

Caracterização de maciço rochoso para exploração e transformação como rocha ornamental. Caso de estudo: Arronches

HUMBERTO MIGUEL EVARISTO DE OLIVEIRA

Outubro de 2017



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Caracterização de maciço rochoso para exploração e transformação como rocha ornamental. Caso de estudo: Arronches

Humberto Miguel Evaristo de Oliveira



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2017

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Caracterização de maciço rochoso para exploração e transformação como rocha ornamental. Caso de estudo: Arronches

Humberto Miguel Evaristo de Oliveira

1120410

*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 Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e co-orientação do Engenheiro Luís Carlos Ramos, Assistente Convidado 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 José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

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

Mestre Luís Carlos Correia Ramos
Director de Produção, Elevo Agregados SA (Grupo Elevo SA), Porto
Assistente convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Paulo José Barata Salgueiro Pita
Chefe de Divisão de Pedreiras da DGEG–Norte, Direção Geral de Energia e Geologia, Porto

*A tese de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, pelo licenciado **Humberto Miguel Evaristo de Oliveira**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 22 de Novembro de 2017 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

Dedico esta tese à minha Família....

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

São devidos agradecimentos na realização deste trabalho às seguintes pessoas:

Ao Professor José Augusto Fernandes e ao Engenheiro Luís Carlos Ramos pelo apoio, sábia ajuda e disponibilidade, não apenas durante a realização deste documento, mas ao longo de todo o percurso académico.

Ao Prof. João Manuel Coelho pelo precioso auxílio prestado na utilização do *software* aplicado na realização deste documento.

Ao Engenheiro Floriano Santos (Cooperativa dos Pedreiros do Porto) pela partilha de informação bastante útil para a elaboração do presente documento.

A todos os alunos que me acompanharam nestes cinco anos, pela entreatajuda, métodos de estudo e boa disposição, que foram decisivos para que todos caminhássemos firmemente até aqui.

À direção 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.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Maciços rochosos, bloco unitário, rocha ornamental, oficina de transformação

Resumo

Este trabalho é constituído por duas fases distintas, uma primeira fase centra-se no estudo do aproveitamento expectável do maciço rochoso da pedreira da “Herdade do Montinho” (Arronches, distrito de Portalegre), para fins ornamentais. Para isso, estudou-se os dados do levantamento geológico e estrutural de superfície e da análise da fracturação (a qual foi realizada através da técnica de amostragem linear, segundo um perfil de amostragem, na bancada acima da corta inundada) com o propósito da obtenção de um bloco unitário tipo, que forneça indicações para a exploração do recurso geológico. De seguida, procedeu-se à análise de campanha de prospeção, na qual foram realizadas seis sondagens mecânicas à rotação, com recolha de amostra contínua, de forma a caracterizar a qualidade do maciço, identificar os respetivos parâmetros geológicos e geotécnicos e, com recurso ao *software RockWorks 16*, definir modelos tridimensionais das litologias presentes no maciço rochoso e estimar as suas reservas. Posteriormente procedeu-se à caracterização geomecânica e tecnológica do maciço, neste estágio realizou-se uma análise dos resultados dos ensaios tecnológicos (resistência mecânica à compressão e flexão, massa volúmica aparente, absorção de água, porosidade aberta, resistência ao choque, resistência ao desgaste, entre outros) nas litologias suscetíveis de interesse ornamental, e comparou-se com os valores padrão das mesmas, o que permitiu verificar a importância relativa de ensaios físico-mecânicos, tendo em vista as aplicações mais comuns como rocha ornamental. A segunda fase do trabalho consistiu na definição dos produtos com mais interesse comercial, tendo em conta as características do material rochoso, e propor uma instalação de transformação do material, onde se explicou o método produtivo, definiu-se equipamentos, e realizou-se um cálculo indicativo das produções, reservas e aproveitamento.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Rock masses, block size, ornamental stone, workshop transformation

Abstract

This work consists of two distinct stages, a first phase focusing on the study of the expected exploitation of the rock masses of the "Herdade do Montinho" quarry (Arronches, Portalegre district), for ornamental purposes. For this, the geological and structural surface survey data and fracturing analysis (which was performed using the linear sampling technique, according to a sampling profile, in the bench above the floodplain) were studied for the purpose of obtaining of a block size that provides indications for the exploitation of the geological resource. Then, an exploration campaign was carried out, in which six mechanical drilling's were carried out with rotation, with continuous sampling, in order to characterize the quality of the rock mass, to identify the respective geological and geotechnical parameters and, with recourse to the RockWorks 16 software, to define three-dimensional models of the lithologies present in the rock mass and to estimate their reserves. Afterwards the geomechanical and technological rock mass characterization was carried out. At this stage an analysis of the results of the technological tests (mechanical resistance to compression and bending, bulk density, water absorption, open porosity, shock resistance, wear resistance, among others) in lithologies with indications of ornamental interest, and was compared with the standard values of the same, which allowed to verify the relative importance of physical-mechanical tests, considering the most common applications as ornamental stone. The second phase of the work consisted in defining the products with the most commercial interest, taking into account the characteristics of the rock material, and proposing a material processing plant, where the productive method was explained, equipment was defined, and a indicative calculation of production, reserves and use.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução.....	26
1.1. Âmbito.....	26
1.2. Objetivos	26
2. Rochas ornamentais.....	31
2.1. Enquadramento do setor das rochas ornamentais.....	32
2.1.1. Produção de rochas ornamentais no mundo.....	32
2.1.2. Produção de rochas ornamentais em Portugal.....	33
3. Prospeção geológica e caracterização geomecânica de maciços rochosos para exploração de rochas ornamentais.....	38
3.1. Introdução.....	38
3.1.1. Descrição de maciços rochosos.....	39
3.1.2. Descrição das descontinuidades	40
3.2. Prospeção de rochas ornamentais.....	50
3.2.1. Estudos de superfície	51
3.2.2. Prospeção em profundidade.....	59
3.3. Caracterização geomecânica e tecnológica	65
3.3.1. Ensaios “in situ”.....	65
3.3.2. Ensaios laboratoriais	70
4. Extração e transformação de rochas ornamentais.....	74
4.1. Extração de rochas ornamentais.....	74
4.2. Transformação de rochas ornamentais	74
4.2.1. Transformação primária.....	74
4.2.2. Transformação secundária ou final.....	77
5. Caso de estudo da pedreira “Herdade do Montinho” Arronches	81
5.1. Enquadramento da pedreira.....	81
5.1.1. Enquadramento geográfico.....	81
5.1.2. Enquadramento geomorfológico e hidrográfico.....	82
5.1.3. Enquadramento geológico	82
5.2. Parâmetros geológico-geotécnico e geomecânico: generalidades.....	85
5.2.1. Levantamento geológico e estrutural de superfície	85
5.2.2. Estudo da fracturação à superfície.....	86
5.2.3. Prospeção em profundidade.....	91

5.2.4.	Cálculo de reservas.....	100
5.2.5.	Caracterização geomecânica e tecnológica	101
5.2.6.	Análise do mercado.....	112
5.3.	Síntese do capítulo	113
6.	Proposta de projeto da instalação de transformação	116
6.1.	Planta da instalação.....	116
6.2.	Produtos finais previstos	116
6.3.	Método de transformação	117
6.3.1.	Layout da oficina de transformação.....	119
6.4.	Seleção dos equipamentos e maquinaria auxiliar.....	123
6.5.	Produções diárias	136
6.6.	Operadores.....	140
6.7.	Massa Mineral Rejeitada.....	140
6.8.	Lamas.....	142
7.	Conclusões	144
8.	Referências bibliográficas	149
9.	Anexos.....	155
	Anexo I - Levantamento geológico e estrutural de superfície;	
	Anexo II - Localização dos trabalhos de superfície, do perfil de amostragem e perfis geológicos;	
	Anexo III - Log's dos furos de sondagem da campanha de prospeção Geológico – Geotécnica;	
	Anexo IV - Fotografias das caixas e testemunhos de sondagem da campanha de prospeção Geológico-Geotécnica.	
	Anexo V - Relatório de ensaio: Método e Terminologia para Descrição Petrográfica Simplificada	
	Anexo VI - Relatório de ensaio: Determinação da Resistência à Compressão EN 1926/2006	
	Anexo VII – Ficha de caracterização do “gabrodiorito” de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017).	
	Anexo VIII – Ficha de caracterização do granito rosa de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017).	
	Anexo IX – Planta da instalação de transformação em <i>Autocad</i> .	

Índice de figuras

Figura 1 - Principais centros de produção de "mármore e outras rochas carbonatadas", "granito e outras rochas similares" e "ardósias e xistos ardosíferos" (adaptado de INETI, 2001).	34
Figura 2 – Estrutura das saídas por subsetores em 2015 (adaptado de Direção Geral de Energia e Geologia, 2015)	35
Figura 3 – Faseamento da prospeção de maciços (adaptado de Ramos & Moura, 2010).	39
Figura 4 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de Vallejo, 2002).	42
Figura 5 - Aspeto de uma coroa diamantada, sendo visível no seu interior o testemunho de rocha obtido (Correia, 2011).	62
Figura 6 - a) Coroa diamantada e tubo amostrador convencional, sendo visíveis em segundo plano as varas roscadas que são acopladas à medida que a furação progride. b) Coroa diamantada e tubo amostrador “wireline”, sendo visível à direita das varas o dispositivo utilizado para efetuar o engate e a retirada do tubo amostrador interior (adaptado de Correia, 2011).	63
Figura 7 - Procedimento de medição e exemplo do cálculo do RQD (adaptado de Vallejo, 2002).	64
Figura 8 – Processo para obtenção de peças de granito fendidas (Sousa, 2012).	75
Figura 9 – Serragem de blocos de granito com recurso a uma serra monodisco (a) (http://www.granitoslamecense.pt/images/sampled/ta/tahablocoslam/1.jpg) ou com fio diamantado (b) (http://www.pellegrini.net/immagini/stonemaster/DF_2000-2500.jpg)	75
Figura 10 – Tear multi-lâmina (http://www.gasparimenotti.it/)	76
Figura 11 – (a) Máquina de corte e fresagem controlada por CNC, b) Pormenor da mesma (http://www.construal.pt/uploads/produtos/upload103_0.jpg)	79
Figura 12 - Localização da pedreira “Herdade do Montinho”. (Extracto da folha 385 da Carta Militar de Portugal, Arronches, à escala 1:25 000 (IGeoE, 2008)); http://www.ervital.pt/img/mapa_portugal.gif , https://en.caixaimobiliario.com/images/mapas/portalegre.gif)	81
Figura 13 - Maciço Granítico de Santa Eulália (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).	83
Figura 14 - (a) Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1992) (b) Folha 2 da Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1992) e (c) Localização da pedreira na Carta Geológica de Portugal Esc. 1 / 50 000, Folha 33-C, Campo Maior (Gonçalves, 1972).	84
Figura 15 - Estações definidas no levantamento geológico de superfície (Google Earth Pro).	85

Figura 16 - Esquematização do bloco unitário.	90
Figura 17 – Localização dos furos de sondagem na área de pedreira (Google Earth Pro).....	91
Figura 18 - Localização dos furos de sondagem e respectivos perfis na área de pedreira (Google Earth Pro).	92
Figura 19 – Perfis litológicos interpretativos.....	93
Figura 20 – Modelo tridimensional da litologia gabro.	94
Figura 21 - Modelo tridimensional da litologia rochas híbridas.....	94
Figura 22 – (a) Modelo tridimensional da litologia granito, (b) modelo tridimensional da litologia granito rosa.	95
Figura 23 - Modelo tridimensional da litologia “mistura”.....	96
Figura 24 - Modelo tridimensional da zona alterada.	96
Figura 25 - Perfis interpretativos do RQD - “Rock Quality Designation”.....	98
Figura 26 - Modelo tridimensional do RQD - “Rock Quality Designation”.....	99
Figura 27 – Perfil de amostragem a – b (V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).....	101
Figura 28 – Mapa de contornos da distância às sondagens.....	113
Figura 29 - Planta da instalação.	116
Figura 30 – Fluxograma do layout da oficina de transformação.....	118
Figura 31 - Layout da oficina de transformação.....	119
Figura 32 – Equipamentos de acabamento superficial.	121
Figura 33 - Linha de corte de ladrilhos e placas de revestimento.....	123
Figura 34 - Engenho multifio da Breton, modelo PARAGON 2100/7/V/73 (Breton S.p.A., 2017). 124	
Figura 35 – Calibradora automática Pedrini, modelo Galaxy B220CG-8 (Pedrini SpA, 2017).	125
Figura 36 – Máquina de polir automática Pedrini, modelo Galaxy B220GB – 12 (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).....	127
Figura 37 – Máquina do tipo ponte da Pedrini, modelo Universal M940CN (Pedrini SpA, 2017). 128	
Figura 38 – Máquina de corte com disco diamantado da Pedrini, modelo M744 (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).....	129
Figura 39 – Máquina de corte com disco diamantado da Pedrini, modelo M750LD – 08M (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).....	131
Figura 40 – Máquina multifuncional de tratamento de superfícies da Pellegrini modelo FB220 (Pellegrini, 2017).	132
Figura 41 – Carregador/descarregador automático da Pedrini, modelo B415C (Pedrini SpA, 2017).	133

Figura 42 – Pórtico e grua de ponte Pellegrini (adaptado de PELLEGRINI MECCANICA S.p.A., 2017).	
.....	134
Figura 43 - Fluxograma do layout dos equipamentos empregues na oficina de transformação. .	135

Índice de quadros

Quadro 1 – Tipos de rocha ornamental (Figueiredo et al., 2001).	31
Quadro 2 - Produção Mundial de Pedra (adaptado de Montani, 2015).	32
Quadro 3 - Exportações da Pedra em Valor (€) por organizações internacionais (adaptado de Frazão, 2016).	36
Quadro 4 - Tipos de descontinuidades (Vallejo, 2011).	40
Quadro 5 - Breve descrição dos tipos de descontinuidades mais comuns (adaptado de Vallejo, 2011).	41
Quadro 6 - Atitude geológica (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	43
Quadro 7 - Espaçamento (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	44
Quadro 8 - Continuidade ou persistência (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	45
Quadro 9 - Rugosidade (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	46
Quadro 10 – Resistência das superfícies das descontinuidades (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	47
Quadro 11 – Abertura (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	48
Quadro 12 – Preenchimento ou enchimento (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	49
Quadro 13 – Infiltração ou percolação (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).	49
Quadro 14- Principais aspetos a considerar na prospeção de Rochas Ornamentais (Carvalho, 2011).	50
Quadro 15 - Critérios de decisão na prospeção de Rochas Ornamentais (Carvalho, 2011).	51
Quadro 16 - Método de amostragem linear “Linear scanline method” (adaptado de Dnis da Gama, 1995; Martins et al., 2006; Watkins et al., 2015; Chaminé et al., 2013, 2015; Chaminé, 2016).	53
Quadro 17 - “Areal sampling” (adaptado de Watkins et al., 2015).	54
Quadro 18 – Técnica de amostragem de janela retangular “Rectangular window sampling” (adaptado de Watkins et al., 2015)	55
Quadro 19 - Método de amostragem circular “Circular scanline method” (adaptado de Watkins et al., 2015).	56
Quadro 20 - Classificação do tamanho do bloco a partir do valor do índice volumétrico (adaptado de Vallejo, 2002; Sousa, 2012).	58
Quadro 21 - Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos (adaptado de Vallejo, 2002).	58
Quadro 22 - Tamanho indicativo do bloco em função do valor do J_v (Sousa, 2012).	59

Quadro 23 - Classificação dos maciços rochosos em termos geomecânicos em função do RQD (adaptado de Deere & Deere, 1988).....	64
Quadro 24 - Esclerómetro portátil “Martelo de Schmidt” (adaptado de ISRM, 1981, 2015; Vallejo, 2002; proced, 2017).....	66
Quadro 25 - Ensaio de carga pontual (“Point Load Test”, PLT) (adaptado de Vallejo, 2002; ISRM, 1981, 2007, 2015).....	67
Quadro 26 - Ensaios de caracterização tecnológica e respetivas normas europeias (EN) (adaptado de Moura, 2008).....	70
Quadro 27 - Importância relativa de ensaios físico-mecânicos tendo em vista as aplicações mais comuns (adaptado Leite & Moura, 2017).....	72
Quadro 28 - Acabamentos superficiais mais utilizados (adaptado de Sousa, 2012; http://www.moreiraevazao.pt/produtos/acabamentos/).....	77
Quadro 29 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação do perfil a-b (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).....	87
Quadro 30 - Diagramas de contornos e rosetas dos afloramentos da pedreira (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).	88
Quadro 31 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.....	88
Quadro 32 - Síntese dos valores de compartimentação do maciço rochoso com indicação da dimensão expectável do bloco unitário.....	90
Quadro 33 – Síntese dos dados dos furos de sondagem e respetivos perfis.....	92
Quadro 34 – Volumetrias de cada litologia, obtidas através dos modelos tridimensionais para a área de pedreira.....	97
Quadro 35 – Cálculo dos volumes e reservas indicativas de cada litologia.....	100
Quadro 36 – Resultados do ensaio da resistência à compressão (“Martelo de Schmidt”) (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).....	102
Quadro 37 - – Resultados do ensaio da resistência à compressão (“Martelo de Schmidt”) e respetiva classe de resistência (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009; ISRM, 1981).	102
Quadro 38 - Classificação do maciço em função da resistência à compressão simples (ISRM, 1981).	103
Quadro 39 – Ensaios laboratoriais realizados.....	103
Quadro 40 – Síntese dos resultados da análise petrográfica (adaptado de LGMC, 2009).	104
Quadro 41 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão (adaptado de LGMC, 2009).....	105

Quadro 42 – Características físico-mecânicas do gabro / gabrodiorito de Arronches e do granito rosa de Arronches (adaptado de Leite & Moura, 2017).	106
Quadro 43 – Comparação dos valores especificados para aplicações como rocha ornamental com os valores característicos do gabro/ gabrodiorito de Arronches (adaptado de Moura et al., 2000; Leite & Moura, 2017).	107
Quadro 44 - Comparação dos valores especificados para aplicações como rocha ornamental com os valores característicos do granito rosa de Arronches (adaptado de Moura et al., 2000; Leite & Moura, 2017).....	108
Quadro 45 – Proposta de valores de resistência ao desgaste (adaptado de Moura et al., 2000). 109	
Quadro 46 – Valores-guia mínimos da resistência ao choque por impacto para produtos em pedra maciça (adaptado de Moura et al., 2000).	109
Quadro 47 – Dimensões e acabamentos de ladrilhos e placas de revestimento de paredes interiores.	117
Quadro 48 - Dimensões e acabamentos de placas de revestimento fachadas.	117
Quadro 49 - Características técnicas e dimensões gerais do engenho multifio da Breton, modelo PARAGON 2100 / 7 /V / 73 (adaptado de Breton S.p.A., 2017).	125
Quadro 50 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento Galaxy B220CG-8 (adaptado de Pedrini SpA, 2017).....	126
Quadro 51 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento Galaxy B220GB - 12 (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).	127
Quadro 52 - Características técnicas e dimensões gerais da máquina do tipo ponte da Pedrini, modelo Universal M940CN (adaptado de Pedrini SpA, 2017).	128
Quadro 53 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento M744LD - 7 (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).	130
Quadro 54 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento M750LD – 08M (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).....	131
Quadro 55 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento FB220 (adaptado de Pellegrini, 2017).....	132
Quadro 56 - Características técnicas e dimensões gerais do carregador/descarregador automático B415C (adaptado de Pedrini SpA, 2017).	134
Quadro 57 - Cálculo da produção diária no corte primário do engenho multifio.	136
Quadro 58 - Cálculo da produção diária do equipamento de calibração.	137
Quadro 59 - Cálculo da produção diária do equipamento de tratamento de superfícies (máquina polidora).	137

Quadro 60 - Cálculo da produção diária do equipamento de tratamento de superfícies (máquina multifuncional).....	137
Quadro 61 - Cálculo da produção diária do equipamento de corte longitudinal (máquina de multidisco - M744LD – 7).	138
Quadro 62 - Cálculo da produção diária do equipamento de corte transversal (máquina de multidisco - M750LD – 08M).....	138
Quadro 63 - Produções médias de placas de revestimento e ladrilhos.....	139
Quadro 64 – Vida útil das reservas das várias litologias	139
Quadro 65 - Turnos de trabalho e número de operários necessários para a oficina de transformação.....	140
Quadro 66 – Aproveitamento (%) obtido na serragem (teares multifios) para as várias espessuras.	141
Quadro 67 - Aproveitamento (%) obtido no corte secundário (máquinas multidisco) para as várias dimensões.	141

Índice de equações

Equação 1 - Índice Dimensional (“Block Size Index”; ISRM, 1978).....	57
Equação 2 - Índice Volumétrico (“Volumetric Joint Count”; ISRM, 1978, 1981)	58
Equação 3 - Percentagem de recuperação (%)	64
Equação 4 - RQD (“Rock Quality Designation”; Deere et al., 1967)	64
Equação 5 - RQD (“Rock Quality Designation”; Palmstrom, 1975)	65
Equação 6 - Resistência à compressão (R_c)	105

1 – Introdução

1. Introdução

1.1. Âmbito

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. Por razões de ordem logística e académica, a presente dissertação explora os dados adquiridos em conjunto e complementa a dissertação de mestrado de David Marçal (2017).

1.2. Objetivos

A presente tese apresenta dois objetivos fundamentais, os quais são:

- Estudar o potencial do maciço rochoso da pedra da “Herdade do Montinho” (Arronches, distrito de Portalegre), para fins ornamentais.
- Definir os produtos com mais interesse comercial, tendo em conta as características do material rochoso, e propor uma instalação de transformação de rocha ornamental.

Na resolução dos objetivos anteriormente apresentados, e para uma melhor sintetização, estes podem ser divididos nos seguintes objetivos intermédios ou complementares:

- O levantamento geológico e estrutural de superfície do maciço que constitui a pedra da “Herdade do Montinho”.
- O levantamento sistemático da fracturação aplicando a técnica da amostragem mais vantajosa, tendo em consideração as características das superfícies (descontinuidades) expostas do maciço, para a avaliação do seu grau de compartimentação, e fornecer indicações para a exploração do recurso geológico.
- Com recurso a uma campanha de prospeção mecânica, caracterizar a qualidade do maciço, identificar os respetivos parâmetros geológicos e geotécnicos, definir modelos tridimensionais das litologias presentes no maciço rochoso e estimar as suas reservas.

- Caracterização geomecânica e tecnológica das litologias presentes na massa mineral, com indícios de interesse ornamental.
- Definição dos produtos com mais interesse comercial, tendo em consideração as características do material rochoso.
- Projeto de uma instalação de transformação de rocha ornamental.

1.3. Organização da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos principais, organizados da seguinte forma:

- O presente capítulo, corresponde à introdução, onde se contextualiza o trabalho, referindo o âmbito em que este se insere, apresentando os principais objetivos, e referindo as metodologias e técnicas (de campo, de laboratório e ferramentas informáticas) utilizadas na sua realização.
- O capítulo 2 apresenta o suporte teórico às noções essenciais das rochas ornamentais, assim como um breve enquadramento do sector das rochas ornamentais no mundo e em Portugal.
- O capítulo 3 apresenta o apoio teórico às principais noções, metodologias e técnicas relacionadas com a prospeção geológica e caracterização geomecânica de maciços rochosos para exploração de rochas ornamentais. Onde se abordam temas como a prospeção de rochas ornamentais (estudos de superfície e prospeção em profundidade) e caracterização geomecânica e tecnológica (ensaios “*in situ*” e ensaios laboratoriais).
- O capítulo 4 refere o estado da arte do setor da extração e transformação de rochas ornamentais.
- O capítulo 5 corresponde à primeira parte do caso prático, referindo-se o enquadramento da pedreira e determina-se os parâmetros geológico-geotécnico (onde constam o levantamento geológico e estrutural de superfície, o estudo da fracturação e a análise da prospeção em profundidade) e geomecânicos (onde se aborda a caracterização geomecânica e tecnológica), para encerrar é apresentado uma análise de mercado dos materiais em estudo.
- No capítulo 6 aborda-se a segunda parte do caso prático, esta corresponde ao projeto de uma instalação de transformação para os materiais em estudo. Onde são definidos os produtos finais e equipamentos, é apresentada uma planta para a instalação e respetivo

layout, e seguidamente são determinados valores indicativos das produções diárias, reservas, operadores e massa mineral rejeitada.

- O capítulo 7 apresenta uma discussão geral das principais conclusões obtidas e aponta uma série de perspectivas futuras de investigação.

1.4. Metodologias e técnicas

A abordagem executada para o presente trabalho, foi direcionada para a investigação, numa zona anteriormente identificada, e fundamentada nos estudos realizados pela Consmaga - Geólogos e Engenheiros Consultores, Lda. e pela Visa - Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. com o intuito de definir o zonamento geológico-geotécnico e estrutural na área de corta e na área de ampliação da lavra da pedreira nº 5591 “Herdade do Montinho”.

A metodologia de trabalho adotada com base nestes estudos, assentou fundamentalmente nas seguintes fases:

- A primeira fase procedeu-se à recolha bibliográfica de carácter científico-tecnológico com interesse para a área em estudo, na qual se definiu como ferramenta base de trabalho o levantamento topográfico fornecido pela empresa Monte Adriano S.A. (Anexo II), a Folha 385 da Carta Militar de Portugal do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE, 2008), à escala 1:25000, e a Folha 33-C da Carta Geológica de Portugal, à escala 1: 50 000, dos Serviços Geológicos de Portugal (Gonçalves, 1972).
- Na segunda fase de investigação do levantamento geológico e estrutural de superfície, a VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009), realizou a cartografia das litologias aflorantes e dos principais acidentes tectónicos na área em estudo. Para o estudo da fracturação, pelo facto dos dados obtidos nos afloramentos serem escassos, realizou-se um levantamento numa única frente de pedreira, com recolha de informação segundo um perfil de amostragem, na bancada acima da corta inundada de modo a abordar os aspetos geoestruturais e geotécnicos. Na representação das diversas famílias de descontinuidades obtidas no estudo efetuado, recorreu-se à projeção esférica dos dados, onde se utilizou a rede de igual área (Rede de Schmidt) para obtenção da projeção, no hemisfério Sul, de pólos de planos de fraturas e respetivo diagrama de contornos, para tratamento dos dados recorreu-se ao *Surpac Minex* no módulo aplicado a geologia estrutural de minas e pedreiras.
- A terceira fase consistiu na análise de campanha de prospeção com a realização de seis sondagens mecânicas à rotação, com recolha de amostra contínua, de forma a

caracterizar a qualidade do maciço e a identificar os respetivos parâmetros geológicos e geotécnicos. Esta campanha de prospecção mecânica (Anexo III e IV) esteve a cargo da Consmaga-Geólogos e Engenheiros Consultores, Lda. e Topdrill Lda. e foi levada a cabo por solicitação da anterior detentora da licença de exploração (Mendes Peixoto S.A.).

- A quarta fase consistiu na aplicação do *software RockWorks 16* na análise e interpretação dos dados obtidos nos estágios anteriores, através da modelação perfis e modelos tridimensionais. O *RockWorks 16* é um pacote computacional integrado para controle de dados, análises e visualização 3D e 2D, desenvolvido pela empresa *RockWare Inc.*, localizada na Cidade de Golden, CO, Estados Unidos. Este possui um editor de furos (*Borehole Data Manager*) que permite a entrada de dados geofísicos, geotécnicos, medidas geoquímicas, litologias, estratigrafia, nível de água, fraturas, entre outros. A partir desses dados é possível criar contornos, planos, superfícies de litologia e estratigrafia, mapas, seções transversais, perfis, e uma grande variedade de diagramas 3D. O *software* também contém uma série de aplicações auxiliares que podem ser encontrados na aba Utilidades (*Utilities*): ferramentas de hidrologia e hidroquímica, estatísticas computacionais, diagramas (histogramas, etc.), mapas de pesquisa, conversão de coordenadas, entre outras. O *RockWorks 16* permite visualizar informações do subsolo provenientes de sondagens, na forma de seções transversais, modelos sólidos, e isocurvas em 3D e 2D. Através da plotagem em 2D (*Rockplot 2D*) (indicada para imagens como mapas, furos, seções transversais e perfis) e a plotagem em 3D (*Rockplot 3D*) (que facilita a visualização de imagens como os modelos sólidos e superfícies 3D) é possível salvar e exportar.
- A quinta fase consistiu na caracterização da geomecânica e tecnológica do maciço, para isso recorreu-se aos ensaios de compressão uniaxial, esclerómetro portátil ou “martelo de *Schmidt*”, resistência à fragmentação ou ensaio de “*Los Angeles*” (NP EN 1097-2: 2002), resistência ao desgaste por atrito ou ensaio de “*Micro-Deval*” (NP EN 1097-1; 2002) e análise petrográfica, realizados pela empresa VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009).
- A última fase consistiu no projeto de uma oficina de transformação, na qual se recorreu, para o seu desenho, a um *software* do tipo CAD (desenho auxiliado por computador) *Autocad 2016*, e a uma recolha bibliográfica de equipamentos e informações do sector, junto dos principais produtores dos mesmos.

