Bernardo P., Gomes C. & Chaminé H.I., 2012. Manual do operador de produtos explosivos. Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos / Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora. 169 pp.

Gomes L., Galiza A. & Vieira A., 2008. Desmonte de Maciços Rochosos I - Versão 2007/2008. ISEP, Porto, pp. 167. (Texto não publicado).

Gomes L., Galiza A. & Vieira A., 2008. Desmonte de Maciços Rochosos II - Versão 2007/2008. ISEP, Porto, pp. 114. (Texto não publicado).

González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. [coords.], 2002. *Ingeniería geológica* Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

González de Vallejo, L.I. & Ferrer, M. (2011). *Geological engineering*. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 pp.

Goodman, R., 1993. *Engineering geology: rock in engineering construction*. John Wiley & Sons, New York, 412 pp.

GSE - Geological Society Engineering Group Working Party Report, 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society*, 28 (3): pp. 207-242.

Harck, R.; Azzam, R. & Charlier, R., 2004. Engineering geology for infrastructure planning in Europe: a European perspective. Lecture Notes in Earth Sciences, vol. 104. Springer-Verlag, Berlin. 801pp.

Hartman H.L. [Sen. Ed.], 1992. SME mining engineering handbook. 2nd edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado, USA, 2 volumes, 2260 pp.

Hoek E., 1966. Rock mechanics an introduction for the practical engineer Parts I, II and III (April, June and July 1966). Mining Magazine. 67 pp.

Hoek E., 2007. Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.

Hudson J.A. & Cosgrove J.W., 1997. Integrated structural geology and engineering rock mechanics approach to site characterization. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 34(3/4): p136.1-p136.15.

IAEG – International Association Engineering Geology, 1981a. Recommended symbols for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 227-234

IAEG – International Association Engineering Geology, 1981b. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 235-274..

IAEG – International Association for Engineering Geology, 2005. Special purpose mapping for waste disposal sites. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 64: 1-54.

IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1997. Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, Série M888: folha 70 (Braga).

IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1998. Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, Série M888: folha 84 (Selho-Guimarães).

IGM [Instituto Geológico e Mineiro], 1999. Manual de utilização de explosivos em explorações a céu aberto. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.< http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/explosivos/indice.htm >

I.S.R.M. - International Society for Rock Mechanics, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanics. 15 (6): pp. 319-368.

I.S.R.M. - International Society for Rock Mechanics, 1981. Basic geotechnical description of rock masses Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: pp. 85-110.

I.S.R.M. – International Society for Rock Mechanics, 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 22: 51-60.

I.S.R.M. – International Society for Rock Mechanics 2007. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.

-
- Kahraman S., Fener M. & Gunaydin O., 2002, Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 39: 395-399.
- Katz O., Rechesa Z. & Roegiersc J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37: 723-728.
- Lamas, P. C., 1993. Estudos Geotécnicos para obras de Engenharia-Ensaios de rochas em laboratório. Cursos de sensibilização, CEGSA, Santo André, 29 e 30 de Março de 1993, pp.17.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., Manglano Alonso, S., Toledo Santos, J.M., 1991. Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. Cartografía Madrid, S.A., pp. 139-162.
- López Jimeno C., López Jimeno E. & Carcedo F.J.A., 1995. Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema, Taylor & Francis Group, Rotterdam, 400 pp.
- Lisle R.J. & Leyshon P.R., 2004. Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers. Second Edition, Cambridge University Press. 112 pp.
- Mandl G., 2005. Rock joints: the mechanical genesis. Springer-Verlag. 221 pp.
- Martins, R., Moreira, P., Santos Pereira, Neto, E., Pereira, A. M., Teixeira, J., Vieira, A. & Chaminé, H. I., 2006. A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: Actas do 10.º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa, Maio de 2006. Volume 1, pp. 255-264.
- Mazzoccola D.F., Millar D.L. & Hudson J.A. (1997). Information, uncertainty and decision making in site investigation for rock engineering. *Geotechnical and Geological Engineering*, 15: 145-180.
- Mello Mendes, F., 1967-68, Mecânica das rochas. Instituto Superior Técnico. Lisboa. 541 pp. Monteiro, E. 199. Monografia do Marco de Canaveses I e II. Edição da Câmara Municipal de Marco de Canaveses. pp. 309-316.
- Miller R.P., 1965. Engineering classification and index properties for intact rock. University of Illinois. (PhD Thesis).
- Mohanty, B. 1996. Rock Fragmentation by Blasting. Balkema, pp. 13 – 35.
- Montenegro de Andrade, M.; Noronha, F. & Rocha, A. 1986. Carta Geológica de Portugal, folha 9B-Guimarães, escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Nascimento U., 1990. Contribuição para a história da Geotecnia em Portugal. *Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, Lisboa, 58: 3-16.
- Norbury D., 2010. Soil and rock description in engineering practice. Whittles publishing, CRC Press. 288 pp.
- Oliveira, R., 1990. Geologia de Engenharia: notas de aulas do curso de mestrado de geologia de engenharia. Universidade Nova de Lisboa, Costa da Caparica. (policopiado).