2 – Rochas ornamentais

2. Rochas ornamentais

As rochas ornamentais podem ser definidas como a matéria-prima de origem mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente decorativas. Cabem neste âmbito todos os tipos rochosos extraídos e processados segundo as mais variadas dimensões e formas, desde os pequenos cubos utilizados no calçamento de ruas, até às finas placas de rochas xistentas usadas em revestimentos, passando, como é óbvio, pelos grandes blocos destinados à obtenção de chapas para revestimentos diversos, estatuária, pedras tumulares, etc. (Carvalho, 2007).

As rochas ornamentais podem ser agrupadas em três grandes grupos de perda natural: “mármore e outras rochas carbonatadas”, “granito e outras rochas similares” e ainda “ardósias e xistos ardosíferos” (quadro 1) (Figueiredo *et al.*, 2001):

Quadro 1 – Tipos de rocha ornamental (Figueiredo *et al.*, 2001).

	Calcário cristalino (mármore)
Mármore e outras rochas carbonatadas	Calcário microcristalino
	Calcário sedimentar
	“Brecha calcária”
Granito e outras rochas similares	Granito
	Sienito nefelínico
	Pórfiro ácido
	Serpentinito
Ardósias e xistos ardosíferos	Ardósia
	Xisto

O valor ornamental de uma determinada rocha é condicionado pelas seguintes características fundamentais (Rocha & Xavier, 2000):

Resistência Mecânica – Capacidade de resistir à ação de uma carga sem entrar em rotura. Devem possuir uma determinada resistência mecânica tendo em vista o fim a que se destinam.

Durabilidade – Capacidade de manter as suas propriedades físicas e mecânicas com o decorrer do tempo e sob a ação de agentes agressivos, quer do meio ambiente, quer intrínsecos (composição mineralógica, grau de fissuração, textura, porosidade), sejam eles físicos, químicos ou mecânicos.

Trabalhabilidade – Corresponde à maior ou menor facilidade com que a rocha é trabalhada. Os aspetos que mais condicionam a trabalhabilidade são a fracturação inerente à sua génese, a homogeneidade, a dureza da pedra (composição mineralógica, génese e grau de alteração) e a textura.

Estética – Por estética entende-se a aparência da rocha, inclui a cor, a textura e o seu acabamento superficial. A cor é de extrema importância quando a rocha tem por finalidade a decoração, revelando-se um fator condicionante do seu valor comercial. A textura da rocha irá influenciar o aspeto visual da mesma. O tipo de acabamento superficial condiciona o aspeto visual e a resistência.

2.1. Enquadramento do setor das rochas ornamentais

2.1.1. Produção de rochas ornamentais no mundo

Segundo o XXVI Relatório de Mármore e Pedras do Mundo (2015), o setor da Pedra nos últimos 20 anos quadruplicou o comércio internacional de rochas ornamentais, apresentando de 1996 a 2013 um crescimento médio de 6% ao ano, demonstrando assim, um crescimento sustentado (Montani, 2015) (quadro 2):

Quadro 2 - Produção Mundial de Pedra (adaptado de Montani, 2015).

Países	1996		2013		2014	
	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%
China	7,500	16,1	39,500	34,4	42,500	31,1
Índia	3,500	7,5	19,500	15,0	22,000	14,7
Turquia	900	1,9	12,000	9,2	11,500	8,4
Brasil	1,900	4,1	9,000	6,9	8,750	6,4
Irão	2,500	5,4	6,500	5,0	7,000	5,1
Itália	8,250	17,7	7,000	5,4	6,750	4,9

Espanha	4,250	9,1	5,000	3,8	4,850	3,6
Egipto	1,000	2,2	3,000	2,3	4,200	3,1
Portugal	1,950	4,2	2,650	2,0	2,750	2,0
EUA	1,350	2,9	2,750	2,1	2,650	1,9
Grécia	1,800	3,9	1,250	1,0	1,300	1,0
Arábia Saudita	250	0,5	1,200	0,9	1,300	1,0
França	1,150	2,5	1,050	0,8	1,200	0,9
Paquistão	200	0,4	1,000	0,8	1,000	0,7
Sub-total	36,500	78,5	111,400	85,7	115,750	84,8
Outros	10,000	21,5	18,600	14,3	20,750	15,2
Mundo	46,000	100	130,000	100	136,500	100,0

A indústria das rochas ornamentais tem estado, historicamente, concentrada em dois grupos de países, os quais têm sido responsáveis por aproximadamente 80 % da produção mundial de mármore e granito. Um dos grupos localiza-se na Europa, onde assume especial relevância a Itália, Espanha e Portugal, e o outro na Ásia, onde se destacam a China e a Índia. Nos últimos anos outros países ganham evidência, como por exemplo o Brasil, a Turquia, o Irão e o Egito (Palma, 2014).

Portugal, enquanto produtor tradicional (assim como Espanha e Itália) está a perder terreno para outros (China, Índia e Turquia e.g.), pois estamos perante países com elevadas reservas de matéria prima, com apoios específicos para a exploração das pedreiras, com mercados internos grandes, em crescimento e com vantagens competitivas a todos os níveis (custos laborais, custos energéticos, acesso ao financiamento, entre outros) (Palma, 2014).

2.1.2. Produção de rochas ornamentais em Portugal

Portugal é um dos tradicionais produtores de rocha ornamental e possui depósitos dos principais tipos de rochas em praticamente todo o continente. Os principais centros de produção dos três grandes grupos de rochas ornamentais encontram-se representados na figura 1.

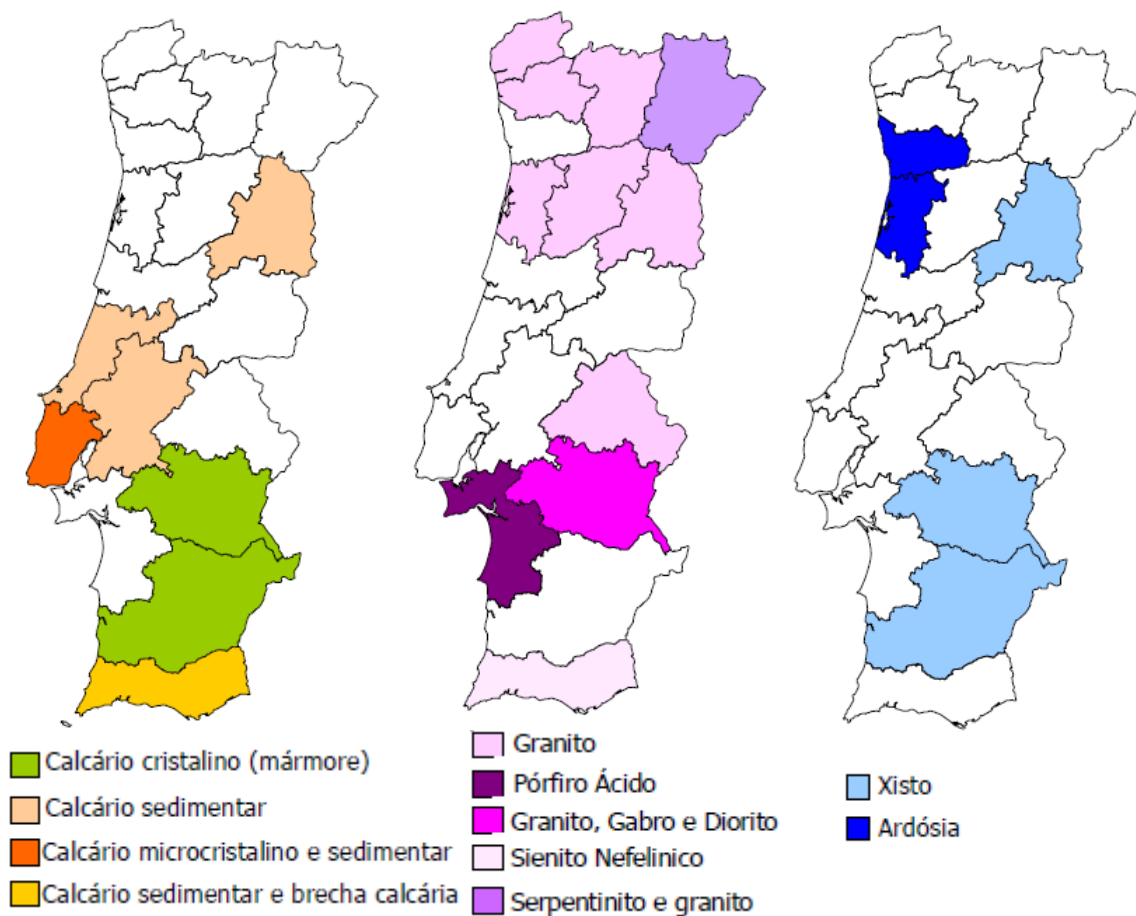


Figura 1 - Principais centros de produção de "mármore e outras rochas carbonatadas", "granito e outras rochas similares" e "ardósias e xistos ardosíferos" (adaptado de INETI, 2001).

Em suma:

- A extração do calcário que, como foi referido anteriormente, pode ser dividido em quatro tipos:
 - Calcário cristalino (mármore) é a pedra natural mais explorada e também a mais solicitada, estando a sua extração localizada, principalmente, no triângulo Borba - Estremoz – Vila Viçosa.
 - Calcário sedimentar é extraído principalmente nos distritos de Santarém e Leiria (Maciço Calcário Estremenho) aparecendo também no Algarve alguns tipos de calcário sedimentar.
 - Calcário microcristalino existe na região de Lisboa, Sintra, mas as reservas de pedra já são reduzidas.
 - Brechas calcárias encontram-se sobretudo nos distritos de Faro e Setúbal.

- A extração de granito ornamental situa-se no Norte, centro do país e, em menores proporções, no distrito de Portalegre. A extração de rochas similares tais como Serpentinito, pórfiro ácido e outros é reduzida, e as suas reservas também são pequenas.
- A extração de ardósia faz-se essencialmente no distrito do Porto e Aveiro, enquanto a exploração dos xistos ardosíferos é essencialmente realizada no distrito da Guarda.

Em relação à evolução dos principais indicadores do setor da Pedra podemos observar que em Portugal, o setor é fragmentado sendo composto por cerca de 2700 empresas. É constituído maioritariamente por empresas familiares e pequenas e médias empresas (PMEs). Ao longo dos últimos 12 anos, o setor demonstrou uma fantástica capacidade de orientação de mercado e conseguiu aumentar a representatividade da exportação de 15% para 44% do volume de negócios total (figura 2) (Frazão, 2016).

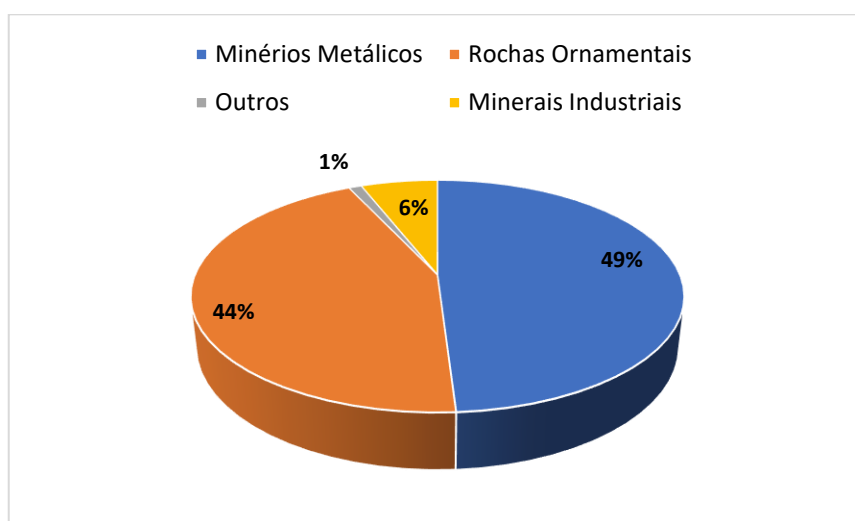


Figura 2 – Estrutura das saídas por subsectores em 2015 (adaptado de Direção Geral de Energia e Geologia, 2015)

De acordo com a Associação que representa os Industriais de Mármore, Granitos e Ramos Afins (ASSIMAGRA), o setor das Pedras Naturais Português apresenta uma tendência crescente de exportações para fora da Europa, pois no ano de 2015, Portugal exportou para 127 países, sendo que em 48% das exportações foram para fora da Europa (quadro 3) (Frazão, 2016).

Quadro 3 - Exportações da Pedra em Valor (€) por organizações internacionais (adaptado de Frazão, 2016).

Evolução do peso das exportações 2015 (em €) no Volume de Negócios		
	2015	%
Intra União Europeia	174 845 292 €	52%
Extra União Europeia	163 129 191 €	48%

**3 – Prospeção geológica e caracterização geomecânica
de maciços rochosos para exploração de rochas
ornamentais**

3. Prospeção geológica e caracterização geomecânica de maciços rochosos para exploração de rochas ornamentais

3.1. Introdução

A prospeção geológica tem como principal objetivo a definição de um modelo geoestrutural do maciço rochoso abaixo da superfície terrestre, com vista à identificação e caracterização das zonas com potencial ornamental, ou seja, tem o propósito de verificar se numa determinada zona podem ser extraídos materiais úteis, em quantidades adequadas e com custos aceitáveis (Smith, 1999).

A prospeção envolve um determinado número de fases em que o aumento do pormenor dos trabalhos é acompanhado pela redução da área em estudo, culminado na delimitação dos alvos mais favoráveis e decisão da oportunidade de exploração (Ramos & Moura, 2010).

Na figura 3 é possível verificar uma sequência metodológica dos trabalhos na prospeção geológica orientadas para estudos de maciços rochosos com potencial ornamental.

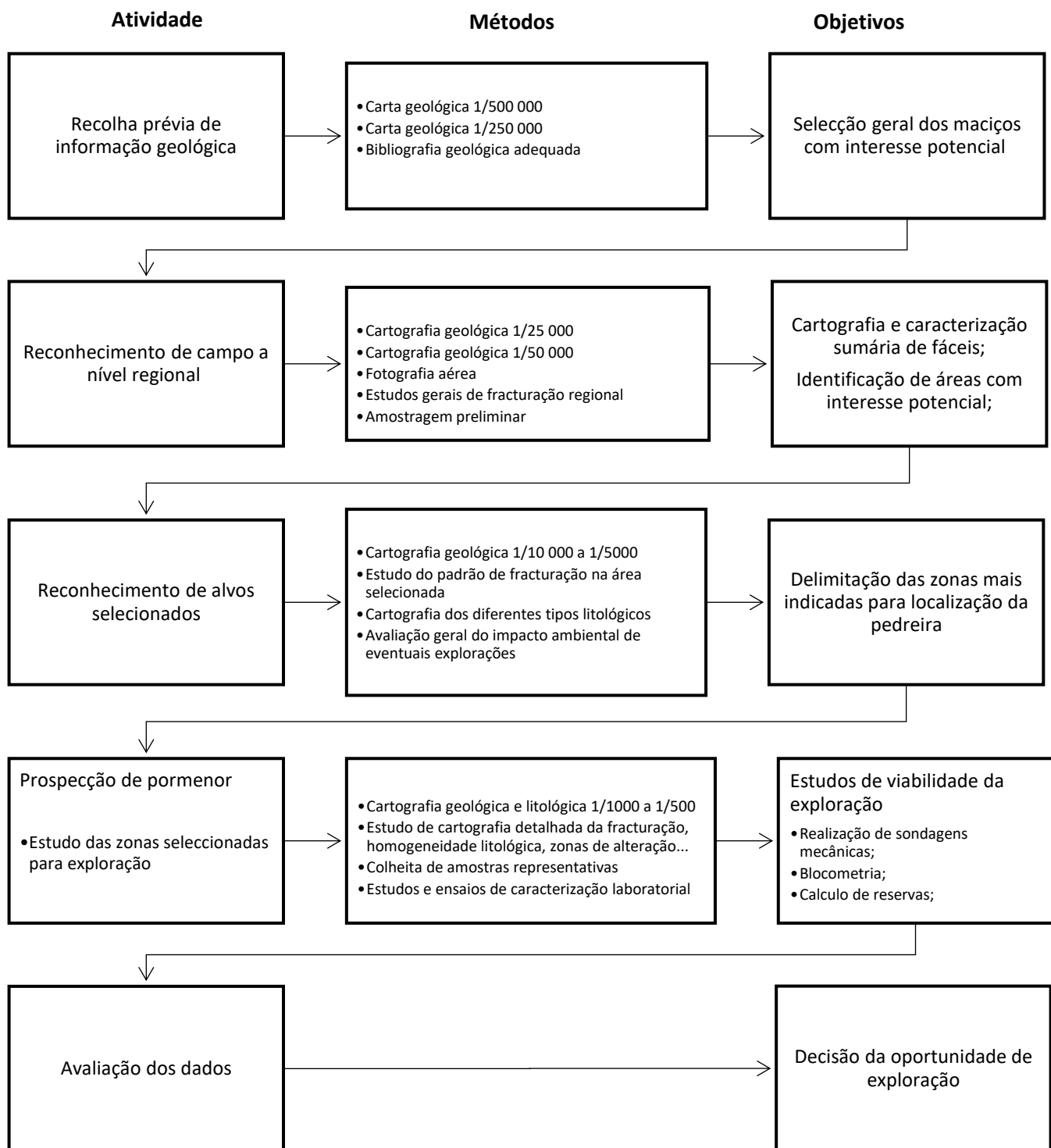


Figura 3 – Faseamento da prospeção de maciços (adaptado de Ramos & Moura, 2010).

3.1.1. Descrição de maciços rochosos

O maciço rochoso pode ser considerado como um meio sólido contínuo separado por superfícies de descontinuidades ou planos de fraqueza. O estudo de um maciço rochoso terá sempre que passar pela análise das propriedades da matriz rochosa e das descontinuidades (Vallejo, 2011).

O termo “matriz rochosa” refere-se à rocha intacta dentro da estrutura de descontinuidades, ou seja, este é o menor elemento do bloco de rocha não cortado por qualquer fratura (Singh & Goel, 2011).

Os “blocos” que constituem o maciço rochoso proporcionam-lhe um carácter descontínuo das propriedades e comportamento. A presença sistemática de descontinuidades com uma orientação particular, como os planos de estratificação, implica um comportamento anisotrópico, onde as propriedades mecânicas variam conforme a direção. Uma outra característica dos maciços rochosos é a sua heterogeneidade ou variabilidade das propriedades físicas e mecânicas em diferentes zonas do maciço (Vallejo, 2011).

3.1.2. Descrição das descontinuidades

O termo descontinuidade refere-se a qualquer plano de separação ou de fraqueza num maciço rochoso. Estes fenómenos podem ser agrupados em descontinuidades sistemáticas (quando aparecem em conjuntos), ou singulares (quando existe um único plano a atravessar o maciço rochoso). O último tipo (descontinuidades singulares) é usualmente mais contínuo e persistente que o primeiro (descontinuidades sistemáticas) podendo atingir vários quilómetros, como é por exemplo o caso de falhas.

As descontinuidades sistemáticas são classificadas estatisticamente pela sua orientação média e pelas suas características gerais, enquanto que as descontinuidades singulares requerem uma descrição e tratamento individual (Vallejo, 2011).

No quadro 4 encontram-se organizadas as descontinuidades por tipo e por ocorrência.

Quadro 4 - Tipos de descontinuidades (Vallejo, 2011).

Descontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	<ul style="list-style-type: none"> - Planos de estratificação - Planos de laminação - Planos de xistosidade - Diaclases e fissuras 	<ul style="list-style-type: none"> - Falhas - Filões - Discordâncias estratigráficas
Lineares	<ul style="list-style-type: none"> - Intersecção de descontinuidades planares - Lineações 	<ul style="list-style-type: none"> - Eixos de dobras

No quadro 5 pode-se verificar os tipos de descontinuidades mais comuns no estudo da caracterização dos maciços rochosos e uma breve descrição das mesmas.

Quadro 5 - Breve descrição dos tipos de descontinuidades mais comuns (adaptado de Vallejo, 2011)

Diaclases
<p>Descontinuidades mais usuais nos maciços rochosos, e correspondem a superfícies de fracturação ou rutura na rocha ao longo das quais tem havido pouco ou nenhum deslocamento. Podem ser:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Diaclases de origem tectónica: podem estar associadas a falhas ou dobramentos. Quando associadas a falhas apresentam-se paralelamente à superfície de falha e menos frequentes à medida que a distância ao plano de falha aumenta. E sempre que estão associadas a dobras, apresentam a disposição característica com o tipo de dobramento;➤ Diaclases de rochas ígneas: originadas por contração de um corpo ígneo durante ou após a sua instalação, apresentando uma disposição característica em três famílias ortogonais entre si;➤ 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.
Planos de estratificação
<p>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.</p>
Superfícies de laminação
<p>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 apresentam maior importância nas rochas de grão fino e caracterizam-se pelo seu espaçamento muito reduzido de poucos milímetros ou centímetros.</p>
Planos de xistosidade
<p>Planos de origem tectónica, ocorrem em rochas que sofreram uma considerável deformação. Estas descontinuidades dispõem-se perpendicularmente à direção de compressão máxima no tempo da sua formação. Quanto menor for a granularidade da rocha maior é o desenvolvimento destas descontinuidades sistemáticas, apresentando frequência elevada e espaçamento de ordem milimétrica.</p>
Falhas
<p>Descontinuidades singulares que correspondem a planos de rutura ou fracturação ao longo dos quais ocorreu deslocamento. A sua extensão pode variar entre alguns metros e centenas de quilómetros. Podem ocorrer associadas a zonas de fragilidade, as quais se denominam de “zona/caixa de falha” ou brechas, não sendo possível por vezes distinguir um plano de rutura.</p>

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 e medição dos parâmetros geológico-geotécnicos de cada família de discontinuidades são realizados, normalmente, no campo. Nesses parâmetros geológico-geotécnicos inclui-se orientação, espaçamento, continuidade ou persistência, rugosidade, resistência das paredes, abertura, enchimento e infiltrações (figura 4) (Vallejo, 2011).

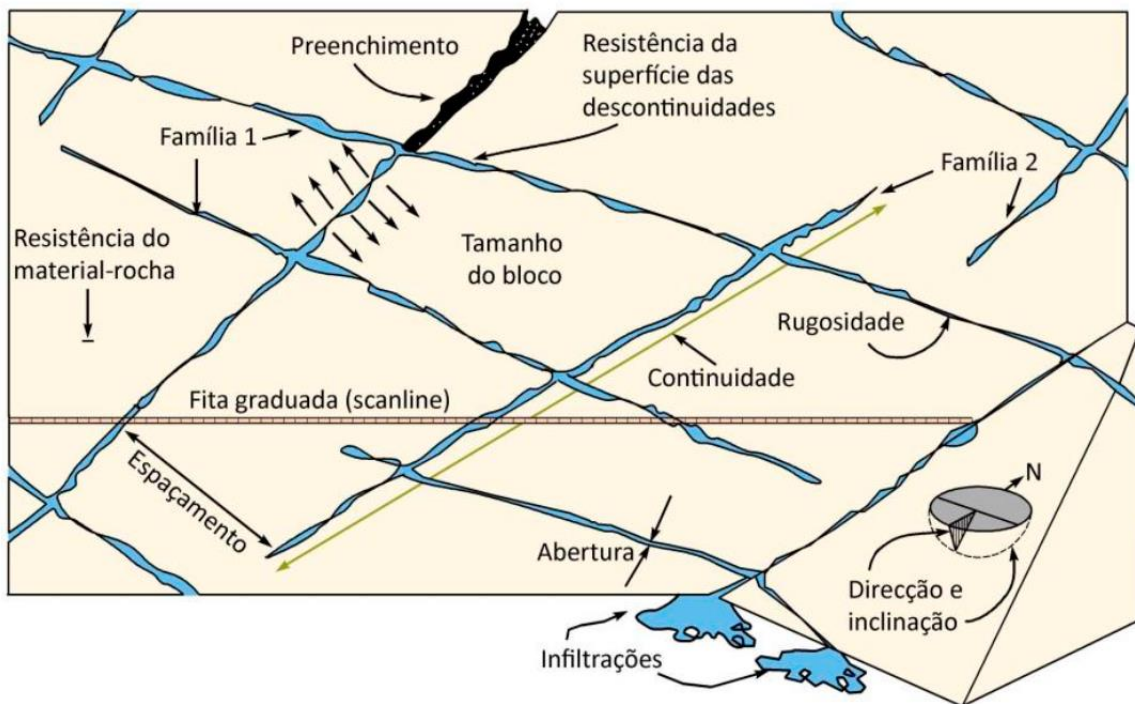


Figura 4 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de Vallejo, 2002)

A análise da fracturação deve ser utilizada com auxílio da metodologia proposta pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas - ISRM.


Nos quadros 6 a 13 são apresentados, em traços gerais, os parâmetros geológico-geotécnicos que devem ser analisados e registados para cada uma das discontinuidades.

Atitude geológica	
Descrição	<p>A orientação de uma descontinuidade é definida por dois parâmetros, a direção (definida como o ângulo entre uma reta horizontal do plano e o Norte magnético, variando entre 0° e 360°) e a inclinação (definida como a amplitude angular entre a reta de maior declive e o plano horizontal, variando entre 0° e 90°). A medição da orientação das descontinuidades é feita com uma bússola e a inclinação com um inclinómetro. Para definir corretamente cada família deve medir-se um número suficiente de atitudes, sendo este influenciado pela dimensão da área estudada, pela aleatoriedade das atitudes dos planos estudados e pelo detalhe da análise. Após a medição das descontinuidades, é efetuado um tratamento estatístico dos dados através de diagramas geológico-estruturais. A representação gráfica da orientação das diferentes famílias de descontinuidades pode-se realizar através de: Projeção estereográfica (representa os pólos ou planos com valores médios das diferentes famílias de descontinuidades), diagrama de rosetas (permite representar a direção das famílias de descontinuidades) e símbolos em mapas geológicos (indicam o valor médio da direção e o valor de inclinação para os diferentes tipos de descontinuidades).</p>
Ilustração	<p style="text-align: center;">Plano de descontinuidade</p> <p style="text-align: center;">Plano de descontinuidade</p> <p>B - Inclinação α - Quadrante da inclinação δ - Direção do plano</p> <p style="text-align: center;">Diagrama de rosetas</p> <p style="text-align: center;">Projeção estereográfica</p>



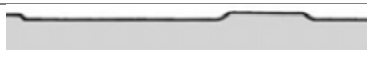






Quadro 7 - Espaçamento (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Espaçamento "fracture intercept"				
Descrição	Distância média medida entre descontinuidades sucessivas (independentemente da família) segundo a interseção com a linha de amostragem. Normalmente, este valor refere-se ao espaçamento médio dos valores medidos para as descontinuidades de uma mesma família. O espaçamento corresponde à distância perpendicular entre os planos de descontinuidade, logo condiciona o tamanho dos blocos de matriz rochosa, assumindo um elevado grau de importância no comportamento mecânico do maciço rochoso.			
Classificação	Intervalos (cm)	Símbolos		Designações
	> 200	F_1	F_{1-2}	Muito afastadas Afastadas
	60-200	F_2		Afastadas
	20-60	F_3	F_3	Mediamente afastadas afastadas
	6-20	F_4		Próximas
	< 6	F_5	F_{4-5}	Muito próximas Próximas
Ilustração				

Quadro 8 - Continuidade ou persistência (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Continuidade ou persistência		
Descrição	Extensão superficial da descontinuidade, medida segundo a atitude do seu plano, ou seja, corresponde ao desenvolvimento que a descontinuidade apresenta ao longo e para o interior do maciço. É um parâmetro de extrema importância mas de difícil quantificação a partir da observação de afloramento. A medição da continuidade é realizada com uma fita métrica.	
Classificação	Comprimento (m)	Continuidade
	<1	Muito pouco contínuas
	1-3	Baixa continuidade
	3-10	Continuidade média
	10-20	Continuidade elevada
	>20	Continuidade muito elevada
Ilustração		
	Forte	Moderada
		Fraca

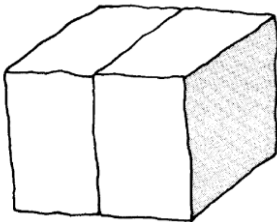
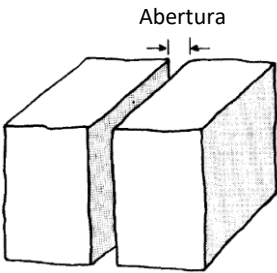
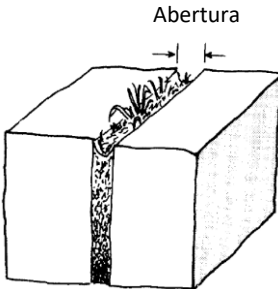
Quadro 9 - Rugosidade (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Rugosidade					
Descrição	<p>A rugosidade determina a resistência ao corte, assim, quanto maior for a rugosidade maior será a resistência. O termo rugosidade refere-se tanto à ondulação da superfície das discontinuidades como a irregularidade ou rugosidade a pequena escala. A descrição da rugosidade requer, normalmente, duas escalas de observação:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Escala métrica para avaliar a ondulação das discontinuidades, que podem ser: planas, onduladas ou denteadas; ➤ Escala milimétrica para avaliar a rugosidade ou a irregularidades das discontinuidades, estas podem ser: lisas, rugosas ou muito rugosas. <p>A rugosidade pode ser medida em campo através de vários métodos, a sua escolha depende da exatidão requerida e/ou da acessibilidade ao afloramento. O método mais usual e rápido é a comparação visual da discontinuidade com perfis padrão de rugosidade que caracterizam qualitativamente as paredes das discontinuidades.</p>				
Classificação / Ilustração	Forma do perfil	Classe	Descrição	Nomenclatura	Esquema
	Denteada	I	Muito rugosa	R ₄₋₅	
		II	Rugosa	R ₃	
		III	Lisa a algo rugosa	R ₁₋₂	
	Ondulada	IV	Muito rugosa	R ₄₋₅	
		V	Rugosa	R ₃	
		VI	Lisa a algo rugosa	R ₁₋₂	
	Plana	VII	Muito rugosa	R ₄₋₅	
		VIII	Rugosa	R ₃	
		IX	Lisa a algo rugosa	R ₁₋₂	

Quadro 10 – Resistência das superfícies das descontinuidades (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Resistência das superfícies das descontinuidades				
Descrição	<p>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. Nas descontinuidades que se apresentam sem preenchimento, com a superfície lisa, limpa e pouco alterada possuirão uma resistência idêntica à resistência da própria matriz rochosa, mas geralmente é menor devido à meteorização das paredes.</p> <p>É registrada através do esclerómetro portátil ou "Martelo de Schmidt", o qual é aplicado diretamente sobre a descontinuidade, ou a partir dos índices de campo, onde a resistência da parede rochosa estará compreendida entre os graus R₀ a R₆. 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.</p>			
	Classificação	Grau (R - Rock)	Descrição	Características
	R0	Rocha muito fraca	Marcada pela unha do polegar	0,25-10
	R1	Rocha fraca (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 fraca (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 com o 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 11 – Abertura (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Abertura			
Descrição	<p>A abertura é a distância perpendicular que separa as paredes da descontinuidade. Este parâmetro pode ser muito variável em diferentes zonas do mesmo maciço rochoso. A influência da abertura na resistência ao corte de uma descontinuidade é importante, mesmo em descontinuidades fechadas, pois modificam as tensões efetivas que atuam nas paredes das descontinuidades. Este parâmetro pode ser medido com uma régua graduada em milímetros.</p>		
Classificação	Características	Abertura (mm)	
	Fechada	Muito apertada <0,1	
		Apertada 0,1-0,25	
		Parcialmente aberta 0,25-0,5	
	Aberta	Aberta 0,5-2,5	
		Razoavelmente larga 2,5-10	
		Larga >10	
	Muito aberta	Muito larga 10-100	
		Extremamente larga 100-1000	
		Caverna >1000	
Ilustração	Fechada	Aberta	Preenchida
			

Quadro 12 – Preenchimento ou enchimento (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Preenchimento ou enchimento	
Descrição	<p>As discontinuidades podem aparecer preenchidas com um material de natureza distinta daquele de que constitui o maciço rochoso. Existem vários materiais que são encontrados nas aberturas das discontinuidades, sendo que cada material possui propriedades físicas e mecânicas muito diferentes. Sabendo que se trata de materiais brandos ou alterados, estes podem sofrer variações importantes nas suas propriedades resistentes a curto prazo, como tal, é necessário analisar e descrever todos os aspetos referentes as suas propriedades e ao seu estado.</p> <p>As principais características a ter em conta são: a natureza do material, espessura, resistência ao corte e a permeabilidade. A avaliação do enchimento é realizada por inspeção visual, a medição da espessura é medida diretamente com uma régua graduada em milímetros.</p>

Quadro 13 – Infiltração ou percolação (adaptado de: Vallejo, 2002; ISRM, 1978, 1981).

Percolação ou infiltração											
Descrição	A água existente no interior de um maciço rochoso resulta na maior parte das vezes do fluxo que circula nas discontinuidades (permeabilidade secundária). A identificação da presença de água realiza-se por inspeção visual e sensibilidade ao toque.										
Classificação	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Nomenclatura</th> <th style="text-align: center;">Designação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">S</td> <td style="text-align: center;">Seco</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H</td> <td style="text-align: center;">Húmido</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">G</td> <td style="text-align: center;">Gotejante</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F</td> <td style="text-align: center;">Fluxo</td> </tr> </tbody> </table>	Nomenclatura	Designação	S	Seco	H	Húmido	G	Gotejante	F	Fluxo
Nomenclatura	Designação										
S	Seco										
H	Húmido										
G	Gotejante										
F	Fluxo										

3.2. Prospecção de rochas ornamentais

Os principais fatores a ter em consideração nas diferentes etapas de avaliação de um jazigo de rochas ornamentais, desde a compilação inicial da informação disponível até ao projeto de exploração, encontram-se representados no quadro 14.

Quadro 14- Principais aspetos a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais (Carvalho, 2011).

Morfologia	➤ Limites
	➤ Espessura e variações de espessura
	➤ Variações de fácies
	➤ Carsificação
Estrutura	➤ Estratificação, clivagens, xistosidades, lineamentos, etc.
	➤ Falhas e fracturas
	➤ Dobramentos
Fracturação	➤ Famílias direccionais
	➤ Espaçamento entre famílias
	➤ Densidade de fracturação
Metamorfismo	➤ Tipo
	➤ Zonamento
	➤ Mineralogia
Características litológicas	➤ Composição mineralógica e química
	➤ Cor
	➤ Granulometria
	➤ Textura
	➤ Recristalizações, <i>Schlieren</i> , encraves, fósseis, etc.
	➤ Homogeneidade (cor, textura, fósseis, e outras discontinuidades)
	➤ Oxidações e outras alterações
	➤ Propriedades físico-mecânicas (absorção de água, peso específico, resistência à compressão e à flexão, etc.)
Explorabilidade	➤ Reservas
	➤ Acessibilidade (topografia, acessos, distância aos centros consumidores, zonas de defesa e proteção ambiental)
	➤ Espessura de camada de alteração e dos depósitos de cobertura
	➤ Impacto ambiental
	➤ Infraestruturas industriais
	➤ Atividade extrativa instalada
➤ Aceitação no mercado	

Num estudo da viabilidade de um maciço rochoso para a produção de rochas ornamentais, os fatores de carácter decisivo estão unicamente relacionados com a homogeneidade das unidades geológicas, com o seu dimensionamento e com o seu estado de fracturação (quadro 15). Todos os aspetos de índole geológica que constam no quadro 14, assumem um papel secundário quando abordados a nível individual porque não são fatores de exclusão (Carvalho, 2011). Não se pretende com isto dizer que não importa considerar tais critérios nas diferentes etapas de investigação, mas a sua importância verifica-se, fundamentalmente, ao nível da qualificação das rochas e, portanto, ao nível do seu maior ou menor valor comercial e âmbito de aplicação (Carvalho, 2007).

Quadro 15 - Critérios de decisão na prospeção de Rochas Ornamentais (Carvalho, 2011).

Dimensionamento	Homogeneidade	Estado de fracturação
➤ Espessura das unidades produtivas (bancada sedimentar, fácies metamórfica, etc.).	➤ Cor; ➤ Textura; ➤ Descontinuidades.	➤ Direções preferenciais; ➤ Frequência; ➤ Densidade; ➤ Intensidade;
➤ Volume total do depósito.		➤ Tipo e morfologia das fraturas.
➤ Disposição espacial.		

3.2.1. Estudos de superfície

Os estudos de superfície permitem obter uma caracterização mais detalhada das condições específicas do local em estudo, e englobam a cartografia geológica dos afloramentos, a amostragem e a interpretação dos sistemas de fracturação (determinação das principais famílias de fraturas, orientação de falhas e de filões, etc.), a geometria dos depósitos, aspetos de alteração, entre outros.

Na maioria dos casos, apenas com os estudos de superfície não é possível obter informações suficientes que permitam concluir sobre a viabilidade da jazida, mas permitem obter informações que possibilitam o planeamento da próxima etapa (locais onde realizar sondagens, atitude dos furos, comprimentos adequados, entre outros).

3.2.1.1. Litologia

A litologia é um dos principais aspetos a considerar nos estudos de superfície, uma vez que a qualidade ornamental da rocha, como foi referido anteriormente, depende de fatores estéticos tais como a cor, a textura e a granulometria.

O estudo da litologia é realizado por observação visual e por vezes com recurso a lupa. Com esse intuito, deve-se pesquisar os afloramentos do jazigo e realizar um estudo dos mesmos. Quando não existem afloramentos devem ser realizadas valas, poços ou trincheiras, que ponham em evidência a jazida ou então adotar métodos de prospeção em profundidade.

Em materiais mais resistentes, normalmente só é possível escavar um poço ou trincheira até a superfície superior da rocha, o que permite a realização de um exame visual do jazigo “in situ” e o seu registo fotográfico. Por outro lado, em materiais mais macios, muitas vezes é possível extrair blocos de pedra, o que vai permitir obter uma impressão muito melhor do aspeto do material quando quebrado ou cortado em peças para utilização na construção ou revestimento (Smith, 1999).

A distribuição vertical e lateral das características das rochas, como expressão da continuidade ou da descontinuidade geológica da massa rochosa, é um dos fatores decisivos na avaliação da viabilidade económica de um maciço de rocha ornamental, pois apresenta uma forte influência nos custos da extração e da transformação. Mesmo sabendo-se que as características do maciço rochoso se podem alterar continuamente ao longo da vida útil da pedreira, a continuidade litológica (juntamente com as características geométricas e o grau de fracturação), é uma das condições prévias para uma exploração de rocha ornamental economicamente bem-sucedida (Ramos & Moura, 2010). Toda a informação litológica deverá ser utilizada para elaborar a cartografia preliminar da área em estudo.

3.2.1.2. Estudo da fracturação

O estudo da fracturação revela elevada importância, pois esta condiciona o tamanho dos blocos. Este estudo tem o objetivo de verificar se o maciço em apreço tem aproveitamento para rocha ornamental, pelo que as características a que mais importa prestar atenção na análise das descontinuidades são: a direção e inclinação, o comprimento, a abertura e tipo de preenchimento, o espaçamento entre famílias, a terminação (continuidade) e o tipo litológico (e.g., Dinis da Gama, 1995; Carvalho, 2007; Chaminé, 2016).

Os métodos diretos utilizados com esse intuito dependem da dimensão da área a prospear e das suas características em termos das litologias presentes e da forma, tamanho e disposição dos afloramentos. Sendo que os diferentes métodos diferem entre si, basicamente, no modo de inventariação e no posterior tratamento e análise dos dados (Carvalho, 2007).

Os métodos de inventariação mais comuns são (Watkins *et al.*, 2015):

- ✓ Método de amostragem linear (“*Linear scanline method*”);
- ✓ “*Areal sampling*”;
- ✓ Técnica de amostragem de janela retangular (“*Rectangular window sampling*”);

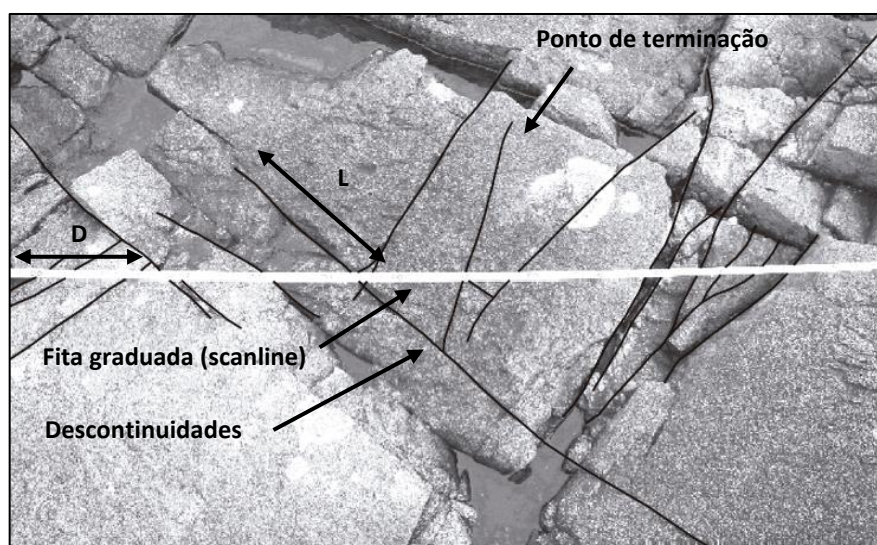
- ✓ Método de amostragem circular (“*Circular scanline method*”).

Nos quadros 16 a 19, pode-se verificar uma caracterização geral dos métodos de amostragem referidos anteriormente:

Quadro 16 - Método de amostragem linear “*Linear scanline method*” (adaptado de Dnis da Gama, 1995; Martins et al., 2006; Watkins et al., 2015; Chaminé et al., 2013, 2015; Chaminé, 2016).

Método de amostragem linear “<i>Linear scanline method</i>”	
Descrição	O método de amostragem linear “ <i>Linear scanline method</i> ” consiste na colocação de uma fita graduada nas faces expostas do maciço e na medição e registo de algumas características (geométricas e geomecânicas) de cada descontinuidade que a fita intersecta.
Grandezas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ D – Distância à origem da fita graduada; ➤ L – Semi-comprimento, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face exposta da rocha (apenas para um dos lados da fita graduada); ➤ T – Tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R – na rocha, D – noutra descontinuidade; O – obscura); ➤ Atitude da descontinuidade (direção e inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade; ➤ C – Curvatura, numa escala de 1 a 5, em que 1 representa superfícies planas e 5 superfícies muito curvas; ➤ R – Rugosidade, numa escala de 1 a 5, em que 1 representa superfícies lisas e 5 superfícies muito rugosas (podendo ser denteadas, onduladas ou planas). ➤ Além das grandezas referidas anteriormente podem ainda ser registadas outras características tais como, abertura, tipo de preenchimento, presença de água entre outras.
Levantamento de descontinuidades através da técnica de amostragem linear “ <i>Linear scanline method</i> ” (adaptado de Watkins et al., 2015).	

Ilustração



Quadro 17 - "Areal sampling" (adaptado de Watkins et al., 2015).

Técnica de amostragem "Areal sampling"

Descrição

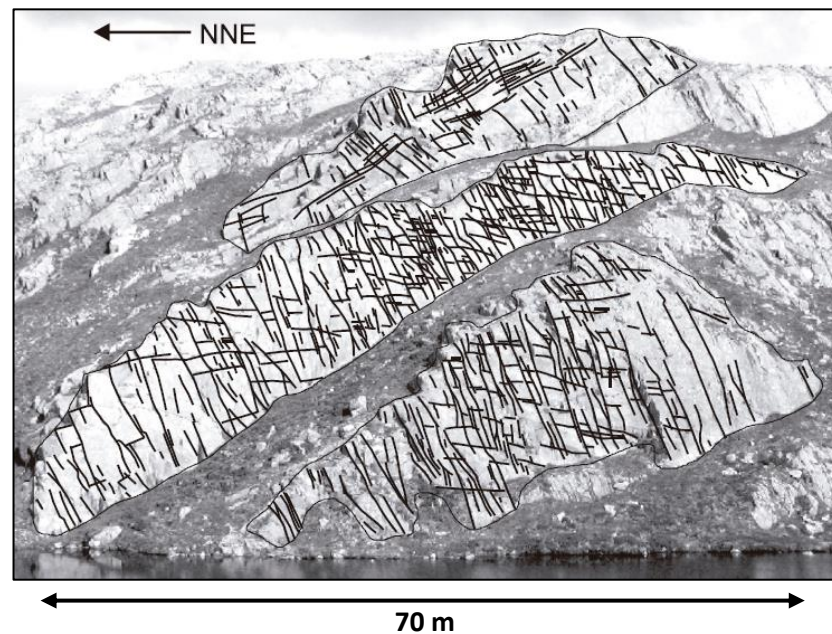
A técnica de amostragem "Areal sampling" consiste na recolha e registo de algumas características de descontinuidades em 2D. Pode ser realizada remotamente através da análise de fotografias aéreas ou a uma escala menor, através de fotografias tiradas no campo onde as descontinuidades podem ser mapeadas em afloramentos;

Através deste método é possível determinar o azimute, a densidade, intensidade e o coeficiente de distribuição espacial das descontinuidades, o que permite verificar se estas estão uniformemente distribuídas ou agrupadas.

Este método é rápido para a recolha de grandes quantidades de dados, porém os resultados são altamente dependentes da resolução das imagens fonte, o que causa uma deficiência nos dados, pois as fraturas menores estão sub-representadas e o controle de qualidade entre fotografias e afloramentos é necessário.

Levantamento descontinuidade através da técnica de amostragem "Areal sampling" (adaptado de Watkins et al., 2015)

Ilustração



Quadro 18 – Técnica de amostragem de janela retangular “Rectangular window sampling” (adaptado de Watkins et al., 2015)

Técnica de amostragem de janela retangular “Rectangular window sampling”

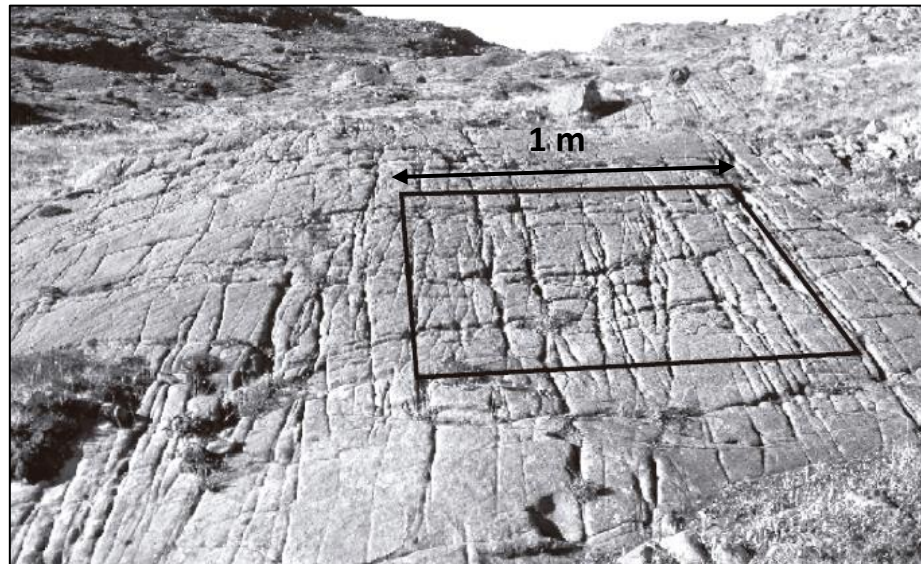
Descrição

O método de amostragem de janela retangular “Rectangular window sampling” consiste na colocação de fitas graduadas no afloramento, com a configuração de um polígono de quatro lados, e na medição e registo de algumas características (geométricas e geomecânicas) das descontinuidades dentro do mesmo.

Este método de amostragem pode ser muito moroso se muitas características forem medidas para cada fratura dentro da área da janela.

Levantamento de descontinuidades através da técnica de amostragem de janela retangular “Rectangular window sampling” (adaptado de Watkins et al., 2015).

Ilustração



Método de amostragem circular "Circular scanline method"

O método de amostragem de circular "Circular scanline method" consiste na colocação de fitas graduadas no afloramento, com a configuração de um círculo, e em vez de se registrar diretamente de algumas características das descontinuidades, o método envolve a contagem do número de interseções entre as fraturas e a linha circular colocada no afloramento, assim como, a contagem do número de terminações de fraturas dentro do círculo. Estes valores são usados como entradas numa série de equações, a partir das quais podem ser calculadas estimativas da densidade de fratura, intensidade e comprimento médio do traço das descontinuidades.

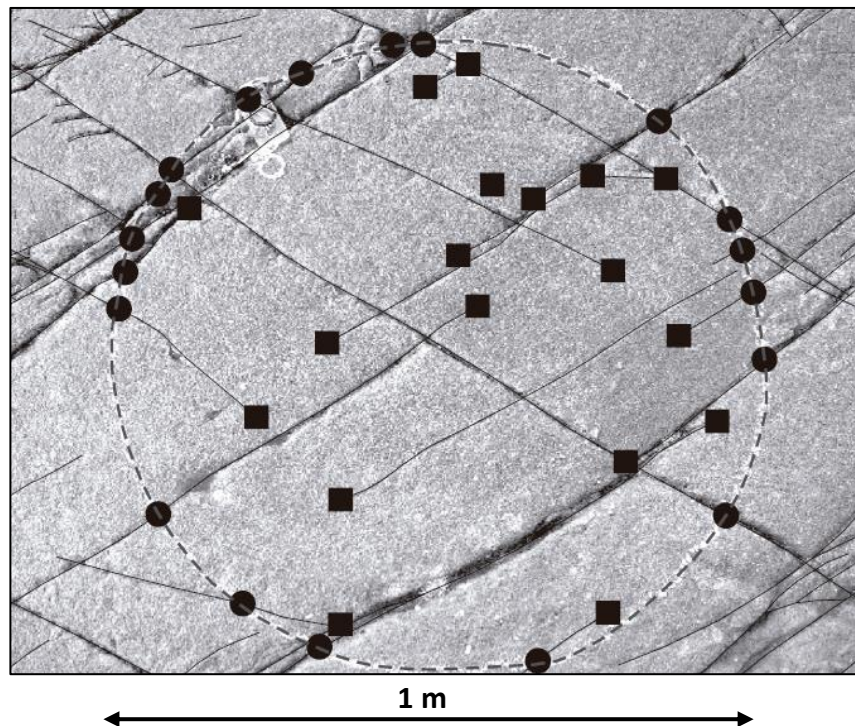
Descrição

Este método não é afetado pela censura do comprimento das descontinuidades, ao contrário dos restantes métodos.

Um círculo de amostragem deve ser suficientemente grande para conter um mínimo de 30 pontos finais (o que significa que para afloramentos onde apenas alguns pontos finais de descontinuidades estão presentes numa determinada área, os círculos de amostragem precisarão de um maior diâmetro, portanto, a amostragem seria restrita a afloramentos maiores).

Levantamento de descontinuidades pelo método de amostragem circular "Circular scanline method", onde se pode verificar o número de interseções entre as descontinuidades e a linha circular colocada no afloramento, assim como, a contagem do número de terminações de descontinuidades dentro do círculo (adaptado de Watkins et al., 2015).

Ilustração



Uma vez na posse das informações necessárias relativamente às características físicas e geométricas das fraturas, recolhidas durante o levantamento de campo, é possível avaliar, preliminarmente, a blocometria disponível para exploração.

Os blocos definidos pela compartimentação do maciço apresentam, segundo Guerreiro (2000), duas características importantes sob o ponto de vista da exploração, nomeadamente:

- **Dimensão** – é função do espaçamento, do número de fraturas e da sua continuidade;
- **Forma** – é função do número de famílias de fraturas e da sua orientação.

A dimensão e a forma dos blocos que constituem o maciço rochoso 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. A descrição do tamanho do bloco pode ser realizada das seguintes formas (Vallejo, 2002):

- **Índice Dimensional** – I_b (“Block Size Index”; ISRM, 1978)

O índice dimensional (I_b) representa as dimensões médias dos blocos-tipo estimados no afloramento. Este índice deixa de ter significado para mais de quatro famílias de descontinuidades. E pode ser definido, no caso de uma rocha com planos das descontinuidades perpendiculares entre si, pela equação 1:

Equação 1 - Índice Dimensional (“Block Size Index”; ISRM, 1978) $I_b = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$

Em que, e_1 , e_2 e e_3 correspondem aos valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades.

- **Índice Volumétrico** - J_v (“Volumetric Joint Count”; ISRM, 1978, 1981)

O índice volumétrico (J_v) representa o número total de descontinuidades que intercetam uma unidade de volume (1m^3) do maciço rochoso. Existindo dificuldade em analisar tridimensionalmente um afloramento, pode-se determinar este índice através da contagem de descontinuidades de cada família que intersectam uma longitude definida, medindo perpendicularmente a direção de cada uma das famílias (é necessário aplicar um fator de

correção em relação à direção aparente) (Vallejo, 2002). Este índice pode ser calculado a partir da equação 2:

Equação 2 - Índice Volumétrico J_v (descontinuidades/m³) = $\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \frac{1}{e_3} + \frac{1}{e_n} + \dots + \frac{Nr}{5}$
 (“Volumetric Joint Count”; ISRM, 1978, 1981)

O comprimento a medir depende do espaçamento de cada família, sendo que o valor varia entre 5 e 10 metros. O índice volumétrico (J_v) também pode ser conseguido, de uma forma mais rápida, mas menos exata, através da contagem do número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento, correspondendo este valor a uma frequência (Vallejo, 2002).

Os resultados do índice volumétrico podem ser correlacionáveis com o tamanho dos blocos (quadro 20).

Quadro 20 - Classificação do tamanho do bloco a partir do valor do índice volumétrico (adaptado de Vallejo, 2002; Sousa, 2012).

Descrição	Índice volumétrico (J_v) - descontinuidades/m ³	Volume (m ³)
Blocos muito grandes	<1	>25
Blocos grandes	1-3	1 - 25
Blocos médios	3-10	0,025 - 1
Blocos pequenos	10-30	0,001 – 0,025
Blocos muito pequenos	>30	<0,001

No quadro 21 apresenta-se uma classificação do maciço rochoso em função da forma, tamanho do bloco e do grau de fracturação.

Quadro 21 - Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos (adaptado de Vallejo, 2002).

Classe	Tipo	Descrição
I	Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo.
II	Cúbico	Blocos aproximadamente equidistantes.
III	Tabular	Blocos com uma dimensão (segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas.
IV	Colunar	Blocos com uma dimensão (segunda 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.

Tamanho indicativo do bloco em função do J_v (quadro 22):

Quadro 22 - Tamanho indicativo do bloco em função do valor do J_v (Sousa, 2012).