Palmström, A., 1975. Characterization of degree of jointing and rock mass quality. Intern. Report Ing. AB. Berdel, A.S. Oslo.

Palmström, A., 1995, RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes PhD Thesis, University of Oslo, 400 pp. (PhD Thesis).

Palmström A. & Stille H., 2010. Rock engineering. Thomas Telford Ltd., 408 pp.

Peacock, D. C. P., Harris, S. D. & Mauldon, M., 2003. Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencies J. Struct. Geol., 25: pp. 109-119.

Pedrosa, M.Y., 1998. Carta Hidrogeológica de Portugal - Notícia Explicativa da Folha 1, escala 1:200000. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Pereira, E., 1992. Carta Geológica de Portugal - Notícia Explicativa da Folha 1, Escala 1/200000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 76 pp.

Pettifer G.S. & Fookes P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavability of rock. Quarterly Journal of Engineering Geology, 27: 145-164.

Pinheiro R., Ramos L., Teixeira J., Afonso M.J. & Chaminé H.I. (2014). MGC–RocDesign|CALC: a geomechanical calculator tool for rock design. In: L.R. Alejano, A. Perucho, C. Olalla & R. Jiménez (Eds.), Proceedings of Eurock2014, Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses (ISRM European Regional Symposium, Vigo, Spain, 26-28 May 2014), CRC Press/Balkema Taylor & Francis Group, London, p. 655-660. (on pen-drive insert, ISRM Paper CH100).

Pinto J., 2013. Controlo e optimização da perfuração em desmonte de maciços rochosos fracturados: avaliação preliminar. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).

Press, F. & Siever, R., 1998. Understanding Earth. Second edition. W. H. Freeman and Company, New York. 682 pp.

Price, D. G. & de Freitas, M. H., 2009. Engineering geology: principles and practice. Springer, 450 pp.

Priest, S. D. & Hudson, J. A., 1981, Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: pp. 183-197.

Priest S.D., 1985. Hemispherical projection methods in rock mechanics. George Allen & Unwin, London, 124 pp.

Priest S.D., 1993. Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman and Hall. London, 473 pp.

Ragan D.M., 2009. Structural geology: an introduction to geometrical techniques. Fourth Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 602 pp.

Ramos L., 2008. Avaliação geotécnica e geomecânica de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).

-
- Ramos L., 2013. Metodologias interdisciplinares em geotecnia mineira para a qualidade do desmonte de maciços rochosos. Universidade de Coimbra (UC). (relatório de projecto de Tese de Doutoramento). (inédito).
- Ribeiro C., 2008. Carga e Transporte. Fundação Politécnico do Porto - FIPP, pp. 51. (Texto não publicado)
- Rocha, M. (2013). Mecânica das Rochas. Edição no âmbito das comemorações do centenário do nascimento do Engenheiro Manuel Rocha - 1913-2013. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 436 pp.
- Sampaio M.J.C., 2006. Processamento de Matérias – Primas Minerais e Resíduos. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pp. 214 (Texto não publicado).
- Sandvik-Tamrock, 1999. Rock excavation handbook. Sandvik Tamrock Corp., 364 pp.
- Scesi L. & Gattinoni P., 2009. Water circulation in rocks. Springer, Dordrecht, 165 pp.
- Schmidt, E. 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59 (8): 34-35.
- Silva AL., 2010. Estudo da influência da carga específica na fragmentação de rocha granítica no desmonte em bancada. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (tese de mestrado).
- Singh B. & Goel R.K., 2011. Engineering rock mass classification: tunneling, foundations, and landslides. Butterworth-Heinemann, Elsevier Inc., 365 pp.
- Sodré Borges F., 2002. Geologia estrutural. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. (policopiado).
- Spínola S., 1999. Movimento de Terras. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pp. 195. (policopiado).
- Terzaghi, K., 1965. Sources of errors in joint surveys. *Géotechnique*, 15: 287-304.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in engineering practice*. Second edition, John Wiley and Sons, New York.
- Tsiambaos G. & Saroglou H., 2010. Excavability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 69: 13-27.
- Vaz S., 2008. Desmonte com Explosivos. Fundação Politécnico do Porto - FIPP, pp. 99. (Texto não publicado)
- Vidal Romani, J. R. & Twidale, C. R., 1999. Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. *Geomorphology*, 31 (1-4): 13-27.
- Vieira A., 2008. Fragmentação Secundária, Controlo da Fragmentação, Controlo das Projecções, Controlo da Onda de Choque Aérea, Controlo das Vibrações. Fundação Politécnico do Porto – FIPP, pp. 52. (Texto não publicado).
- West G., 1991. The field description of engineering soils and rocks. Geological Society of London, Professional Handbook Series, Open University Press, 129 pp.