Índice volumétrico (J_v)	Tamanho do bloco	Observações
<1,7	Grande	Bloco comercial
1,7	Ótimo	
2,2	Aceitável	Bloco não comercial
>2,2	Não aceitável	

3.2.2. Prospeção em profundidade

O estudo do maciço rochoso em profundidade pode ser realizado com recurso a vários métodos, nomeadamente através da prospeção geofísica ou da execução de sondagens mecânicas com recolha de testemunhos.

3.2.2.1. Prospeção geofísica

Os métodos geofísicos na prospeção de rochas ornamentais possuem campo de aplicação em todas as fases, podendo ser utilizados numa fase inicial em regiões com escassos afloramentos em que outros métodos são de difícil aplicação. No entanto, a maior relevância da aplicação destes métodos verifica-se ao nível das fases de investigação mais detalhada, como complemento aos métodos diretos de avaliação da fracturação.

Estes métodos permitem a avaliação da espessura das camadas de alteração ou de depósitos de cobertura sobre uma dada unidade geológica, assim como fornecem uma imagem do sistema de fracturação que afeta essa unidade (Carvalho, 2007).

Segundo Carvalho (2017), os principais métodos geofísicos utilizados na prospeção de rochas ornamentais são:

- Sísmicos (sísmica de refração);
- Elétricos;
- Eletromagnéticos.

3.2.2.1.1. Sísmica de refração

Este método consiste no estudo da propagação de ondas sísmicas no terreno. Baseia-se no princípio que, através do conhecimento da localização da fonte de um evento sísmico, e com o tempo necessário para que a onda sísmica viaje até um detetor, obtém-se informações sobre a natureza dos estratos intervenientes.

A velocidade de propagação destas ondas, varia em função das características do material (tipo, estrutura, composição, densidade, da presença de água e de vazios, entre outros).

Para a possível realização destes estudos é necessária uma fonte de energia (martelo, carga explosiva, entre outros.), equipamentos detetores (geofones) e de um equipamento de gravação de dados (sismógrafo).

Este método permite a análise das espessuras das camadas e de algumas propriedades do terreno, tais como o grau de fracturação e de alteração, o módulo de elasticidade e o coeficiente de *Poisson* dinâmico (Smith, 1999).

3.2.2.1.2. Métodos elétricos

Os métodos elétricos possuem uma enorme gama disponível, podendo ser sustentados em correntes artificiais (induzidas) ou naturais. A sua seleção passará pelo conhecimento das propriedades físicas das rochas, tais como a resistividade e a condutividade.

Os métodos elétricos geralmente utilizados na prospeção de rochas ornamentais são os baseados em correntes artificiais, que de uma forma geral, consistem na sujeição do terreno a uma determinada corrente elétrica, registando a distribuição da diferença de potencial na superfície do mesmo, podendo ser realizados em profundidade ou lateralmente. Através destes métodos é possível estudar fenómenos como cavidades, contrastes, profundidades de formações, entre outros (Smith, 1999).

3.2.2.1.3. Métodos Eletromagnéticos

Os métodos eletromagnéticos estudam a resposta do terreno quando, através dele, se propagam campos eletromagnéticos. Os métodos eletromagnéticos mais utilizados na prospeção de rochas ornamentais são o geo-radar ou GPR (“Ground Penetration Radar”) e o VLF-EM/RF-EM (Radio Frequency – Electromagnetics).

O método VLF-EM/RF-EM (Radio Frequency – Electromagnetics) baseia-se na propagação, pelas rochas, de ondas rádio de baixa a muito baixa frequência que são emitidas por antenas na banda dos 12 a 300 kHz. A propagação dessas ondas de rádio origina nas rochas um campo

eletromagnético secundário que depende da natureza das rochas e que pode ser detetado à superfície, permitindo a obtenção de informações quanto à natureza do meio e suas heterogeneidades: falhas com preenchimento argiloso, paleocanais, carsificação, variações laterais de fácies, etc. Trata-se dum método com uma profundidade de investigação relativamente baixa, mas de utilização rápida e eficaz em que se utiliza um aparelho protótipo de registo contínuo que pode ser montado em veículos automóveis, permitindo a realização de perfis quilométricos a baixo custo. A aplicação do método na prospeção de rochas ornamentais está condicionada à deteção de estruturas maiores e à delimitação de áreas mais ou menos favoráveis em função das heterogeneidades do meio (Carvalho, 2007).

O geo-radar ou GPR (*“Ground Penetration Radar”*) é normalmente utilizado para prospeção subterrânea e baseia-se na propagação de ondas electromagnéticas na rocha, sendo a sua velocidade função da qualidade da mesma, podendo o decréscimo da velocidade estar relacionado com a presença de fraturas, microfissuras e/ou de porosidades. O percurso da onda (reflexão ou refração) indicia a presença e posição de planos de fratura ou de cavidades cársticas.

O seu princípio de funcionamento consiste na emissão de um impulso eletromagnético de alta frequência (10 MHz - 2,5 GHz) pelo geo-radar, que se propaga pelo maciço rochoso até encontrar uma fratura, que está geralmente preenchida com alguma substância com características dieléctricas diferentes, originando a reflexão de uma parte da energia para a fonte, o que vai revelar essa ocorrência. Apesar de ter uma baixa capacidade de penetração, a aplicação de GPR (*“Ground Penetration Radar”*) à prospeção de rochas ornamentais deve-se ao seu desempenho de resolução para a deteção de características de pequena escala, tais como fraturas e planos de estratificação (Carvalho *et al.*, 2008).

3.2.2.2. Prospeção com sondagens

A realização de sondagens assume-se como um método extremamente importante para o estudo geológico de jazigos de rocha ornamental, uma vez que proporciona uma informação direta do material existente em profundidade, permitindo a definição do volume de reservas, a obtenção de parâmetros estruturais, de variações litológicas e de padrões estéticos em profundidade.

Apesar disso, deve-se ter em conta que o testemunho de um único furo não é, obviamente, mais representativo dos estratos penetrados do que uma amostra extraída no afloramento.

Para uma boa caracterização do maciço, devem ser previamente definidas, com base complexidade geológica do maciço e do nível de confiança requerido, as características técnicas do plano de sondagens (Guerreiro, 2000), nomeadamente:

- Número de sondagens;
- Localização de cada sondagem;
- Inclinação;
- Direção;
- Diâmetro do furo e do testemunho;
- Comprimento previsto de cada sondagem.

3.2.2.2.1. Equipamentos

O tipo de sondagens geralmente utilizadas na prospeção de rochas ornamentais são as de rotação com recuperação contínua de amostra. Os equipamentos utilizados (sondas) são definidos em função das características e objetivos da prospeção (profundidade que se pretende atingir, da natureza dos materiais a perfurar, entre outros), a ferramenta de furação consiste numa coroa (figura 5), que pode ser constituída por metais duros (por exemplo tungsténio) ou por diamantes.



Figura 5 - Aspeto de uma coroa diamantada, sendo visível no seu interior o testemunho de rocha obtido (Correia, 2011).

As coroas localizam-se na extremidade da coluna de varas na qual está também instalado o tubo amostrador que recebe a amostra à medida que o furo avança em profundidade. O método de recolha do testemunho do fundo do furo pode ser de dois tipos:

- **Convencional** – a recolha do testemunho é realizada após cada manobra, levantando toda a coluna de varas até à superfície. Este método é bastante demorado, sobretudo no caso de sondagens a grandes profundidades (figura 6 a).
- **“Wireline”** - consiste na recuperação do tubo amostrador através do vazio existente no interior das varas, por introdução de uma “pinça” (“overshot”) suspensa por um cabo de aço e acionada por um guincho, capaz de trazer até à superfície, o tubo amostrador com o testemunho. Este método permite poupar significativamente o tempo de recolha dos testemunhos, comparativamente ao método convencional (figura 6 b).



Figura 6 - a) Coroa diamantada e tubo amostrador convencional, sendo visíveis em segundo plano as varas rosçadas que são acopladas à medida que a furação progride. b) Coroa diamantada e tubo amostrador “wireline”, sendo visível à direita das varas o dispositivo utilizado para efetuar o engate e a retirada do tubo amostrador interior (adaptado de Correia, 2011).

Uma das operações importantes, para que muita da informação contida no testemunho de sondagem não se perca, consiste na orientação correta do testemunho quando este chega à superfície. Os métodos mais simples para atingir este objectivo baseiam-se no conhecimento da geologia local (estratificação, xistosidade, principais famílias de fracturas, etc.), a qual fornece dados para o correcto posicionamento do testemunho em relação ao Norte, após o mesmo ter girado no interior do furo. Nas situações em que a geologia se apresenta complexa e em que existe perda de material (descontinuidade no testemunho de sondagem), há necessidade de recorrer a métodos mais expeditos e fiáveis, os quais podem ser bastante mais dispendiosos e necessitam de equipamentos mais complexos. Um exemplo desses métodos consiste na observação das paredes do furo através de câmaras (Guerreiro, 2000).

3.2.2.2. Estudo dos testemunhos

As sondagens proporcionam informação direta do material existente em profundidade, podendo-se determinar o número de fraturas de uma massa rochosa, o seu espaçamento, e com a devida orientação dos testemunhos é possível obter a respetiva direção e inclinação das descontinuidades, servindo assim de base para modelos geológico-estruturais (Ramos & Moura, 2010).

As principais metodologias para interpretação deste género de dados são:

➤ **Recuperação**

A percentagem de recuperação de testemunho é dada pelo quociente entre o comprimento de testemunho recuperado (L_c) e o comprimento total do furo de sondagem (L_T) vezes cem (equação 3).

Equação 3 - Percentagem de recuperação (%)
$$\frac{L_c}{L_T} \times 100$$

➤ **RQD – “Rock Quality Designation”**

Proposto por Deere *et al.* (1967), permite avaliar a intensidade de fracturação e classificar a qualidade dos maciços rochosos em termos geotécnicos (Hoek, 2015). A obtenção deste parâmetro realiza-se através da expressão 4:

Equação 4 – RQD (“Rock Quality Designation”; Deere *et al.*, 1967)
$$RQD (\%) = \frac{\sum L \geq 10cm}{L_T} \times 100$$

Onde, $\sum L \geq 10cm$ corresponde ao somatório dos testemunhos não alterados com comprimento igual ou superior a 10 cm e L_T ao comprimento total de sondagem.

No quadro 23 encontra-se representada uma classificação geomecânica para os maciços rochosos considerando o valor do RQD.

Quadro 23 - Classificação dos maciços rochosos em termos geomecânicos em função do RQD (adaptado de Deere & Deere, 1988).

RQD (%)	Qualidade do Maciço rochoso
0 – 25	Muito mau
25 – 50	Mau
50 - 75	Razoável
75 - 90	Bom
90 - 100	Excelente

Na figura 7 encontra-se representado o procedimento de medição e exemplo do cálculo do RQD.

$$RQD (\%) = \frac{35 - 3 + 20}{122} \times 100 \cong 48\%$$

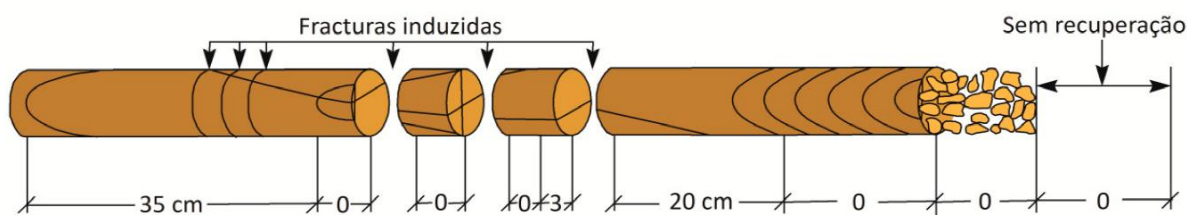


Figura 7 - Procedimento de medição e exemplo do cálculo do RQD (adaptado de Vallejo, 2002).

O RQD também pode ser determinado através de correlações empíricas como a de Palmstrom (1975), através da equação 5:

Equação 5 – RQD (“Rock Quality Designation”; Palmstrom, 1975) $RQD (\%) = 115 - 3,3 I_V$ ($RQD = 100\%$ para $I_V = 4,5$)

Aplicável em superfícies onde estejam expostas as descontinuidades do maciço, como por exemplo em afloramentos, estima o RQD em função do número de descontinuidades por unidade de volume (Hoek, 2015).

O índice RQD, com algumas restrições, também pode ser usado para avaliação do tamanho dos blocos. Contudo, a sua aplicação em maciços de rocha ornamental é insatisfatória, sendo um índice preferencialmente aplicável a trabalhos de engenharia e de geotecnia como fundações, estabilidade de maciços, entre outros (Ramos & Moura, 2010).

3.3. Caracterização geomecânica e tecnológica

Uma caracterização geomecânica e tecnológica é fundamental para conhecer as propriedades físicas e mecânicas de uma rocha ornamental e caracterizar o respetivo modelo geomecânico, com esse objetivo existem diversos ensaios de laboratório e “*in situ*”.

A caracterização geomecânica e tecnológica pode parecer excessivamente dispendiosa, mas acaba por revelar-se economicamente vantajosa uma vez que, se realizada de forma adequada, possibilita a definição das aplicações das rochas ornamentais e a sua utilização na máxima eficiência o que obviamente as valoriza.

3.3.1. Ensaios “*in situ*”

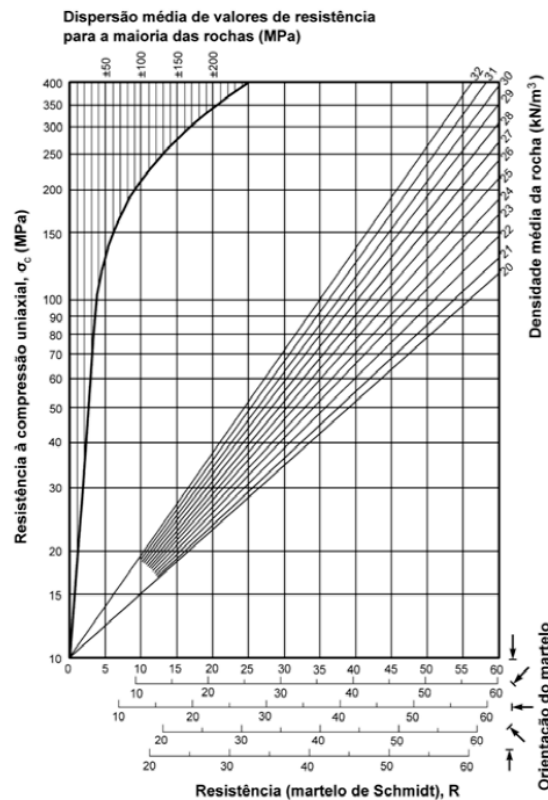
Existem diversos ensaios que podem ser realizados “*in situ*” e que fornecem resultados importantes sobre as propriedades geomecânicas do maciço rochoso. Nos quadros 24 e 25 encontra-se uma breve caracterização dos mesmos.

Quadro 24 - Esclerómetro portátil “Martelo de Schmidt” (adaptado de ISRM, 1981, 2015; Vallejo, 2002; proced, 2017).

Esclerómetro portátil “Martelo de Schmidt”

Generalidades

O esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt” permite estimar a resistência à compressão simples de maciços rochosos, podendo ser utilizado na matriz rochosa e nas discontinuidades. O ensaio consiste na medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. Em função da dureza da rocha, a massa de aço sofre um maior ou menor ressalto (“Rebound”, R), e obtém-se um o valor, o qual é registado no aparelho, numa escala (adimensional) de 10 a 100. Por norma, registam-se 10 percussões com o martelo (ISRM, 1981) e eliminam-se os cinco valores mais baixos, sendo que o valor a considerar é a média dos cinco valores mais altos. É importante que a superfície em estudo seja lisa, sem fissuras e livre de materiais resultantes da meteorização da rocha, a posição do aparelho em relação a esta (horizontal, vertical e oblíqua) deve ser anotada pois para obter a resistência à compressão simples deve-se recorrer ao ábaco de Miller de conversão que contém como parâmetros de entrada a dureza medida com o martelo de Schmidt, a densidade média da rocha e a orientação do martelo.



Equipamento

Consiste num cilindro que no seu interior possui uma mola de aço ligada a um êmbolo, o qual está conectado a um ponteiro que desliza longitudinalmente ao longo de uma escala situada no meio do aparelho.

É um equipamento de reduzidas dimensões, simples e de fácil aplicabilidade, sendo útil em locais de difícil acesso. No entanto permite uma análise essencialmente qualitativa pois os resultados são relativamente imprecisos, uma vez que apresentam uma grande margem de dispersão.

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 L tem uma energia de $0,735 \text{ N/mm}^2$ e corresponde ao modelo geralmente utilizado no estudo de maciços rochosos.



Quadro 25 - Ensaio de carga pontual ("Point Load Test", PLT) (adaptado de Vallejo, 2002; ISRM, 1981, 2007, 2015).

Ensaio de carga pontual ("Point Load Test", PLT)

Generalidades

O ensaio de carga pontual é um ensaio simples de determinação da resistência à compressão de rochas intactas ou alteradas. Através deste ensaio, é possível determinar dois índices: o índice de resistência da carga pontual ($Is_{(50)}$) e o índice de anisotropia ($Ia_{(50)}$). O ensaio consiste em levar à rotura as amostras de rocha (cuja forma pode ser regular ou irregular) através de uma carga concentrada entre duas ponteiros cónicas, podendo a direção da aplicação da carga ser axial ou diametral.

Equipamento

Este ensaio pode ser realizado no campo ou em laboratório, dado que o equipamento é, geralmente portátil. O equipamento é constituído por um sistema de carga sem interrupção, um sistema de medição da força P e um sistema de medição da distância D , entre duas ponteiros cónicas através das quais é aplicada a carga. Os sistemas de medição do equipamento devem possuir uma precisão de $\pm 2\%$, e permitir uma leitura direta da escala da distância D , independentemente da amostra ensaiada. O sistema de carga deve ser capaz de romper os provetes das amostras de rocha com resistência semelhantes a 50KN e permitir o ensaio em provetes de tamanho variável que podem ir desde os 15 aos 100 mm.

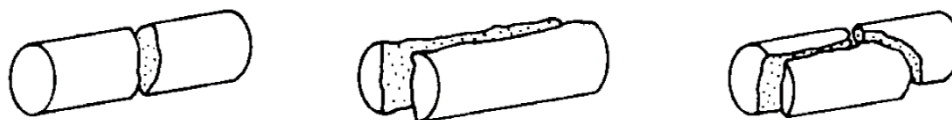
O equipamento deve ser calibrado periodicamente por um certificado independente da carga celular e por um conjunto de blocos de deslocamento, P e D e leituras ao longo de toda a gama de cargas e deslocamentos pertinentes nos ensaios.

Procedimento do ensaio

Este ensaio é realizado com provetes cilíndricos cuja relação comprimento/diâmetro é > 1 . O provete deve ser colocado na máquina de ensaio de modo a que a distância entre as ponteiros e a extremidade livre mais próxima seja pelo menos 0,5 vezes o diâmetro do provete. Por fim, anota-se o valor da distância entre os ponteiros D e o valor da carga de rotura P . Todos os provetes cuja superfície de rotura não passe pelos dois pontos de contacto, devem ser rejeitados. O ensaio deve ser realizado em, pelo menos, 10 provetes por amostra em rochas homogéneas e mais de 10 ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogéneas.

Ensaio diametral

Ensaio diametral válido



Ensaio axial

Este ensaio é realizado com provetes cilíndricos cuja relação comprimento/diâmetro varia entre 0,3 e 1,0. O provete é colocado na máquina de ensaio, de forma que o eixo do ensaio coincida com o eixo perpendicular às faces planas da amostra. No caso de amostras isotrópicas, o eixo de ensaio coincide com o eixo do cilindro, e no caso de amostras anisotrópicas é perpendicular aos planos de descontinuidade. Deve-se anotar o valor da distância entre ponteiras, D , a largura do provete, W perpendicular à direção de carga e o valor da carga P . Consideram-se inválidas as amostras que obtiveram superfícies de rotura que passam por um só ponto. O ensaio deve ser realizado em, pelo menos, 10 provetes por amostra em rochas homogêneas e mais de 10 ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas.

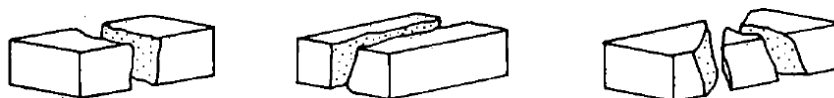
Ensaio axial válido



Ensaio em blocos e em fragmentos irregulares

São utilizados nestes ensaios provetes com comprimento entre 50 ± 35 mm e largura entre 0,3 e 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 deve ser colocado devidamente centrado e anotam-se a distância entre ponteiras, D , a menor dimensão do provete, W , perpendicular ao eixo do ensaio e a carga de rotura, P . Todos os provetes cuja superfície de rotura não passe pelos dois pontos de contacto, devem ser rejeitados. O ensaio deve ser realizado em pelo menos 10 provetes por amostra em rochas homogêneas e mais de 10 ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas.

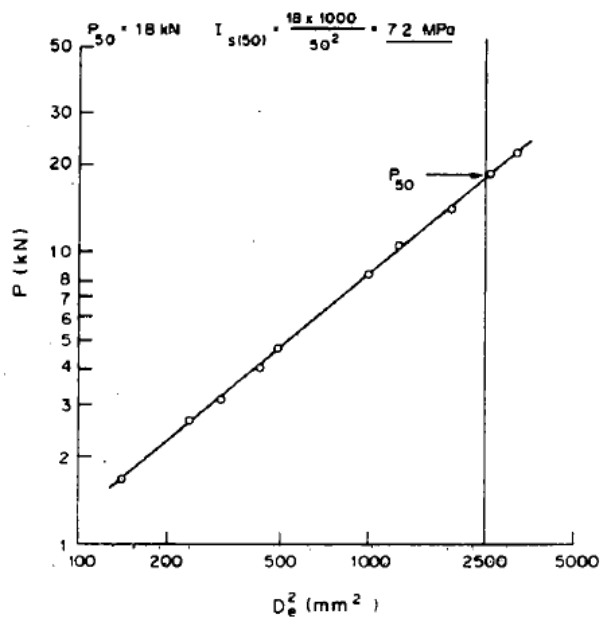
Ensaio em blocos válido



Expressão dos resultados

O índice da resistência à carga pontual, I_s , é calculado através da seguinte expressão: $I_s = P/D^2$, onde, P é a carga de rotura e D é a distância entre ponteiras.

Para determinar a resistência à compressão da rocha, o valor de I_s deve ser corrigido para o $I_s(50)$, relativo a um provete de diâmetro de 50 mm. Essa correção pode ser efetuada através do seguinte ábaco:



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

$$I_s = P(50)/2500$$

Quando se utilizam amostras de tamanhos únicos, deve-se determinar $I_s(50)$, a partir da seguinte expressão: $I_s(50) = F \times I_s$

Sendo que F corresponde ao fator de correção, este pode-se obter através de um ábaco, ou da seguinte expressão: $F = (De/50)^{0,45}$

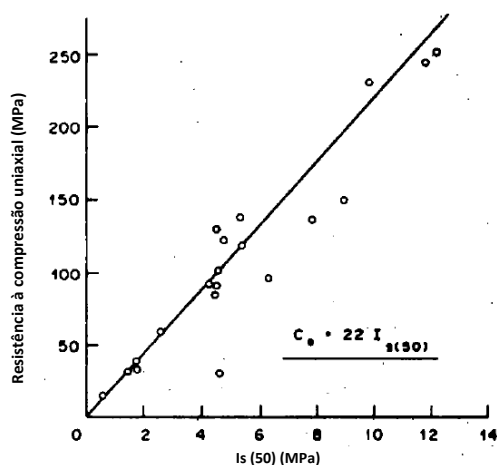
Nos ensaios axiais, em blocos ou em fragmentos irregulares a distância equivalente: $De = 4 \times (A/\pi)$, área: $A = W \times D$

Cálculo do valor médio

No cálculo do valor médio de $I_s(50)$ deve-se contabilizar o índice de resistência pontual e o de anisotropia. Para o cálculo do valor representativo da resistência à carga pontual, retira-se os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos de 10 ou mais testes válidos. Por fim, faz-se a média dos restantes valores.

Cálculo do índice de anisotropia

O índice de anisotropia $I_a(50)$ é calculado através da razão entre as medianas dos índices calculados para tensões normais e paralelas aos planos de discontinuidades. Para materiais isotrópicos $I_a(50)$ é próximo de 1, para materiais anisotrópicos os valores são mais elevados. O valor de $I_s(50)$ deve ser utilizado directamente na classificação das rochas, por outro lado as correlações com a resistência à compressão uniaxial não passam apenas de aproximações. A resistência à compressão uniaxial é cerca de 20 a 25 vezes a resistência à carga pontual (ábaco).



3.3.2. Ensaio laboratoriais

Os ensaios laboratoriais têm como objetivo estudar as características e determinar índices que permitam analisar a viabilidade das rochas como rocha ornamental e prever o seu desempenho. Estes ensaios podem ser efetuados sobre amostras de mão recolhidas no local ou sobre provetes preparados a partir de testemunhos de sondagem, e são executados segundo procedimentos rigorosos, seguindo normas técnicas nacionais ou internacionais.

Os ensaios de caracterização tecnológica das rochas ornamentais e respetivas normas europeias (EN) (quadro 26).

Quadro 26 - Ensaio de caracterização tecnológica e respetivas normas europeias (EN) (adaptado de Moura, 2008).

Propriedade	Norma EN	Propriedade	Norma EN
Estudo Petrográfico	NP EN 12407:2008	Resistência às Agrafagens	NP EN 13364:2006
Análise Química	a)	Resistência ao Gelo	NP EN 12371:2006
Massa volúmica real e aparente	EN 1936:2006	Resistência ao Choque Térmico	NP EN 14066:2005
Absorção de Água	NP EN 13755:2008 (pressão atmosférica)	Módulo de Elasticidade	NP EN 14146:2006 (dinâmico)
	NP EN 1925:2000 (capilaridade)		NP EN 14580:2007 (estático)
Porosidades totais e aberta	NP EN 1936:2008	Coefficiente Dilatação Linear Térmica	NP EN 14581:2007
Resistência à Compressão	NP EN 1926:2006	Microdureza knoop	NP EN 14205:2007
Resistência à Flexão	EN 12372:2006 (carga concentrada)	Resistência Sais	NP EN 12370:2001 (cristalização de sais)
	NP EN 13161:2006 (momento constante)		NP EN 14147:2007 (nevoeiro salino)
Resistência ao Choque (energia rotura por impacto)	EN 14158:2005	Resistência Envelhecimento Sulfatos	NP EN 13919:2007 (SO ₂)
Resistência ao Desgaste	NP EN 14157:2007	Conteúdo carbonatos	a)
Resistência ao Escorregamento	NP EN 14231:2006		

a) Não existe norma para este ensaio

Uma rocha ornamental, de uma forma geral, fica bem definida pela sua cor, textura, composição mineralógica, pelo valor dos seus índices físicos (em particular, massa volúmica aparente e grau de absorção de água) e pela sua resistência mecânica à compressão. Para um estudo mais especializado, a escolha dos ensaios a ser realizados deve ter em consideração o tipo de aplicação da rocha ornamental, para a possível avaliação da respetiva aptidão, como por exemplo (Leite & Moura, 2017):

- A resistência mecânica à compressão simples após teste de gelividade é, em conjugação com a percentagem de água absorvida e a porosidade aberta de rocha, um índice de durabilidade do material, em particular quando empregue em climas frios e húmidos;
- O conhecimento do coeficiente de dilatação linear térmica é de particular importância quando se prevê a utilização do material em trabalhos exteriores em climas de forte amplitude térmica;
- As determinações da resistência ao desgaste e ao choque são indispensáveis quando se tem em vista a aplicação das rochas em pavimentos ou escadarias;

As características referidas anteriormente estão intrinsecamente correlacionadas, positiva ou negativamente, com a textura e estrutura da rocha e, em particular, com o tamanho relativo e a dimensão média do grão. Estes parâmetros, assim como o estado de conservação dos minerais, condicionam a aptidão da rocha a determinados acabamentos superficiais e a respetiva durabilidade.

No quadro 27, encontram-se sinteticamente representados os ensaios físico-mecânicos adequados para caracterização do material, tendo em vista as suas utilizações mais comuns.

Quadro 27 - Importância relativa de ensaios físico-mecânicos tendo em vista as aplicações mais comuns (adaptado Leite & Moura, 2017).

	Revestimentos exteriores	Revestimentos interiores	Pavimentos exteriores	Revestimentos interiores e tampos de móveis	Placas em consola ou simplesmente apoiadas	Colunas e Pilares
Massa Volúmica aparente	B	B	B	B	B	B
Absorção de Água/Porosidade aberta	B	C	B	C	C	B*
Resistência mecânica à compressão	B	C	B	C	B	A
Resistência ao gelo	A		A		A*	A*
Resistência mecânica à flexão	B	C	B	B	A	
Coef. Dilatação linear térmica	A		B			A*/B
Resistência ao desgaste	C		A	B	B	
Resistência ao choque	C**	C**	A	B	A	

Legenda:
 Por ordem decrescente de importância: A – Muito Importante; B – Importante; C – Pouco importante
 * Apenas no caso de utilização em exteriores
 ** De importância A quando se trate de placas colocadas na zona inferior das paredes (lambris e rodapés)

4 – Extração e transformação de rochas ornamentais

4. Extração e transformação de rochas ornamentais

4.1. Extração de rochas ornamentais

As técnicas de extração dos blocos de rocha ornamental para posterior transformação não serão abordadas neste trabalho, por não se tratar de um objetivo definido para o mesmo.

4.2. Transformação de rochas ornamentais

A transformação de rochas ornamentais abrange os processos necessários à obtenção das várias tipologias de produtos (finais ou semiacabados), a partir dos blocos de rocha extraídos nas pedreiras. Esta transformação pode ser expedita e ocorrer ainda nas pedreiras, como por exemplo os blocos de granito utilizados na construção de habitações, ou pode ser muito elaborada, como por exemplo as peças polidas.

As técnicas de transformação podem ser agrupadas em primárias e secundárias. As primárias compreendem a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, bastante próxima da espessura dos produtos finais, por outro lado, as secundárias tem como objetivo proporcionar as dimensões, forma e aparência final.

4.2.1. Transformação primária

As técnicas de transformação primária podem ser divididas em peças fendidas, em peças serradas e em peças de pequena espessura (Sousa, 2012).

4.2.1.1. Peças fendidas

Uma das mais antigas técnicas de transformação de granito consiste em fender os blocos extraídos até a obtenção das peças de tamanho desejado (figura 8). Com o recurso a cunhas e guilhos obtêm-se peças, como exemplo o perpianho ou o lancil, que são utilizadas sem mais acabamento, conferindo-lhe um aspeto rústico. O conhecimento do “correr” da pedra é fundamental para facilitar o corte da mesma e para obter superfícies regulares. As peças fendidas poderão ser trabalhadas na face visível com “picos”, manuais ou pneumáticos, de modo a apresentarem um aspeto mais regular e homogéneo. A utilização de máquinas facilita a obtenção das peças de menor dimensão, como os cubos e paralelos de vários tamanhos (Sousa, 2012).



Figura 8 – Processo para obtenção de peças de granito fendidas (Sousa, 2012).

4.2.1.2. Peças serradas

Quando é necessário obter peças de grossa espessura com forma geométrica muito precisa, a melhor opção é a utilização das serras de disco ou o fio diamantado fixo, que têm a vantagem de permitir cortar apenas as “fatias” de rocha necessárias.

As serras de disco (figura 9 a) são constituídas por um disco, o qual pode apresentar vários diâmetros em função dos blocos a transformar e do tamanho das peças que se pretendem obter, este é composto por elementos abrasivos aglomerados numa liga metálica, e movimenta-se lentamente sobre o bloco de rocha a serrar de forma a não danificar o abrasivo.

Nos equipamentos de fio diamantado (figura 9 b), o corte ocorre pela ação abrasiva dos anéis ou pérolas diamantadas dispostos ao longo de um fio, o qual é tensionado sobre o bloco enquanto se se movimenta a determinada velocidade.



Figura 9 – Serragem de blocos de granito com recurso a uma serra monodisco (a) (<http://www.granitoslamecense.pt/images/sampled/ta/hablocoslam/1.jpg>) ou com fio diamantado (b) (http://www.pellegrini.net/immagini/stonemaster/DF_2000-2500.jpg).

4.2.1.3. Peças de pequena espessura

Quando se pretende obter chapas com pequena espessura (2 a 3 cm) a técnica mais utilizada é a serragem com engenho multidisco ou tear.

Os teares podem ser multilâmina ou multifio, os multilâmina (figura 10) são constituídos por uma estrutura de sustentação formada por quatro colunas que suportam o quadro porta-lâminas, as lâminas encontram-se dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco e tensionadas para manter o perfeito nivelamento, alinhamento e paralelismo entre si, durante todo o processo de corte. O tear é acionado por uma biela e executa um movimento alternado, na horizontal, e move um conjunto de lâminas que guiam o corte da rocha. A mistura abrasiva, constituída por água, cal e gralha abrasiva, ao ser arrastada pelas lâminas é responsável pelo corte da rocha.

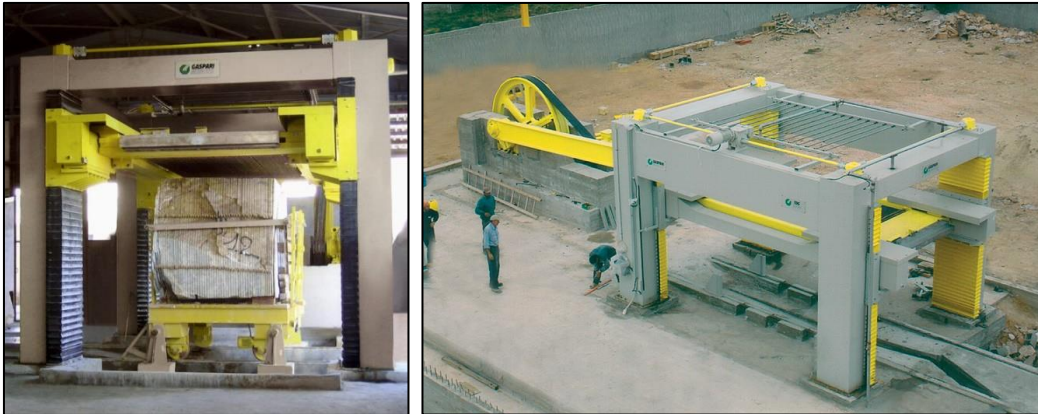


Figura 10 – Tear multi-lâmina (<http://www.gasparimenotti.it/>).



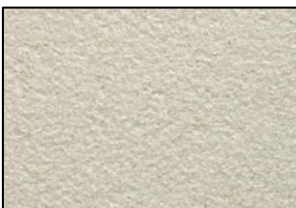
Os teares multifio são constituídos de uma estrutura (armação) metálica, na qual se dispõem de forma equidistante e se tensiona os fios diamantados, que realizam um movimento circular em torno dela. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e movimenta-se verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas (Sousa, 2013).

Os engenhos multidiscos mais difundidos são os de duas e quatro colunas. Ambos apresentam, praticamente o mesmo processo de corte do bloco, que se baseia na ação de um conjunto de vários discos diamantados sobre o bloco, através dos movimentos de rotação dos discos e de translação do conjunto. Assim, os discos executam cortes verticais e paralelos em uma ou várias passagens, dependendo da profundidade de corte desejada e do material cortado. A profundidade máxima possível é de, aproximadamente, 1/3 do diâmetro do disco.

4.2.2. Transformação secundária ou final

Neste estágio as tecnologias utilizadas têm como objetivo dimensionar, moldar e especificar o produto final. Após as peças serem serradas com a espessura pretendida será necessário dar-lhe o acabamento superficial que maximize as suas características estéticas (coloração, textura e aparência do material), que lhe confirmem a melhor adequabilidade à sua utilização. Os acabamentos de superfície podem ser muito variados de acordo com a irregularidade final obtida. Apresentam-se no quadro 28 os acabamentos superficiais mais utilizados.

Quadro 28 - Acabamentos superficiais mais utilizados (adaptado de Sousa, 2012; <http://www.moreiraevazao.pt/produtos/acabamentos/>).

Serrado	
Este acabamento corresponde aquele que as chapas apresentam ao sair dos engenhos de serragem. Trata-se do acabamento mais económico, pois todos os outros são realizados sobre as chapas serradas. A superfície não é lisa ao toque nem totalmente antiderrapante, mas é adequada para a maioria das situações em pavimentos exteriores com grande afluência de público.	
Polido	
Trata-se de uma superfície brilhante que realça a coloração completa dos materiais, bem como as suas características específicas (o grão, os veios, etc.). Totalmente plano e liso, este acabamento transmite sentimentos de nobreza e requinte e revela toda a beleza e força da pedra natural.	
Amaciado	
Uma superfície suave, totalmente lisa e plana, que mostra a verdadeira coloração dos materiais sem o brilho e o pormenor do acabamento polido. Este acabamento é considerado muito acolhedor e confortável.	
Escovado	
Acabamento adequado para projetos exteriores como paredes ou passagens. De superfície semi-rugosa e comparativamente mais suave do que o acabamento a jacto de areia. Esta superfície deixa transparecer mais a coloração original do material ao mesmo tempo que o torna antiderrapante.	

Granalhado

Acabamento para obtenção de superfícies rugosas (antiderrapante), tendo como campo de aplicação revestimentos exteriores (pavimentos, fachadas). Trata-se de um processo de acabamento na superfície da pedra, de decapagem, obtido com a projeção de esferas de aço. A diferença entre as saliências e depressões excede os 2 mm.

Bujardado

O acabamento bujardado é antiderrapante e especialmente adequado para pavimentos e revestimentos exteriores. De superfície rugosa, o material bujardado é suficientemente plano e muito utilizado para pavimentação. É de notar que este acabamento atenua a coloração dos materiais, esbranquiçando-os ligeiramente.



Areado

O acabamento a jacto de areia é antiderrapante e semi-rugoso, suficientemente plano e muito indicado para pavimentação. Comparativamente, este acabamento é menos rugoso que o bujardado e mais irregular ao toque do que o escovado. Da mesma forma, deixa transparecer mais a coloração do material que o acabamento bujardado mas menos que o acabamento escovado.

Flamejado

Produzido através da exposição da pedra a altas temperaturas, embora nem todos os materiais flamejem. O acabamento flamejado é suficientemente plano para pavimentação, embora admita variações no relevo da sua superfície e aparente uma face composta por camadas ou “lascas”. Único nos efeitos que produz, o acabamento flamejado torna as superfícies antiderrapantes ao mesmo tempo que esbate a coloração original do material e lhe dá as variações próprias de uma “superfície com diferentes cotas de relevo”.

Escacilhado

De superfície irregular, este acabamento não se adequa à pavimentação, mas antes a revestimentos que se pretendam belos e duradouros. Para superfícies escacilhadas deve-se considerar material a partir dos 5 cm de espessura, uma vez que parte desta espessura será quebrada com as ferramentas próprias até ficar com aproximadamente 3 cm de espessura base.



A necessidade de obter produtos diferenciados e que se adaptem às exigências do cliente levou ao aparecimento dos equipamentos de *CNC - Computer Numeric Control* ou, em português, *Controlo Numérico Computadorizado*, cujos movimentos são controlados por computador, e

permitem conjugar o design e técnica, reduzindo os erros e aumentando a produtividade. Nesta categoria destacam-se dois modelos:

Máquinas de corte por jato de água – com 3 eixos livres de movimento, executam cortes vazados, bidimensionais, em pedras de espessura que varia entre 5 mm até 150 mm. Esta tecnologia permite fazer cortes em curva com precisão milimétrica, e é usada maioritariamente para aberturas em balcões de cozinhas e tampos de casas de banho (Sousa, 2012).

Fresadoras de 5 eixos – com 5 eixos livres de movimento, executam trabalhos tridimensionais por desbaste. São máquinas programadas por *software* CAD/CAM, com múltiplas ferramentas (discos, fresas e brocas) o que permite a execução de trabalhos longos e minuciosos sem intervenção humana. São usadas numa grande variedade de propósitos, que vai desde peças arquitetónicas mais complexas até esculturas (figura 11) (Sousa, 2012).

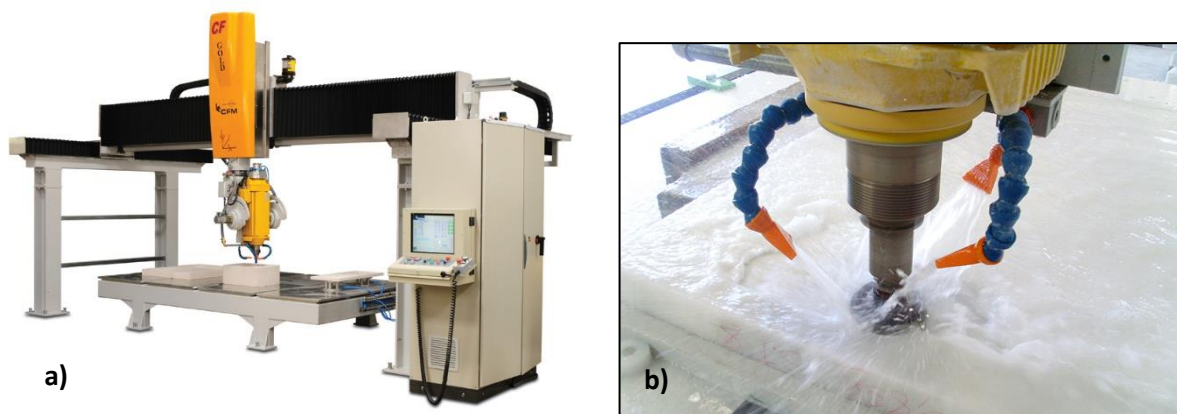


Figura 11 – (a) Máquina de corte e fresagem controlada por CNC, b) Pormenor da mesma (http://www.construal.pt/uploads/produtos/upload103_0.jpg).

5 – Caso de estudo da pedreira “Herdade do Montinho”

Arronches

5. Caso de estudo da pedraira “Herdade do Montinho” Arronches

5.1. Enquadramento da pedraira

5.1.1. Enquadramento geográfico

A pedraira “Herdade do Montinho”, registada com o nº 5591, localiza-se na herdade de Carrefe e Montinho na freguesia de Assunção, concelho de Arronches, distrito de Portalegre (figura 12).

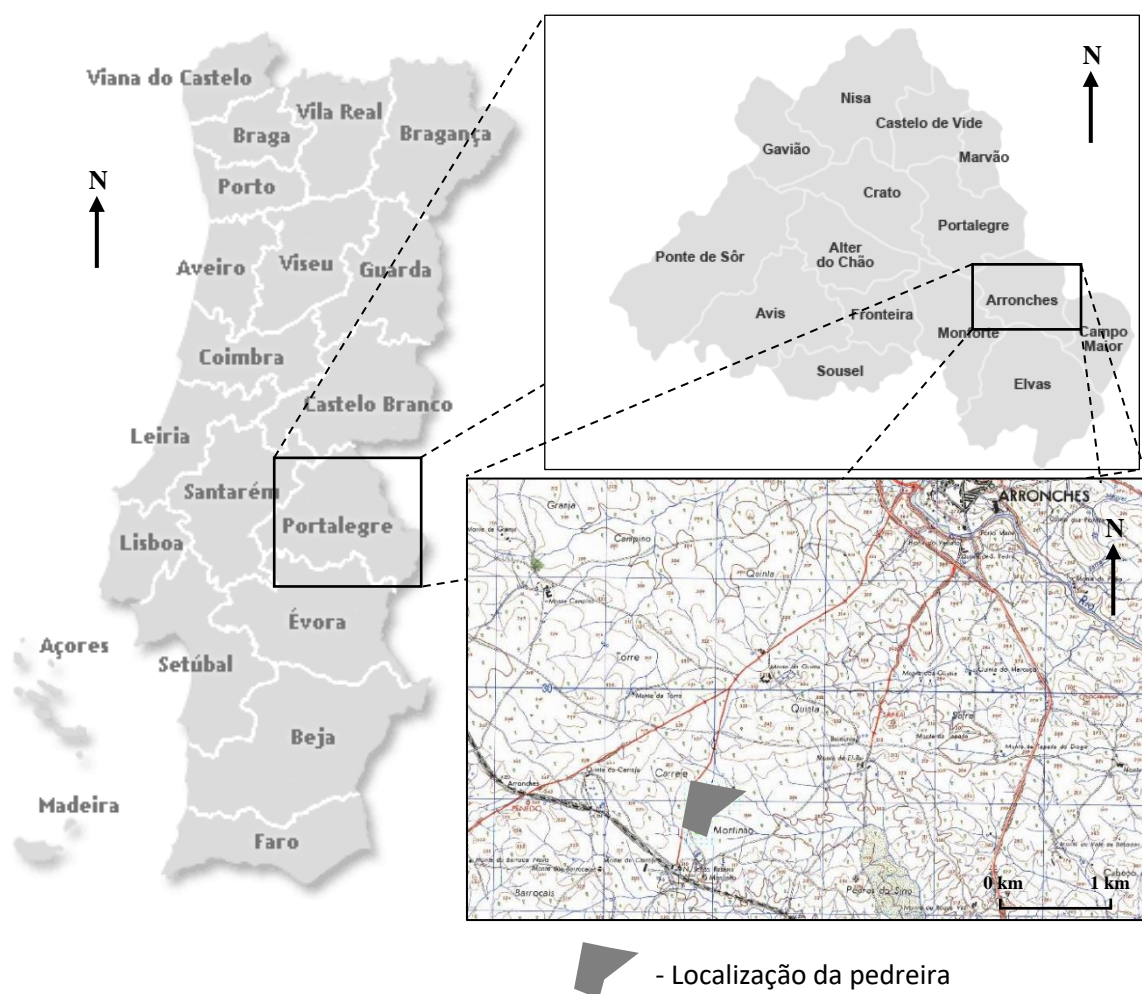


Figura 12 - Localização da pedraira “Herdade do Montinho”. (Extracto da folha 385 da Carta Militar de Portugal, Arronches, à escala 1:25 000 (IGeoE, 2008)); http://www.ervital.pt/img/mapa_portugal.gif, <https://en.caixaimobiliario.com/images/mapas/portalegre.gif>)

A pedraira situa-se a cerca de 3 km para SW da Vila de Arronches, o acesso efetua-se a partir da EN 246, entroncando com uma estrada asfaltada percorrendo-se uma extensão de aproximadamente 2 km no sentido NE-SW. A partir desse ponto surge um entroncamento bifurcando para Sul, num caminho de acesso ao ramal de caminho de ferro da REFER pertencente à linha Abrantes-Elvas. A exploração localiza-se a 1 km para Sul desse ponto estando englobada

na área pertencente à Herdade do Montinho (V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

5.1.2. Enquadramento geomorfológico e hidrográfico

A área em estudo localiza-se na região Norte Alentejana, a qual apresenta um contexto geomorfológico definido por uma extensa superfície de aplanação que se prolonga até junto das formações quartzíticas da Serra de S. Mamede e atinge uma altitude superior a 1000 m. Salienta-se também alguns relevos residuais que evidenciam a deformação hercínica, limitando a Norte a extensa planície alentejana.

Em termos hidrográficos a geomorfologia da região promove um escoamento superficial das bacias do Rio Caia e Ribeira de Arronches que são subsidiários do Rio Guadiana. Realça-se que estas linhas de água são de caudal permanente, podendo diminuir significativamente em período de estiagem (V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

5.1.3. Enquadramento geológico

A região em estudo enquadra-se do ponto de vista geológico na área Noroeste da Zona de Ossa-Morena (ZOM), próximo do contacto entre esta e a Zona Centro Ibérica (ZCI). Este contacto é denominado por Cisalhamento Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba e é considerada uma zona de sutura do órogeno hercínico na Península Ibérica (figura 14).

Nesta região inclui-se o Complexo plutónico de Monforte/Santa Eulália (CPMS) (figura 13), localizado a Sul da zona de divisão da ZCI e da ZOM. A litologia onde se inclui a área da pedreira está caracterizada como ($\Delta 3$) Gabros e Dioritos, *tardi* orogénicos relativamente à 3ª fase da orogenia hercínica (figura 14):

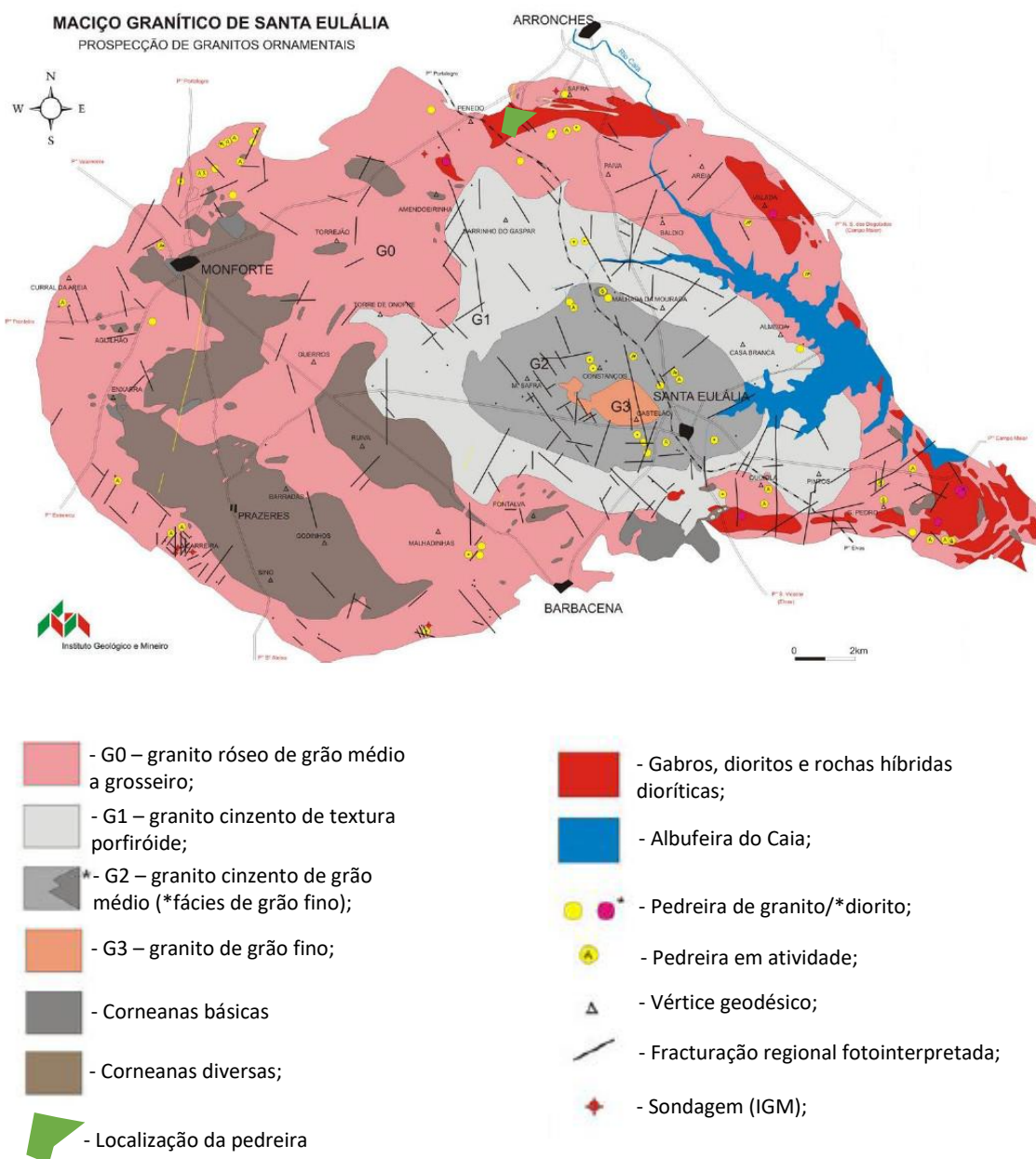


Figura 13 - Maciço Granítico de Santa Eulália (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

A massa mineral em estudo está incluída no anel periférico (G0) do Complexo plutónico de Monforte/Santa Eulália (CPMS) (figura 13). É nesta periferia que se observam os afloramentos rochosos referentes a gabros, dioritos e rochas híbridas dioríticas que possivelmente serão as rochas mais antigas deste complexo sub-vulcânico.

Os gabros e dioritos no terreno são semelhantes na cor e na granularidade. As rochas híbridas dioríticas são rochas de quimismo intermédio entre gabros e dioritos. As rochas do sector gabro-diorítico são no geral, rochas meso a mesomelanocráticas ou mesmo melanocráticas de composição principalmente diorítica (figura 14).

As rochas híbridas mostram tendência para se correlacionarem lateralmente, embora pareça que a sua influência geral seja inferior em profundidade comparativamente ao observado à superfície onde surgem em várias manchas de contactos com gabros finos/gabrodioritos e granitos de grão médio, devido à mistura de magmas mineralogicamente diferenciados.

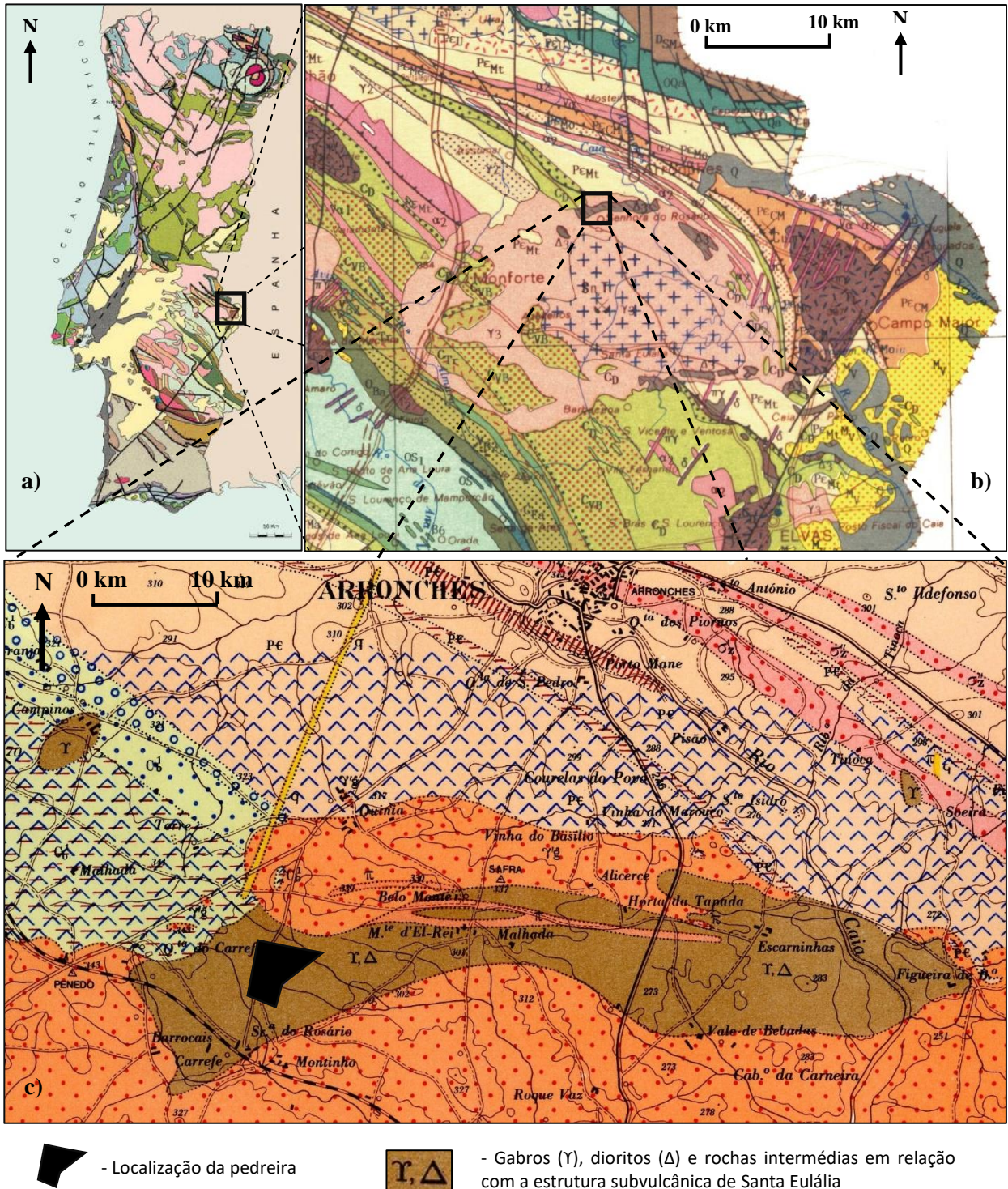


Figura 14 - (a) Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1992) (b) Folha 2 da Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1992) e (c) Localização da pedra na Carta Geológica de Portugal Esc. 1 / 50 000, Folha 33-C, Campo Maior (Gonçalves, 1972).

5.2. Parâmetros geológico-geotécnico e geomecânico: generalidades

5.2.1. Levantamento geológico e estrutural de superfície

Segundo o estudo realizado pela VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009), no âmbito do requerido na Instrução de trabalho da REFER para fornecimento de balastro e gravilha, realizou-se um levantamento geológico e estrutural de superfície (Anexo I), onde se cartografou as litologias aflorantes na área em estudo, assim como, os principais acidentes tectónicos.

Na área da pedreira foram identificados diversos afloramentos considerados como representativos do contexto geológico em que a pedreira se insere. No levantamento geológico de superfície realizado, esses afloramentos são apresentados por estações, estando a sua localização evidenciada na figura 15 e no Anexo II.

No Anexo I encontram-se representadas as observações realizadas e respetiva ilustração de cada estação.

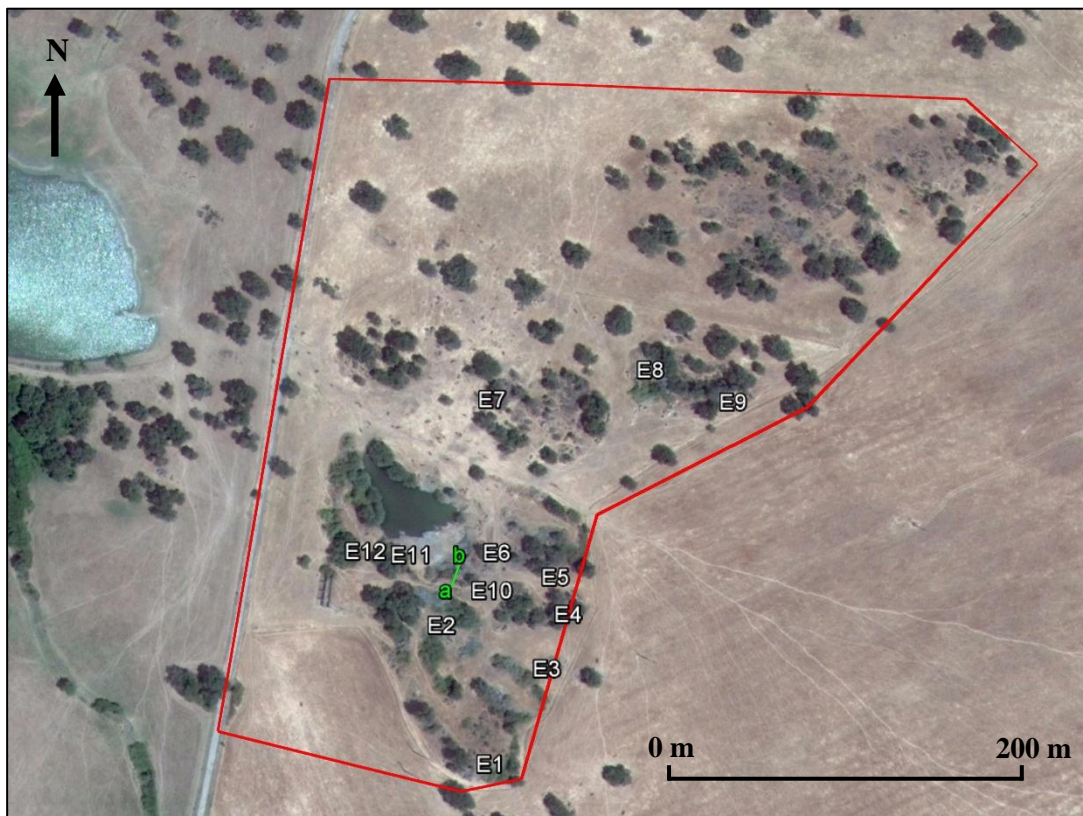


Figura 15 - Estações definidas no levantamento geológico de superfície (Google Earth Pro).

Em suma, com o levantamento geológico e estrutural de superfície, pode-se verificar que na pedreira os afloramentos dominantes são compostos por gabros de grão fino a médio

esverdeados, os quais são complementados com o aparecimento de pequenos afloramentos de granito róseo que tendem em se alinhar na direção WSW-ENE. No contacto com os gabros dominantes ocorrem os gabrodioritos de grão médio a grosseiro, é nesta interface que ocorrem as litologias denominadas híbridas, resultantes da miscibilidade de magmas com diferentes características mineralógicas, daí a denominação utilizada na cartografia geológica de gabrodioritos híbridos.

5.2.2. Estudo da fracturação à superfície

O estudo e análise da fracturação realizado pela VISA – Consultores de geologia aplicada e engenharia do ambiente, S.A (2009), na pedreira “Herdade do Montinho” teve como intuito a obtenção de dados das fraturas na área de corta da pedreira (onde se realizou um levantamento sistemático da fracturação com recolha de informação segundo um perfil de amostragem a - b) (figura 15) e nos afloramentos de gabro e gabrodiorito existentes na restante área da pedreira.

5.2.2.1. Fracturação no Perfil a - b

O levantamento da fracturação realizado segundo o perfil de amostragem a - b (figura 15), foi efetuada a 1,5 m acima da bancada numa frente de desmonte, com comprimento de 8 m (quadro 29).

Para cada fratura existente na linha de amostragem foi recolhida:

- Identificação do painel onde foi traçada a linha de amostragem;
- Espaçamento entre fraturas;
- Atitude da fratura (direção e inclinação);

No quadro 29 encontra-se representado um resumo dos dados obtidos no levantamento da fracturação segundo o perfil de amostragem a - b.

Quadro 29 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação do perfil a-b (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

Descontinuidade	Atitude (direção, inclinação)	Espaçamento (m)	Descontinuidade	Atitude (direção, inclinação)	Espaçamento (m)
1	N160°-75°E	0,3	4	N86°-90°	3,7
2	N82°-90°	0,4	5	N152°-90°	3,9
3	N88°-90°	2,7	6	N60°-90°	7,5



Perfil A-B

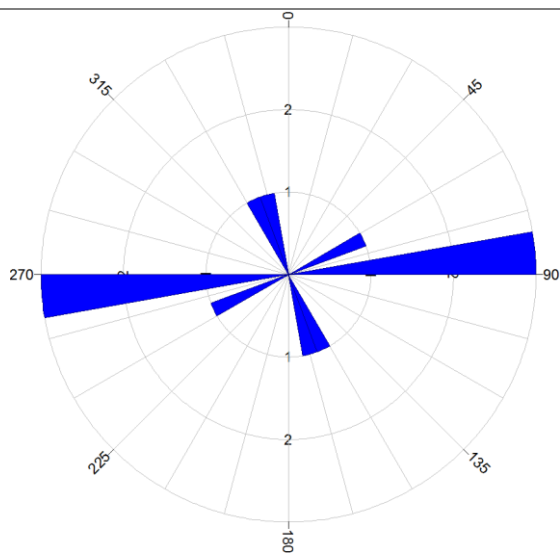


Diagrama de rosetas

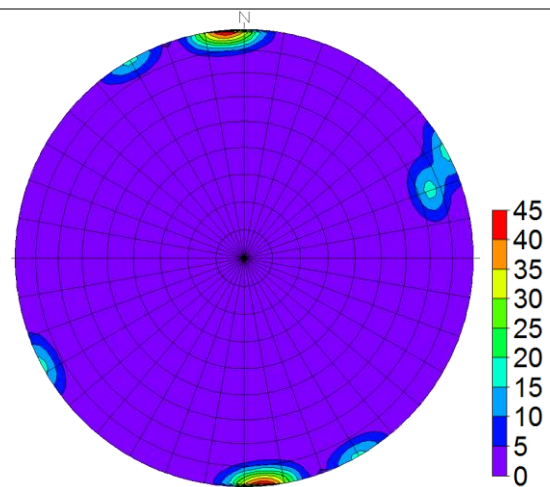
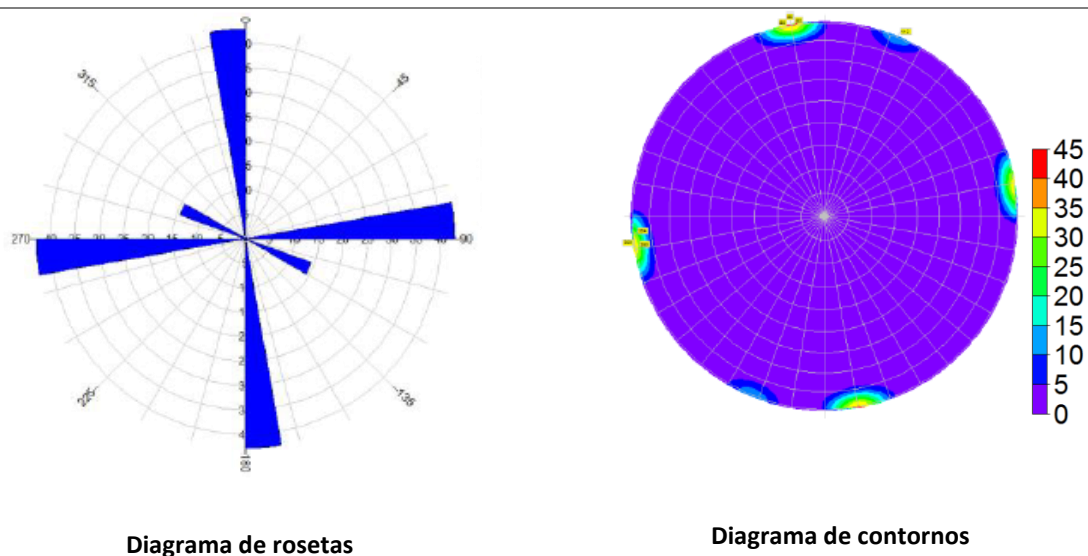


Diagrama de contornos

5.2.2.2. Fracturação nos afloramentos da área da pedraira

Com base nos dados obtidos nos afloramentos realizaram-se os diagramas de contornos e rosetas da rede de fraturas (quadro 30), para posteriormente serem agrupadas em famílias.

Quadro 30 - Diagramas de contornos e rosetas dos afloramentos da pedraira (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).



5.2.2.3. Análise da fracturação à superfície e blocometria

Através da análise dos diagramas de contorno e de rosetas (quadros 29 e 30), obtidos com os dados recolhidos no perfil de amostragem e nos afloramentos da pedraira, identificaram-se três famílias de fraturas (quadro 31):

Quadro 31 - Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

Família	Atitude (direção, inclinação)	Espaçamento (m)	Classe (*)
Família 1	N80-90°E; 80°SE	2,3	F1
Família 2	N150-160°E; 30°NE	2,1	F1
Família 3	N60-70°E; 50°SE	7,5	F1

(*) Classificação da Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas (ISRM, 1978) apresentada no quadro 7.

A dimensão e a forma dos blocos que constituem o maciço rochoso estão definidas pelo número de famílias de descontinuidades, pela sua orientação, espaçamento e continuidade. A descrição do tamanho do bloco pode ser realizada das seguintes formas (Vallejo, 2002):

➤ **Índice Dimensional** – I_b (“Block Size Index”; ISRM, 1978)

O índice dimensional (I_b) representa as dimensões médias dos blocos-tipo estimados no afloramento, e foi calculado com recurso à equação 1:

$$I_b = \frac{(e_1 + e_2 + e_3)}{3} = \frac{2,3 \text{ m} + 2,1 \text{ m} + 7,5 \text{ m}}{3} \cong 4,0 \text{ m}$$

Em que, e_n ($n=1, 2, 3$) correspondem aos valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades.

Obtendo-se um índice dimensional (I_b) de 4,0 m.

➤ **Índice Volumétrico** - J_v (“Volumetric Joint Count”; ISRM, 1978, 1981)

O índice volumétrico (J_v) representa o número total de descontinuidades que intercetam uma unidade de volume (1m^3) do maciço rochoso, e foi calculado com recurso à equação 2:

$$J_v = \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \frac{1}{e_3} + \frac{1}{e_n} + \dots + \frac{Nr}{5} = \frac{1}{2,3} + \frac{1}{2,1} + \frac{1}{7,1} + \frac{6}{5} = 2,25 \text{ descontinuidades/m}^3$$

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

Obtendo-se um índice volumétrico (J_v) de 2,25 descontinuidades/ m^3 .

Após os cálculos do valor do índice volumétrico (J_v), e segundo o quadro 20, é possível concluir que o maciço é caracterizado por se compartimentar em blocos grandes, com um volume previsto entre 1 e 25 m^3 . No quadro 32 encontra-se uma síntese do que foi referido anteriormente.

Quadro 32 - Síntese dos valores de compartimentação do maciço rochoso com indicação da dimensão expectável do bloco unitário.

Índice dimensional ("block size index"; ISRM, 1978), I_b	Índice volumétrico ("volumetric joint count"; ISRM, 1978), J_v		
m	Descontinuidades/m ³	Tamanho dos blocos	Volume (m ³)
4,00	2,25	Grandes	1 - 25

Após a realização de todos os cálculos e a interceção das 3 principais famílias, obteve-se a fragmentação provável do maciço bem como a esquematização do bloco unitário (figura 16).

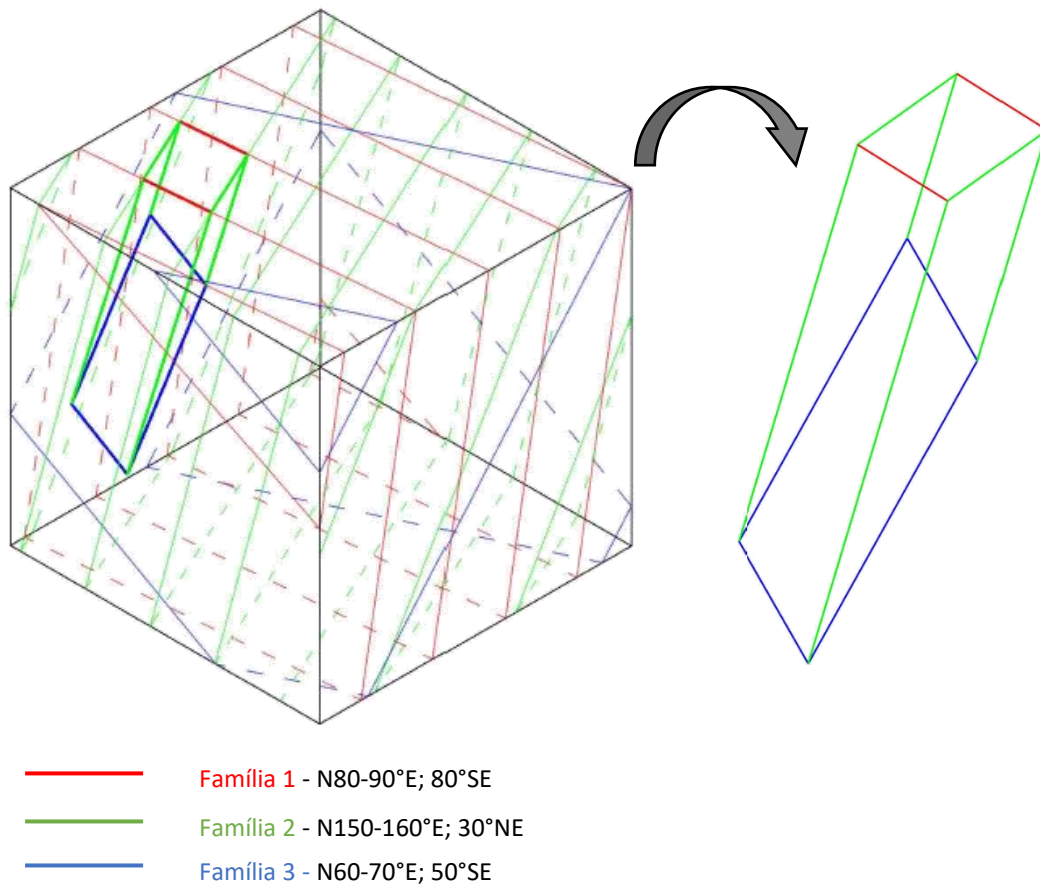


Figura 16 - Esquematização do bloco unitário.

5.2.3. Prospecção em profundidade

A campanha de prospecção mecânica, foi levada a cabo pela Consmaga - Geólogos e Engenheiros Consultores, Lda. e Topdrill Lda. (2006), por solicitação da detentora da licença de exploração na data de execução (Mendes Peixoto S.A.).

Nesta campanha foram efetuados seis furos de sondagem à rotação (figura 17), sendo a perfuração efetuada com recurso a coroa diamantada para recolha integral de testemunho de sondagem em cada manobra.

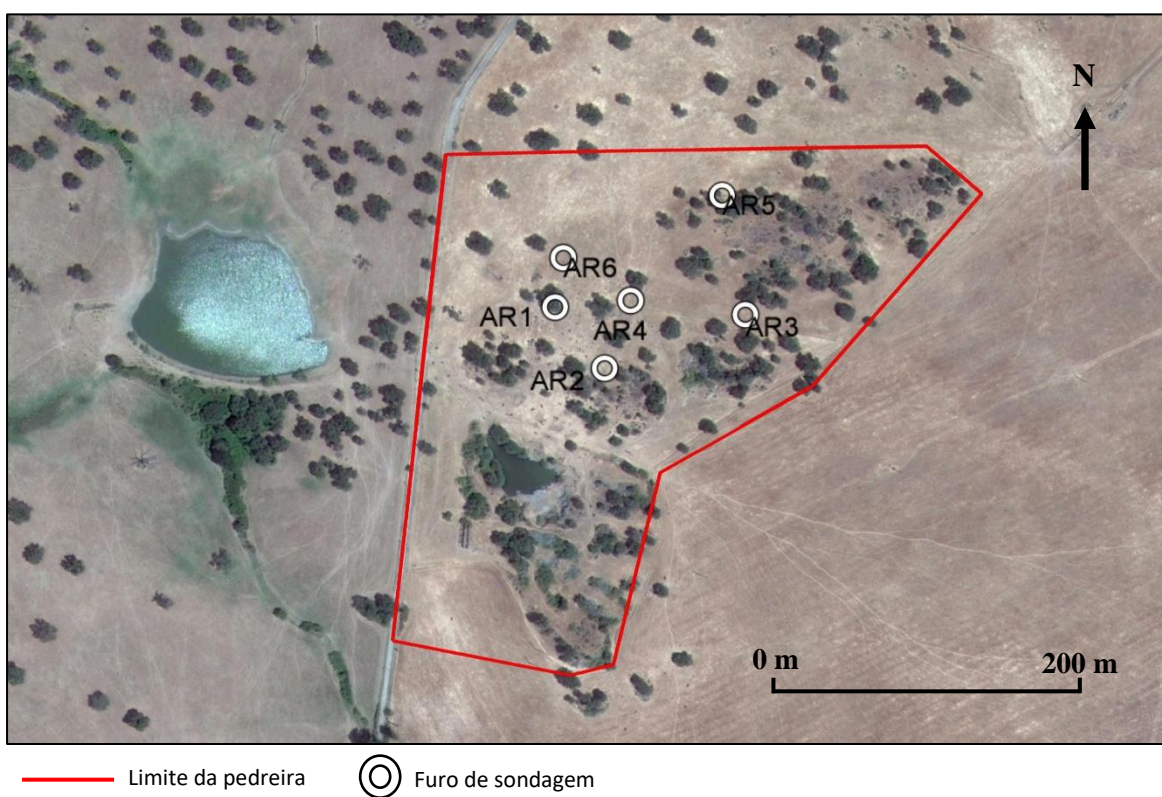
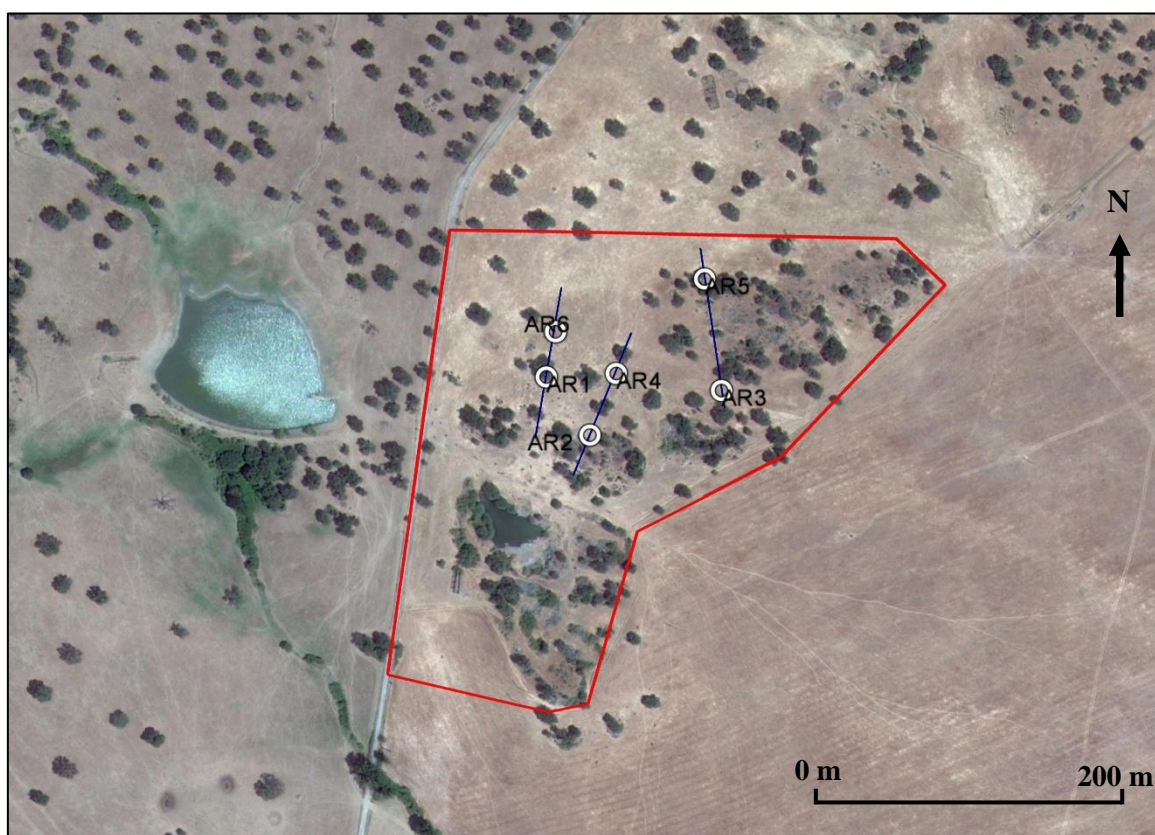


Figura 17 – Localização dos furos de sondagem na área de pedreira (Google Earth Pro).

Os furos foram realizados com uma inclinação de 40° com a vertical e profundidades até aos 40m, segundo três perfis longitudinais (figura 18) orientados aproximadamente N-S (quadro 33), os quais se encontram localizados no Anexo II, analisados no Anexo III e fotografados no Anexo IV.

Quadro 33 – Síntese dos dados dos furos de sondagem e respetivos perfis.

Furo	Perfil	Inclinação	Profundidade (m)
AR1	E-F	40° com a vertical	40
AR6			
AR2	C-D		
AR4			
AR3	A-B		
AR5			



— Limite da pedra
 ○ Furo de sondagem
 — Perfil

Figura 18 - Localização dos furos de sondagem e respetivos perfis na área de pedra (Google Earth Pro).

O resultado destes furos é apresentado em fichas técnicas com os respetivos log's (Anexo III), onde a caracterização e execução dos mesmos foi efetuado pela Consmaga (2006).

5.2.3.1. Caracterização litológica

Em complemento à análise e caracterização efetuada pela empresa Consmaga (2006), apresentou-se 3 perfis litológicos interpretativos, os quais se encontram representados na figura 19.

Os perfis realizados basearam-se nos dados litológicos adquiridos nas sondagens e com recurso ao software *RockWorks 16* da *RockWare Inc.*

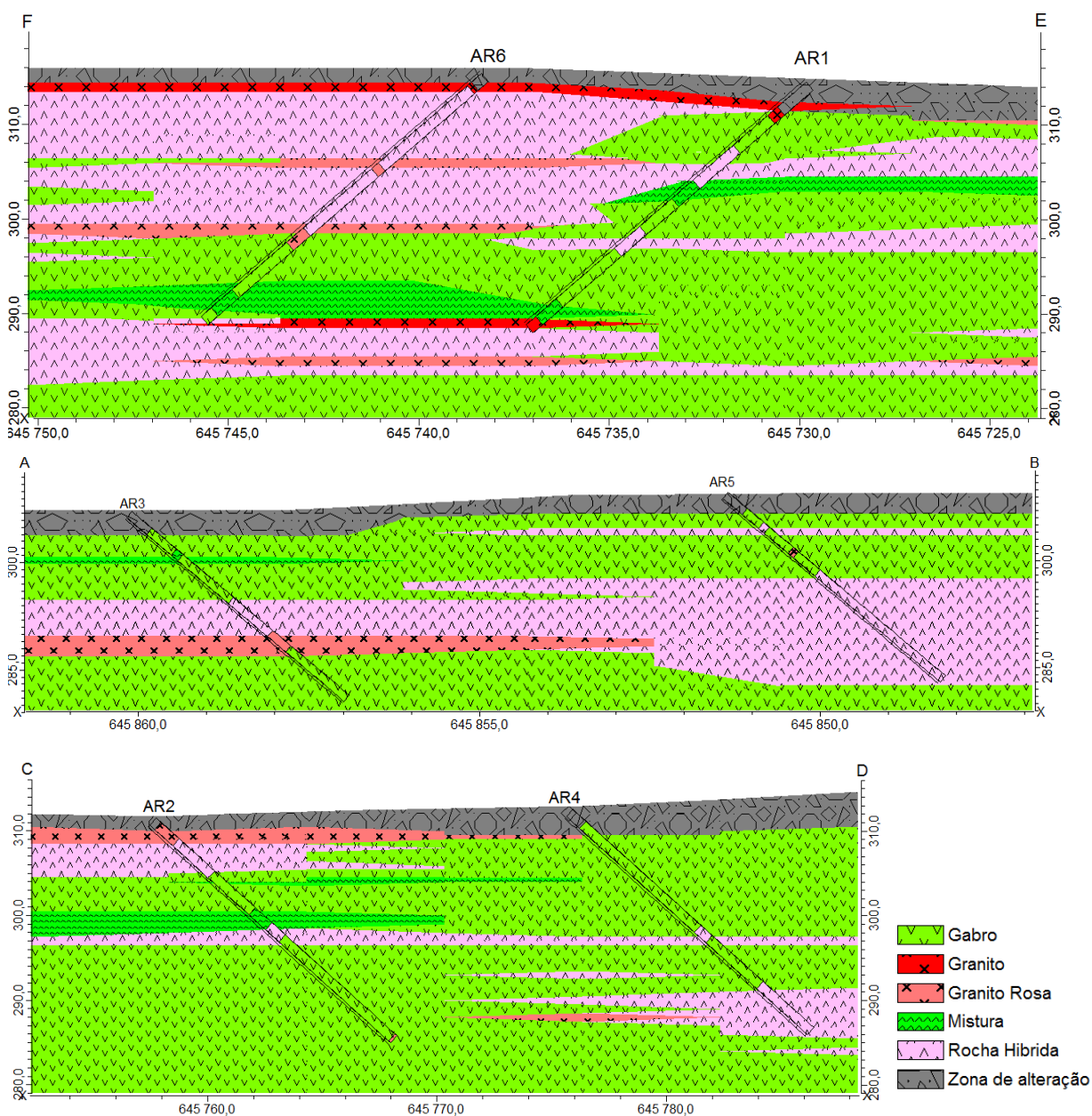


Figura 19 – Perfis litológicos interpretativos.

Posteriormente procedeu-se a espacialização tridimensional do jazigo onde se ilustrou cada litologia isoladamente, com o objetivo de se obter uma representação mais detalhada e uma interpretação mais fácil, devido à heterogeneidade litológica e à extensão do terreno.

Os modelos tridimensionais posteriormente apresentados foram fundamentados nos dados litológicos adquiridos nas sondagens e com recurso ao *software RockWorks 16* da *RockWare Inc.*

A litologia do gabro encontra-se representada tridimensionalmente na figura 20, após a sua análise pode-se verificar que esta se apresenta como a litologia dominante, com cerca de 58% do total da massa mineral avaliada.

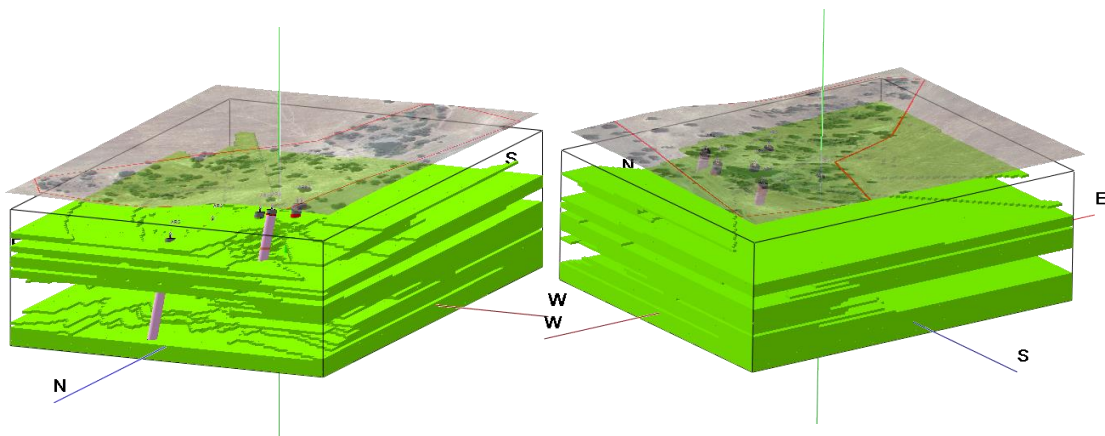


Figura 20 – Modelo tridimensional da litologia gabro.

As rochas híbridas ou gabrodioritos híbridos resultantes da miscibilidade de magmas com diferentes características mineralógicas representam 24% da massa mineral avaliada, a sua disposição tridimensional pode ser verificada na figura 21.

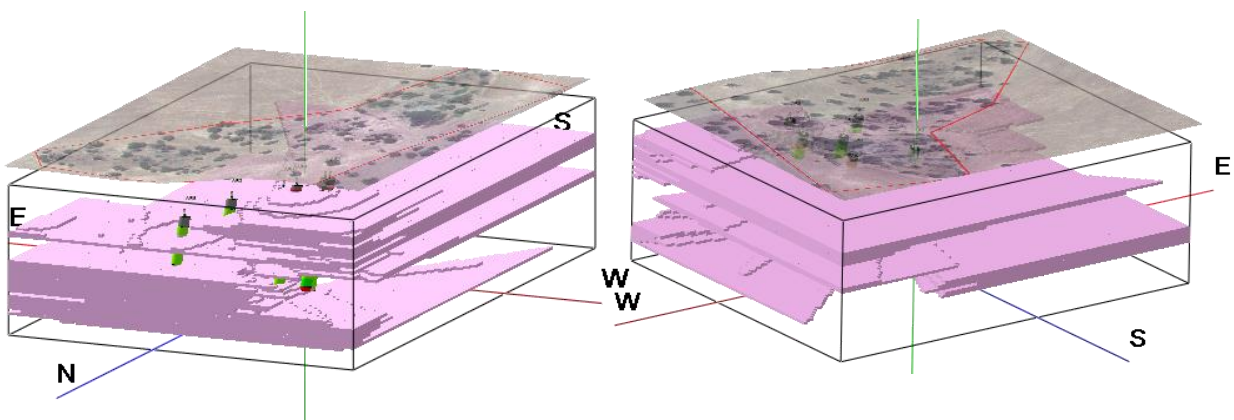


Figura 21 - Modelo tridimensional da litologia rochas híbridas.

As litologias granito (figura 22 a) e granito rosa (figura 22 b) apresentam-se como intercalações decimétricas a métricas com tendência a demonstrar continuidade lateral. A litologia do granito representa uma percentagem residual, e a do granito rosa compreende cerca de 7% da volumetria da massa mineral avaliada.

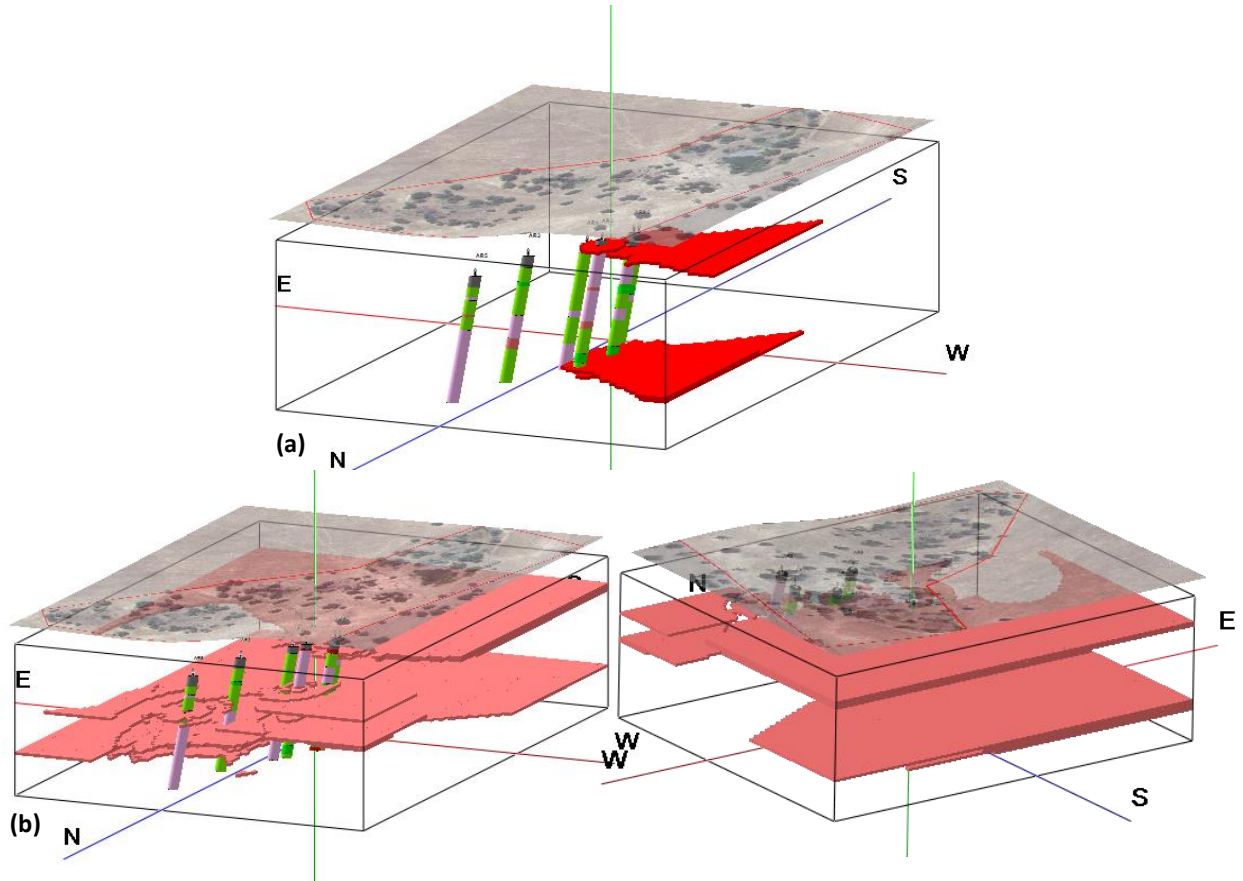


Figura 22 – (a) Modelo tridimensional da litologia granito, (b) modelo tridimensional da litologia granito rosa.

A litologia definida como “mistura” é o produto da miscibilidade de magmas com diferentes características mineralógicas e ocorre no contacto dos gabros dominantes com outras litologias. Esta litologia representa 4% da volumetria global da massa mineral avaliada e possui uma possança decimétrica a métrica com tendência a apresentar continuidade lateral à escala da pedreira (figura 23).

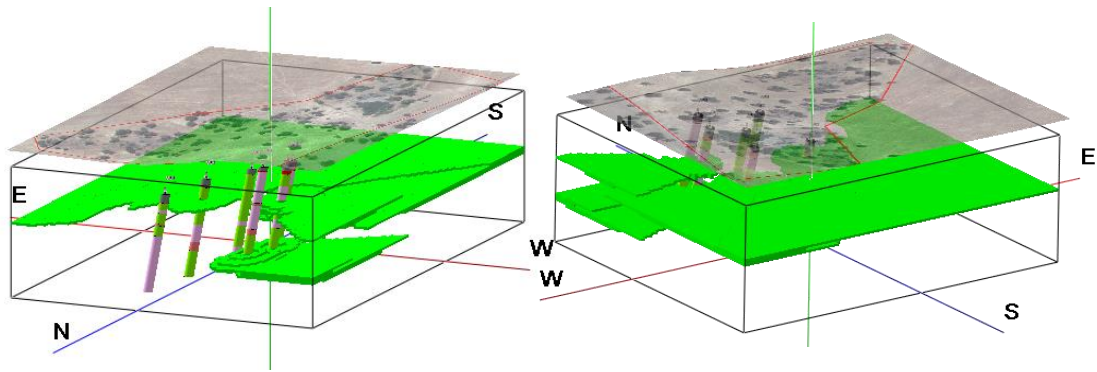


Figura 23 - Modelo tridimensional da litologia "mistura".

A zona alterada (figura 24) apresenta-se como uma camada superficial, com cerca de 7% da volumetria global e uma possança máxima analisada com cerca de 6 metros.

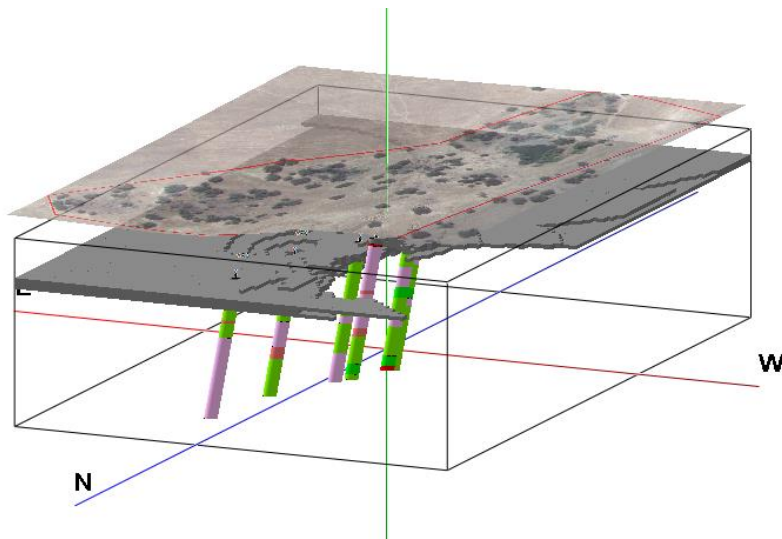


Figura 24 - Modelo tridimensional da zona alterada.

No quadro 34 encontra-se representada uma síntese das volumetrias de cada litologia na área estudada.

Quadro 34 – Volumetrias de cada litologia, obtidas através dos modelos tridimensionais para a área de pedreira.

Litologia	Volume (m³)	% da volumetria total
Gabro	1634507	58
Granito	20112	1
Granito Rosa	189610	7
Mistura	109683	4
Rocha híbrida	675086	24
Zona de alteração	182628	6

Em suma, como se pode verificar através dos perfis e dos modelos tridimensionais, os gabros e os gabrodioritos híbridos são as litologias mais representativas, com 82% do total da massa mineral estudada, sendo de interesse o estudo da sua aplicabilidade como rocha ornamental.

O granito rosa possui uma reduzida possança e uma volumetria razoável, mas apresenta características estéticas interessantes, pelo que também vai ser sujeito a um estudo mais aprofundado.

5.2.3.2. RQD – “Rock Quality Designation”

O RQD - “Rock Quality Designation”, sugerido por Deere *et al.* (1967), permite avaliar a intensidade de fracturação e classificar a qualidade dos maciços rochosos em termos geotécnicos (Hoek, 2015). Com base na análise realizada pela empresa Consmaga (2006) deste parâmetro nas sondagens efetuadas, a qual se encontra apresentada no Anexo III, e com recurso ao *software RockWorks 16* da *RockWare Inc.* realizaram-se três perfis interpretativos (figura 25).

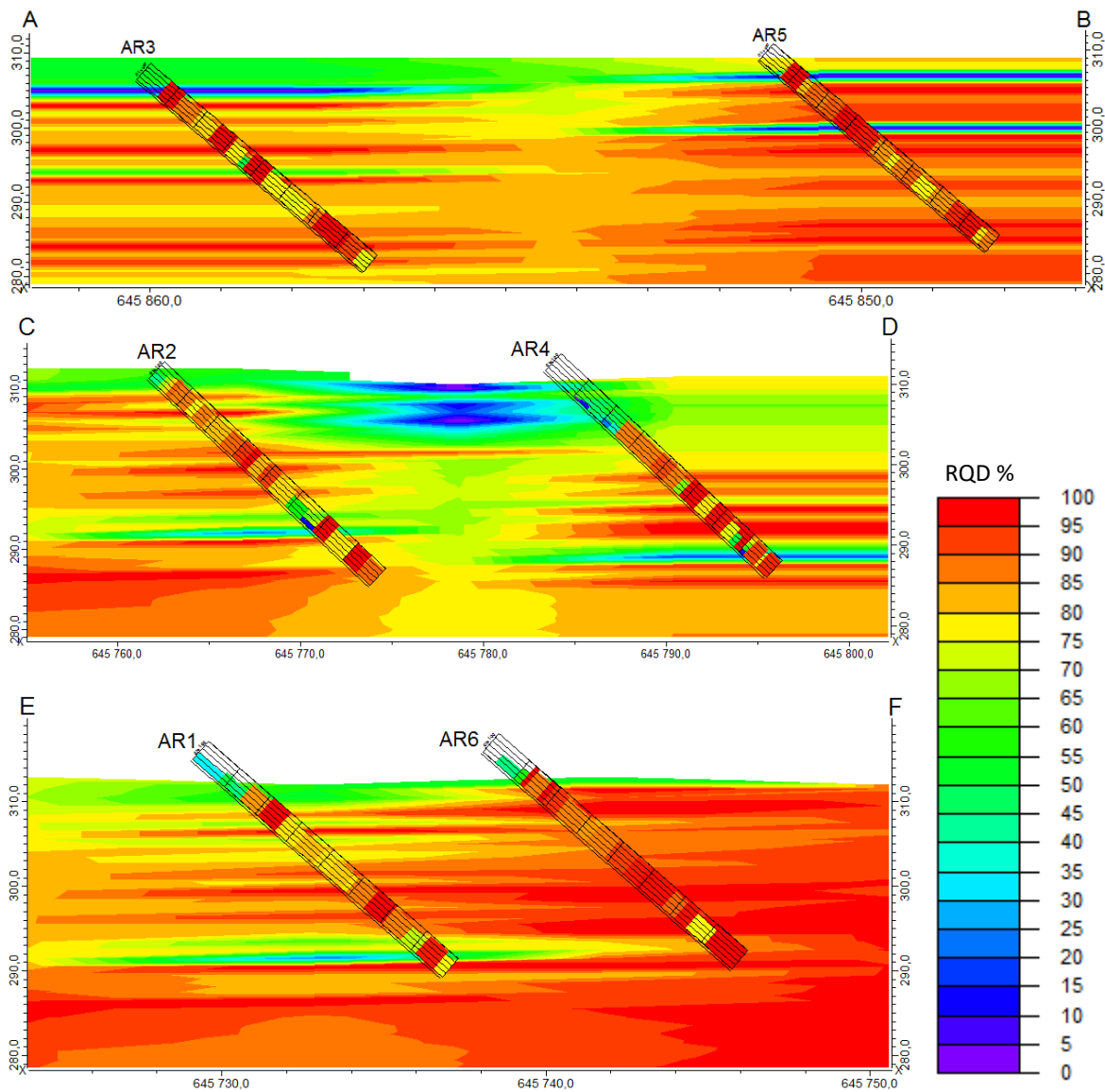


Figura 25 - Perfis interpretativos do RQD - "Rock Quality Designation".

Através da análise dos perfis é possível verificar, de uma forma geral, que o maciço é coeso e compacto, não apresentando índices de fracturação preocupantes, uma vez que apresenta um RQD maioritariamente superior a 75%, sendo classificado, segundo Deere & Deere (1988) (quadro 23), como maciço de boa qualidade.

Também se pode averiguar que este possui uma camada de alteração superficial com pouca espessura que diminui rapidamente de intensidade.

De seguida foi realizado um modelo tridimensional (figura 26) com o objetivo de representar o maciço rochoso com uma qualidade classificada como boa a excelente, segundo Deere & Deere (1988) (quadro 23), ou seja, com um RQD igual ou superior a 75%.

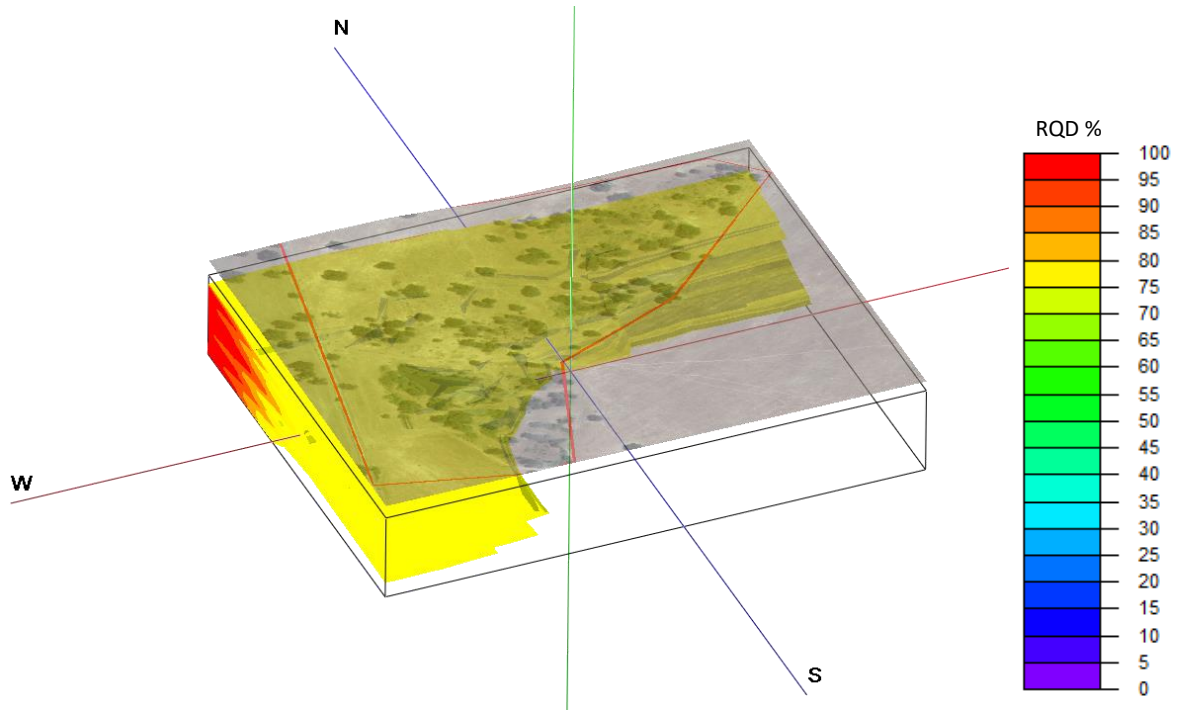


Figura 26 - Modelo tridimensional do RQD - "Rock Quality Designation".

Após o estudo do modelo tridimensional representado na figura 26 verifica-se que a massa mineral é competente e que apresenta os valores mais elevados na zona NW da área estudada, sendo esta a zona que apresenta um maior grau de confiança. O baixo grau de competência demonstrado na zona SE da massa mineral, pode não corresponder à realidade, uma vez que esta zona apresenta uma grande distância aos locais amostrados, e por isso, um grau de confiança relativamente baixo.

5.2.4. Cálculo de reservas

O cálculo de reservas do maciço rochoso (quadro 35), foi realizado considerando, dentro do possível, os condicionalismos de exploração presentes. Neste cálculo foram definidos dois tipos de reservas:

- Reservas brutas: Volume total de reservas disponível para cada litologia na área em estudo.
- Reservas úteis: Volume total de reservas com qualidade para aplicação como rocha ornamental disponível na área em estudo.

Quadro 35 – Cálculo dos volumes e reservas indicativas de cada litologia.

Litologia	Volumes (m ³)	Possança mínima (m)	Reservas geológica (m ³) ⁽¹⁾	Reservas úteis (m ³) ⁽²⁾	% Aproveitamento
Gabro	1634507	4	1256622	712204	44
Rocha híbrida	675086	4	336749	190856	48
Granito Rosa	189610	2	132751	75238	40
Granito	20112	-	-	-	-
Mistura	109683	-	-	-	-
Zona de alteração	182628	-	-	-	-

(1) – Volume delimitado pela possança;
(2) – Volume delimitado pela possança e pelas descontinuidades.

O cálculo de reservas foi efetuado com recurso ao *software RockWorks 16* e aplicações auxiliares, no qual através dos dados fornecidos pelas sondagens realizadas, se dimensionou um modelo litológico tridimensional e posteriormente se calculou os volumes das litologias com a possança correspondente ao índice dimensional (Reservas geológica ⁽¹⁾), considerando-se as zonas litológicas com possança inferior como rejeito. De seguida, através das famílias de descontinuidades e suas características, verificou-se a quantidade de blocos-tipo passíveis de extrair na área da exploração e calculou-se o seu volume para cada litologia (Reservas úteis ⁽²⁾).

Após a análise do quadro 35, é possível concluir que as litologias gabro, rocha híbrida (gabrodiorito) e granito rosa possuem reservas com potencial para exploração ornamental.

5.2.5. Caracterização geomecânica e tecnológica

Como referido anteriormente, a caracterização geomecânica e tecnológica é fundamental para caracterizar o respetivo modelo geomecânico e conhecer as propriedades físicas e mecânicas da rocha ornamental de forma a responder a aspetos de ordem legais e de compromisso com interesses do mercado. Os ensaios realizados no maciço em estudo foram os seguintes:

5.2.5.1. Ensaios “*in situ*” - Esclerómetro ou “*Martelo de Schmidt*”

O ensaio Esclerómetro ou “*Martelo de Schmidt*” realizado no maciço da pedra da Herdade do Montinho segundo o perfil de amostragem a - b (figura 27), foi efetuado pela VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009) e teve como objetivo determinar a resistência à compressão uniaxial.



Figura 27 – Perfil de amostragem a – b (VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

A resistência à compressão uniaxial foi determinada como explicado no quadro 24, ou seja, foram definidos 5 pontos de ensaio, para cada ponto foram registadas 10 percussões com o “*Martelo de Schmidt*” (quadro 36) e eliminados os cinco valores mais baixos, sendo que o valor considerado foi a média dos cinco valores mais altos.

Quadro 36 – Resultados do ensaio da resistência à compressão (“Martelo de Schmidt”) (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009).

Distância à origem (m)	Litologia	Valor do ensaio de percussão (Ressalto “Rebound”, R)										Valor médio do ressalto (R)	Orientação do martelo (°)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	Gabro / Gabrodiorito	44	34	50	46	24	44	48	48	0	44	47,2	90
2		50	44	34	44	50	56	54	58	32	48	53,6	90
4		40	34	28	44	48	50	54	52	42	0	49,6	90
6		42	42	42	48	58	56	56	58	52	56	56,8	90
8		26	44	26	50	54	44	52	46	44	46	49,6	90

Posteriormente, considerando a litologia do maciço rochoso (gabro a gabrodiorito) definiu-se um peso volúmico de 29,0 kN/m³. E com os valores médios do ressalto (“Rebound”, R) para cada ponto do ensaio, com o peso volúmico da rocha e com a orientação do martelo recorreu-se ao ábaco de Miller (quadro 24) e obteve-se os valores de resistência à compressão uniaxial representados no quadro 37.

Quadro 37 – Resultados do ensaio da resistência à compressão (“Martelo de Schmidt”) e respetiva classe de resistência (adaptado de V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A., 2009; ISRM, 1981).

Distância à origem (m)	Valor médio do ressalto (R médio)	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de resistência (ISRM, 1981)
0	47,2	130 - 150	S ₂
2	53,6	200 - 220	S ₁
4	49,6	160 - 180	S ₂
6	56,8	250 - 270	S ₁
8	49,6	160 - 180	S ₂
Médio	51,36	180 - 200	S ₂

A classificação do maciço rochoso, apresentada no quadro 37, foi obtida pela consulta da proposta feita por ISRM (1981), que divide o maciço em cinco classificações (quadro 38).

Quadro 38 - Classificação do maciço em função da resistência à compressão simples (ISRM, 1981).

Resistência à compressão simples (ISRM, 1981)				
Intervalos MPa	Simbologia		Designações	
> 200	S ₁	S ₁₋₂	Muito elevada	Elevada
60 - 200	S ₂		Elevada	
20 - 60	S ₃	S ₃	Média	Média
6 - 20	S ₄	S ₄₋₅	Baixa	Baixa
< 6	S ₅		Muito baixa	

Após análise dos resultados apresentados no quadro 37 é possível verificar que o maciço apresenta uma resistência à compressão uniaxial média de 180 MPa a 200 MPa, sendo classificado quanto à resistência como S₂, de elevada resistência (ISRM, 1981).

5.2.5.2. Ensaios laboratoriais e amostragem

Os ensaios laboratoriais têm como propósito definir as características geométricas e físico-mecânico do material amostrado, determinar índices permitam analisar a viabilidade das rochas como rocha ornamental e prever o seu desempenho.

No quadro 39 encontram-se representados os ensaios realizados para a caracterização do gabro e gabrodiorito, estes foram efetuados pela empresa VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009), em amostras recolhidas a dezembro de 2008, numa frente explorável da pedreira, com o intuito de verificar a sua viabilidade como balastro.

Quadro 39 – Ensaios laboratoriais realizados.

Ensaio	Norma
Compressão simples	EN 1926:2006
Análise petrográfica	NPEN 932- 3: 2002

5.2.5.2.1. Análise petrográfica

A análise petrográfica permite determinar a composição mineralógica, a natureza da rocha, caracterizar a sua textura e microfissuração, assim como, identificar o estado de alteração dos minerais constituintes.

Foi realizado um Estudo Mineralógico e Petrográfico na amostra recolhida, pelo Laboratório LGMC (Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção) do CICCOPN, segundo o método e terminologia para a descrição petrográfica simplificada, norma NPEN 932- 3: 2002.

No quadro 40 encontra-se representada uma síntese das características analisadas na amostra e no Anexo V pode-se consultar o relatório integral do ensaio.

Quadro 40 – Síntese dos resultados da análise petrográfica (adaptado de LGMC, 2009).

Descrição simplificada		Classificação geológica	
Estrutura	Compacta		
Textura	Halocristalina, fanerítica, grão fino	Minerais presentes e respetivas dimensões Idade geológica	Plagióclase (50%), Anfíbola – horneblenda (20%), Biotite (15%), Quartzo (5%), Piroxena (5%) e Acessórios (5%). As dimensões dos minerais são inferiores a 1,5 mm. Hercínica
Alteração	Sã a pouco alterada (W ₁₋₂)		
Superfície	Áspera		
Porosidade	Baixa		
Anisotropia	Isotrópica		
Outras propriedades	Cor: cinza escura	Classificação geológica	Rocha ígnea plutónica – Diorito

5.2.5.2.2. Resistência à compressão

O valor da tensão de rotura por compressão uniaxial é indicativo da resistência das rochas quando submetidas à pressão de carga, proporcionando uma informação da qualidade e robustez dos materiais. Este ensaio caracteriza a rocha com base na sua resistência e deformabilidade, sendo

normalmente exigido para todas aplicações das rochas ornamentais, sobretudo para aquelas que serão aplicadas como elementos de sustentação.

A resistência à compressão foi determinada pelo ensaio de compressão uniaxial, segundo as prescrições da norma EN 1926:2006, onde o valor correspondente à resistência à compressão uniaxial, R_c , de cada provete é expressa através da razão entre a carga de rutura (F) do provete e a área da sua secção transversal (A) (equação 6):

Equação 6 - Resistência à compressão (R_c)

$$R_c = \frac{F}{A}$$

No quadro 41 encontram-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, e no Anexo VI pode-se consultar o relatório integral do ensaio.

Quadro 41 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão (adaptado de LGMC, 2009).

Provete	Forma	h (mm)	d_m (mm)	A (mm ²)	F (kN)	R (MPa)
1	Cilíndrico	49,08	47,38	1763,1	465,2	263,85
2	Cilíndrico	48,31	47,31	1757,9	479,3	272,65
3	Cilíndrico	51,01	47,36	1761,6	385,7	218,95
4	Cilíndrico	48,23	47,34	1760,1	305,1	173,34
5	Cilíndrico	49,99	47,43	1766,8	413,0	233,76
6	Cilíndrico	49,55	47,31	1757,9	277,9	158,09
7	Cilíndrico	51,51	47,37	1762,4	421,6	239,22
8	Cilíndrico	49,88	47,35	1760,9	315,0	178,89
9	Cilíndrico	48,77	47,37	1762,4	417,9	237,12
10	Cilíndrico	49,03	47,34	1760,1	487,0	276,69
R_m (MPa)	225		R_{max} (MPa)	277		
R_{mín} (MPa)	158		E (MPa)	146		

Onde:

h – Altura do provete (mm);

d_m – Valor médio do diâmetro (mm);

A – Área do provete (mm²);

F – Força de rutura (kN);

R – Resistência à compressão (MPa);

5.2.5.3. Índices físicos e outros ensaios de caracterização

Com o objetivo de analisar a viabilidade do maciço rochoso em estudo como rocha ornamental e devido à ausência de alguns índices físicos e ensaios de caracterização essenciais, empregaram-se os dados padrão para estas litologias fornecidos por (Leite & Moura, 2017) referentes ao diorito de Arroches (Anexo VII), localizado na freguesia de Arronches, lugar do Monte das Escarninhas. E os valores padrão fornecidos por (Leite & Moura, 2017) referentes ao granito rosa de Arronches (Anexo VIII), localizado na freguesia de Arronches, lugar Herdade das Pinas.

No quadro 42 encontram-se representados os índices e características físico-mecânicas fornecidas por (Leite & Moura, 2017).

Quadro 42 – Características físico-mecânicas do gabro / gabrodiorito de Arronches e do granito rosa de Arronches (adaptado de Leite & Moura, 2017).

Características físico-mecânicas	Gabro / gabrodiorito de Arronches	Granito rosa Arronches
Resistência mecânica à compressão (kg/cm ²)	1660	1340
Resistência mecânica à compressão após teste de gelividade (kg/cm ²) *	1820	1530
Resistência mecânica à flexão (kg/cm ²)	173	120
Massa volúmica aparente (kg/m ³)	2840	2630
Absorção de água (%)	0,1	0,2
Porosidade aberta (%)	0,4	0,4
Coefficiente de dilatação linear térmica valor máximo	6,3 x 10 ⁻⁶ por ° C	9,3 x 10 ⁻⁶ por ° C
Resistência ao choque	Altura mínima de queda 75 cm	Altura mínima de queda 55 cm
Resistência ao desgaste (mm)	0,5	0,4
Resistência ao gelo (nº ciclos gelo-degelo)	> 25	> 25

5.2.5.4. Análise dos resultados dos ensaios tecnológicos e aplicações práticas

Na análise e comparação dos resultados representadas no quadro 43, foram considerados os valores de referência e especificações definidas por Moura *et al.* (2000), e comparados com os

valores dos ensaios de caracterização tecnológica do gabro/gabrodiorito anteriormente apresentados, fornecidos por Leite & Moura (2017) (quadro 42), e com os dos ensaios realizados pela VISA – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente, S.A. (2009) com aplicação para caracterização como rocha ornamental, de forma a avaliar o seu potencial para aplicação como rochas ornamentais.

Quadro 43 – Comparação dos valores especificados para aplicações como rocha ornamental com os valores característicos do gabro/ gabrodiorito de Arronches (adaptado de Moura et al., 2000; Leite & Moura, 2017).

	Diorito Gabro	Gabro / gabrodiorito de Arronches		Cumpre os requisitos
		Leite & Moura (2017)	Visa – Consultores (2009)	
Peso Específico Aparente (kg/dm ³) DIN 52102/ EN 1936	2,8 - 3,0	2,84	-	✓
Peso Específico Absoluto (kg/dm ³) DIN 52102	2,85 - 3,05	-	-	-
Porosidade Total (%) DIN 52102	0,5 - 1,2	-	-	-
Absorção de Água (% peso) DIN 52103 / EN 13755	0,2 - 0,4	0,1	-	✓
Porosidade Aberta (% volume) DIN 52103 / EN 1936	0,5 - 1,2	0,4	-	✓
Resistência à Compressão da Pedra Seca (kg/cm ²) DIN 52105 / EN 1926	1700 - 3000	1660	2294	✓
Resistência à Tracção na Flexão (kg/cm ²) DIN 52112 / EN 12372	100 - 220	173	-	✓
Desgaste por Abrasão com tribómetro de Amsler (mm) ⁽¹⁾ Norma NP-309	≤0,4 - ≤1,0	0,5	-	✓
Coefficiente de dilatação linear térmica valor Máx (/° C)	-	6,3 x 10 ⁻⁶	-	-
Resistência ao choque - altura mínima de queda (cm) ⁽²⁾ EN 14158	≥ 30	75	-	-
Gelividade (nº ciclos gelo-degelo)	-	> 25	-	-

No quadro 44 pode-se analisar e comparar os valores de referência definidos por Moura *et al.* (2000) para os granitóides com potencial ornamental, com os valores fornecidos por Leite & Moura (2017), anteriormente apresentados (quadro 42), para o granito rosa de Arronches, de forma a avaliar o seu potencial para aplicação como rocha ornamental.

Quadro 44 - Comparação dos valores especificados para aplicações como rocha ornamental com os valores característicos do granito rosa de Arronches (adaptado de Moura et al., 2000; Leite & Moura, 2017).

	Granito Sienito	Granito rosa de Arronches	Cumpre os requisitos
Peso Específico Aparente (kg/dm³) DIN 52102/ EN 1936	2,6 - 2,8	2,63	✓
Peso Específico Absoluto (kg/dm³) DIN 52102	2,62 - 2,85	-	-
Porosidade Total (%) DIN 52102	0,4 - 1,5	-	-
Absorção de Água (% peso) DIN 52103 / EN 13755	0,2 - 0,5	0,2	✓
Porosidade Aberta (% volume) DIN 52103 / EN 1936	0,4 - 1,4	0,4	✓
Resistência à Compressão da Pedra Seca (kg/cm²) DIN 52105 / EN 1926	1600 - 2400	1340	✓
Resistência à Tracção na Flexão (kg/cm²) DIN 52112 / EN 12372	100 - 200	120	✓
Desgaste por Abrasão com tribómetro de Amsler (mm) ⁽¹⁾ Norma NP-309	≤0,4 - ≤1,0	0,4	✓
Coefficiente de dilatação linear térmica val. Máx (/° C)	-	9,3 x 10 ⁻⁶	-
Resistência ao choque - altura mínima de queda (cm) ⁽²⁾ EN 14158	≥ 30	55	-
Gelividade (nº ciclos gelo-degelo)	-	> 25	-

Notas:

- (1) Proposta de valores de resistência ao desgaste (Moura *et al.*, 2000)

Quadro 45 – Proposta de valores de resistência ao desgaste (adaptado de Moura *et al.*, 2000).

Características do tráfego	Tribómetro de Amsler (percurso de 200 metros)
Muito intenso *	≤0,4 mm
Intenso * a forte	≤0,7mm
Forte	≤1,0mm
Outros tipos	Sem restrições

* inclui tráfego de veículos e carrinhos de carga

- (2) Proposta de valores de resistência ao choque (valores-guias mínimos para placas de 3 cm de espessura) (Moura *et al.*, 2000)

Quadro 46 – Valores-guia mínimos da resistência ao choque por impacto para produtos em pedra maciça (adaptado de Moura *et al.*, 2000).

Aplicação	Altura mínima de queda
Uso privada, excluindo cozinhas	30 cm
Uso coletivo	45 cm
Uso público	60 cm

De seguida, apresentam-se umas breves noções das propriedades físicas e mecânicas estudadas, assim como uma análise e comparação dos quadros 43 e 44 com o quadro 27, onde é possível verificar a importância relativa de ensaios físico-mecânicos tendo em vista as aplicações mais comuns.

A massa volúmica aparente é determinada pela relação entre o peso do material seco e o seu volume aparente. Numa rocha quanto maior esta for, menor será a absorção de água e a porosidade. A massa volúmica aparente apresenta elevada relevância na determinação do peso dos elementos a colocar em obra, possibilitando assim o seu correto dimensionamento.

A massa volúmica aparente do gabro/gabrodiorito ronda os 2,84 kg/dm³ e a do granito rosa 2,63 kg/dm³, valores que se situam dentro dos padrões apresentados nos quadros 43 e 44.

A absorção de água indica uma relação percentual entre o peso da amostra e a água contida nos poros desta que estão em contacto com o exterior e nos que estão interligados com estes. Este parâmetro está diretamente relacionado com suscetibilidade da amostra ser alterada.

A absorção de água do gabro/gabrodiorito é de 0,1%, valor inferior ao intervalo apresentado no quadro 43, mas que não se apresenta como fator nocivo, e sim como um fator de competência pois demonstra que a rocha apresenta uma menor suscetibilidade a ser alterada pelos agentes atmosféricos ou químicos. E a absorção de água da litologia granito rosa é de 0,2%, valor que se situa dentro dos padrões apresentados no quadro 44.

A porosidade é expressa pelo volume de vazios na unidade de volume total. Este parâmetro influencia as suas características mecânicas assim como a suscetibilidade à alteração e à gelividade.

A porosidade do gabro/gabrodiorito é de 0,4%, valor inferior ao intervalo apresentado no quadro 43, e assim como a absorção de água, este parâmetro apresenta-se como um fator de competência pois demonstra indícios que a rocha possui boa resistência à compressão, é pouco permeável e gelível. Por outro lado, o granito rosa apresenta uma porosidade de 0,4%, valor que se situa dentro dos padrões apresentados no quadro 44.

A resistência à compressão do gabro/gabrodiorito é de 2294 kg/cm², valor aceitável no intervalo apresentado no quadro 43, enquanto que o granito rosa apresenta uma resistência à compressão de 1340 kg/cm², valor inferior ao intervalo apresentado no quadro 44, mas não se apresenta como um fator prejudicial, pois embora este parâmetro seja importante, em condições normais, as rochas ornamentais trabalham sujeitas a esforços abaixo da sua resistência à compressão.

A resistência mecânica à flexão é uma propriedade importante numa rocha ornamental sobretudo em aplicações de revestimentos exteriores de fachadas e no dimensionamento de escadarias, consolas e bancadas. O gabro/gabrodiorito e o granito rosa apresentam uma resistência mecânica à flexão de 173 kg/cm² e 120 kg/cm² respetivamente, enquadrando-se no intervalo de valores padrão definidos nos quadros 43 e 44.

A resistência ao choque está relacionada com a tenacidade da rocha e a sua capacidade de suportar ações dinâmicas instantâneas. Esta propriedade é relevante no dimensionamento de pavimentos e revestimentos de paredes em zonas baixas como por exemplo nos rodapés.

A avaliação da qualidade das pedras naturais relativamente ao seu comportamento face a este parâmetro ainda não possui regras específicas definidas, no entanto para o seu estudo realizou-se o ensaio definido na norma EN 14158, cujo resultado representa a altura mínima de queda para a qual ocorre a rotura do provete de pedra, o resultado deste ensaio para o gabro/gabrodiorito é de 75 cm e para o granito rosa é de 55 cm. Segundo as especificações para produtos em pedra maciça descritas por Moura *et al.* (2000), apresentadas no quadro 43, o gabro/gabrodiorito pode ser aplicado em todos os casos, enquanto que o granito rosa apresenta algum risco para aplicações de pedra maciça de uso público (alvenarias e cantarias, bancos de jardins, guias de passeio, entre outros).

A resistência ao desgaste que a rocha oferece está ligada à dureza dos minerais constituintes e à sua compacidade, ou seja, uma rocha será tanto mais abrasável quanto menor for a sua dureza. O método de estudo desta propriedade varia de país para país, e o utilizado para determinar os valores apresentados neste trabalho foi o do tribómetro de Amsler-Laffon (Norma NP-309: 1962), que consiste em submeter à abrasão, num parto animado de movimento circular e utilizando como abrasivo areia siliciosa calibrada, durante um percurso de 200 metros, provetes de 60x60x30 mm com acabamento adequado e previamente secos. Onde a resistência ao desgaste é indicada pela perda de espessura, em mm, de cada provete (Leite & Moura, 2017). A resistência ao desgaste obtida para o gabro/gabrodiorito é de 0,5 mm e para o granito rosa é de 0,4 mm. Segundo as especificações definidas por Moura *et al.* (2000), quadros 43 e 44, o granito rosa não apresenta nenhuma limitação para este parâmetro, enquanto que o gabro/gabrodiorito necessita de algum acautelamento para aplicações com tráfego muito intenso.

A dilatação linear térmica é um dos principais fatores de estudo para rochas que se destinam a revestir edificações, uma vez que estas estarão sujeitas a uma grande variação de temperatura, e como acontece com outros materiais, as rochas contraem-se sob a ação do frio e dilatam-se sob a ação do calor, sendo a determinação desta propriedade um fator muito importante para dimensionar as juntas de dilatação quando os materiais vão ser utilizados em revestimentos exteriores e interiores. O coeficiente de dilatação linear térmica máximo foi medido por intermédio de um dilatómetro *Adamel-Lhomargy* de grande precisão (Leite & Moura, 2017), e obteve-se para o gabro/gabrodiorito e para o granito rosa, $6,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ e $9,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ respetivamente.

A gelividade é a característica da rocha através da qual se avalia o efeito que a passagem da água do estado líquido ao sólido provoca na estrutura cristalina da rocha. O congelamento frequente da água nos poros, vazios e fissuras da rocha desencadeia tensões que levam ao enfraquecimento das ligações intercristalinas, dando-se a diminuição da sua resistência ou mesmo a degradação dos seus minerais constituintes. O conhecimento deste parâmetro assume elevada importância quando se pretende aplicar a rocha em escadaria ou revestimentos exteriores (Rocha, 2016). A resistência do gabro/gabrodiorito e do granito rosa é superior a 25 ciclos gelo-degelo.

Em suma, através da análise referida anteriormente é possível concluir que o gabro/gabrodiorito pode ser utilizado em revestimentos (interiores ou exteriores), pavimentos (interiores ou exteriores), colunas e pilares, devendo-se possuir algum cuidado para aplicações com tráfego intenso.

O granito rosa, assim como o gabro/gabrodiorito, detém características que permitem a sua utilização numa grande série de aplicações, mas apresenta como limitação a sua utilização em pedra maciça de uso público devido à sua resistência ao choque por impacto.

5.2.6. Análise do mercado

A procura nos mercados de determinado tipo de pedra, é um dos fatores fulcrais para determinar o seu valor, pois toda a pedra que não atingir um elevado índice de procura, terá de ser vendida em condições especialmente vantajosas, que só podem ser alcançadas através de operações de exploração e transformação particularmente rentáveis. No caso da pedra natural destinada a fins ornamentais, as características estéticas são um fator fundamental de seu valor e assumem-se como um parâmetro subjetivo, sujeito às flutuações da moda sempre difíceis de prever (Moura *et al.*, 2000).

As rochas de tonalidades rosadas e as rochas de tonalidades escuras, como é o caso do granito rosa e do gabro / gabrodiorito de Arronches, são esteticamente bastante apreciadas e com grande valor ornamental.

As aplicações mais procuradas no mercado para as rochas de tonalidades escuras como o gabro / gabrodiorito de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), objetos decorativos, tampos de mesa e balcões de cozinha, e arte funerária (lápides), por outro lado, as aplicações mais utilizadas para as rochas de tonalidades rosadas como o granito rosa de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), tampos de mesa e balcões de cozinha.

5.3. Síntese do capítulo

Através do estudo geológico-geotécnico e geomecânico e dos resultados dos ensaios tecnológicos adquiridos resultam os seguintes aspectos conclusivos:

- A massa mineral em estudo possui as seguintes litologias: gabros, granito e granito rosa, “mistura”, gabrodioritos híbridos ou rochas híbridas e zona alterada ou solos.
- As litologias dominantes do maciço rochoso são o gabro e os gabrodioritos híbridos (apresentando 82% da volumetria total), as quais possuem intercalações de litologias graníticas e “mistura”, com dimensões decimétricas a métricas e tendência a apresentar continuidade lateral em toda a extensão da pedreira (correspondendo a 12% do total da massa mineral). Os solos ou zona alterada representam 6% da volumetria do maciço rochoso, e apresentam uma possança máxima de cerca de seis metros.
- Os resultados obtidos com recurso ao *software RockWorks 16*, possuem um grau de confiança diretamente relacionado com a distância às sondagens, pois foi através da sua análise que se determinou todos os parâmetros referidos anteriormente, e se realizou os perfis e modelos tridimensionais. Na figura 28 encontra-se representado um mapa de contornos das distâncias às sondagens, onde se pode verificar as zonas para as quais os resultados obtidos apresentam um maior ou menor grau de confiança.

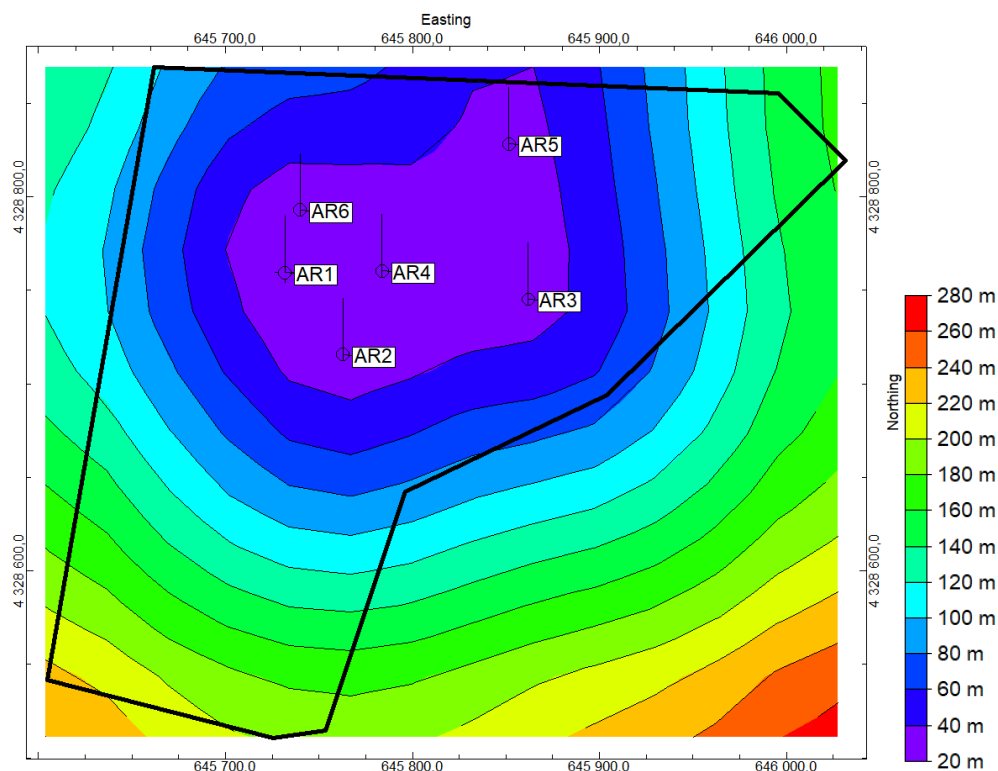


Figura 28 – Mapa de contornos da distância às sondagens.

- O maciço rochoso apresenta uma boa qualidade, em termos de resistência à compressão uniaxial classifica-se com elevada resistência (S_2) com um valor médio de 180 – 200 MPa. Possui uma baixa intensidade de fracturação em toda a extensão da área da pedreira, sendo coesa e compacta, cortada por diaclasamento disperso segundo 3 a 4 direções principais.
- Através da análise dos dados recolhidos das descontinuidades na área de corta da pedreira e nos afloramentos, identificaram-se três famílias de fraturas (Família 1 - N80-90°E; 80°SE; Família 2 - N150-160°E; 30°NE e a Família 3 - N60-70°E; 50°SE) as quais se apresentam como muito afastadas (F_1), e compartimentam o maciço rochoso em blocos grandes, com uma dimensão média de 4,0 m e um volume previsto entre 1 e 25 m³.
- A análise petrográfica realizada na litologia dominante permitiu verificar que esta possui uma estrutura compacta, sã a pouco alterada (W_{1-2}), de cor cinza escura e uma textura halocristalina, fanerítica e grão fino.
- Através da análise e comparação dos índices físicos e dos ensaios de caracterização com os valores de referência e especificações definidos por Moura *et al.* (2000) e o quadro 27 com a importância relativa de ensaios físico-mecânicos tendo em vista as aplicações mais comuns, foi possível concluir que o gabro/gabrodiorito pode ser utilizado em revestimentos (interiores ou exteriores), pavimentos (interiores ou exteriores), colunas e pilares, devendo-se possuir algum cuidado para aplicações com tráfego intenso. O granito rosa, assim como o gabro/gabrodiorito, detém características que permitem a sua utilização numa grande série de aplicações, mas apresenta como limitação a sua utilização em pedra maciça de uso público devido à sua reduzida resistência ao choque por impacto.
- Relativamente ao mercado, as rochas de tonalidades rosadas e as de tonalidades escuras, como é o caso do granito rosa e do gabro / gabrodiorito de Arronches, são bastante apreciadas e procuradas, possuindo elevado valor ornamental, as aplicações geralmente utilizadas e, conseqüentemente, mais procuradas no mercado para as rochas de tonalidades escuras como o gabro / gabrodiorito de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), objetos decorativos, tampos de mesa e balcões de cozinha, e arte funerária (lápides), por outro lado, as aplicações mais utilizadas para as rochas de tonalidades rosadas como o granito rosa de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), tampos de mesa e balcões de cozinha.

6 – Proposta de projeto da instalação de transformação

6. Proposta de projeto da instalação de transformação

6.1. Planta da instalação

A instalação de transformação (figura 29) localiza-se nas imediações da exploração e contabiliza duas grandes sub-áreas (Anexo IX): a área do parque de blocos e a da oficina de transformação.

Para a elaboração da planta da instalação recorreu-se a um *software* do tipo CAD - desenho auxiliado por computador – *Autocad 2016*.

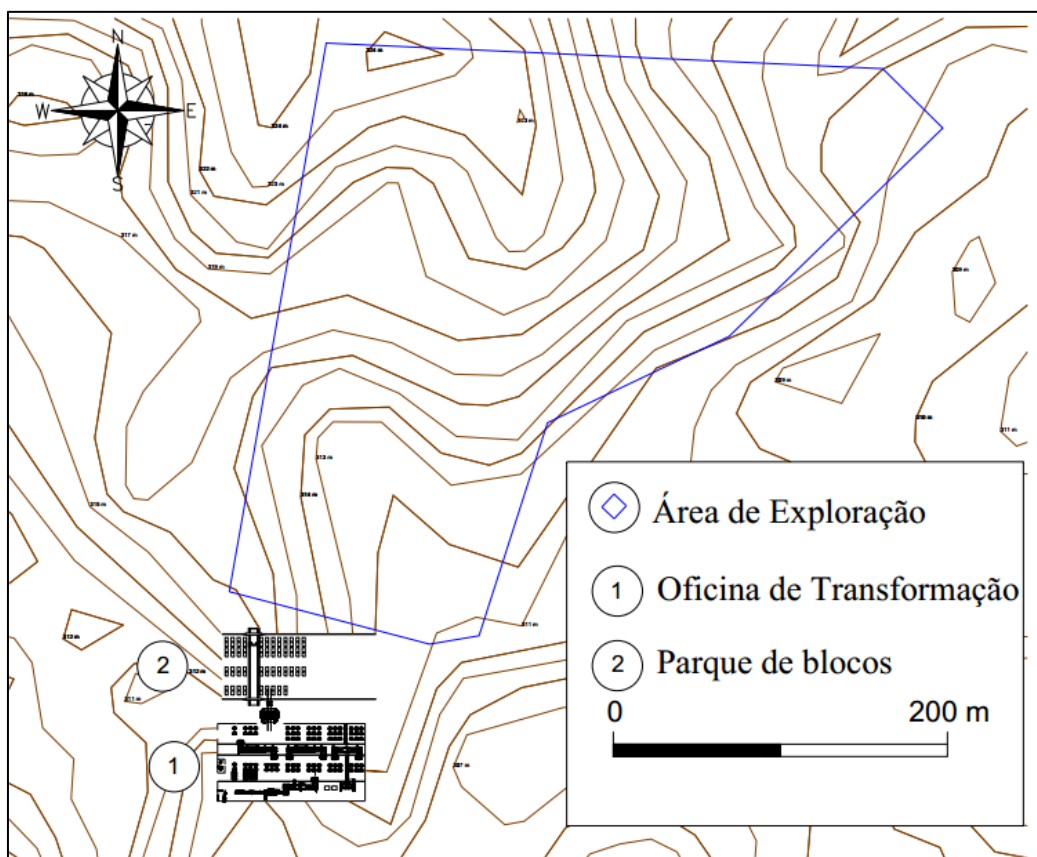


Figura 29 - Planta da instalação.

6.2. Produtos finais previstos

A oficina de transformação será dimensionada, de forma a corresponder às exigências do mercado, com a máxima eficiência possível. Para isso, definiu-se os produtos finais mais procurados tendo em conta o material disponível, os quais podem agrupados em:

- Pedra maciça;
- Placas para revestimento de paredes interiores e exteriores;
- Placas para revestimento de degraus de escadas e de pavimentos, interiores e exteriores;
- Trabalhos especiais (tampos de mesa, balcões de cozinha, entre outros).

Estes produtos podem assumir variadas dimensões e acabamentos, dependendo da aplicação a que se destinam, as quais se encontram representados nos quadros 47 e 48:

Quadro 47 – Dimensões e acabamentos de ladrilhos e placas de revestimento de paredes interiores.

Dimensões (cm)		Espessura (cm)	Acabamentos	
30x30	40x40	2,0	Polido	Areado
50x50	60x60	3,0	Flamejado	
60x40	Outros	Outros	Bujardado	

Quadro 48 - Dimensões e acabamentos de placas de revestimento fachadas.

Dimensões (cm)		Espessura (cm)	Acabamentos	
30x30	40x40	2,0	Polido	Areado
50x50	60x60	3,0	Flamejado	
60x40	Outros	Outros	Bujardado	

No entanto, para que estes produtos sejam obtidos de uma forma otimizada, terá de haver uma escolha criteriosa e rigorosa dos equipamentos.

6.3. Método de transformação

A atividade transformadora é caracterizada por esquemas produtivos muito diversificados dependendo do produto final pretendido, no fluxograma seguinte (figura 30), é possível verificar o *layout* da oficina e as linhas de transformação definidas:

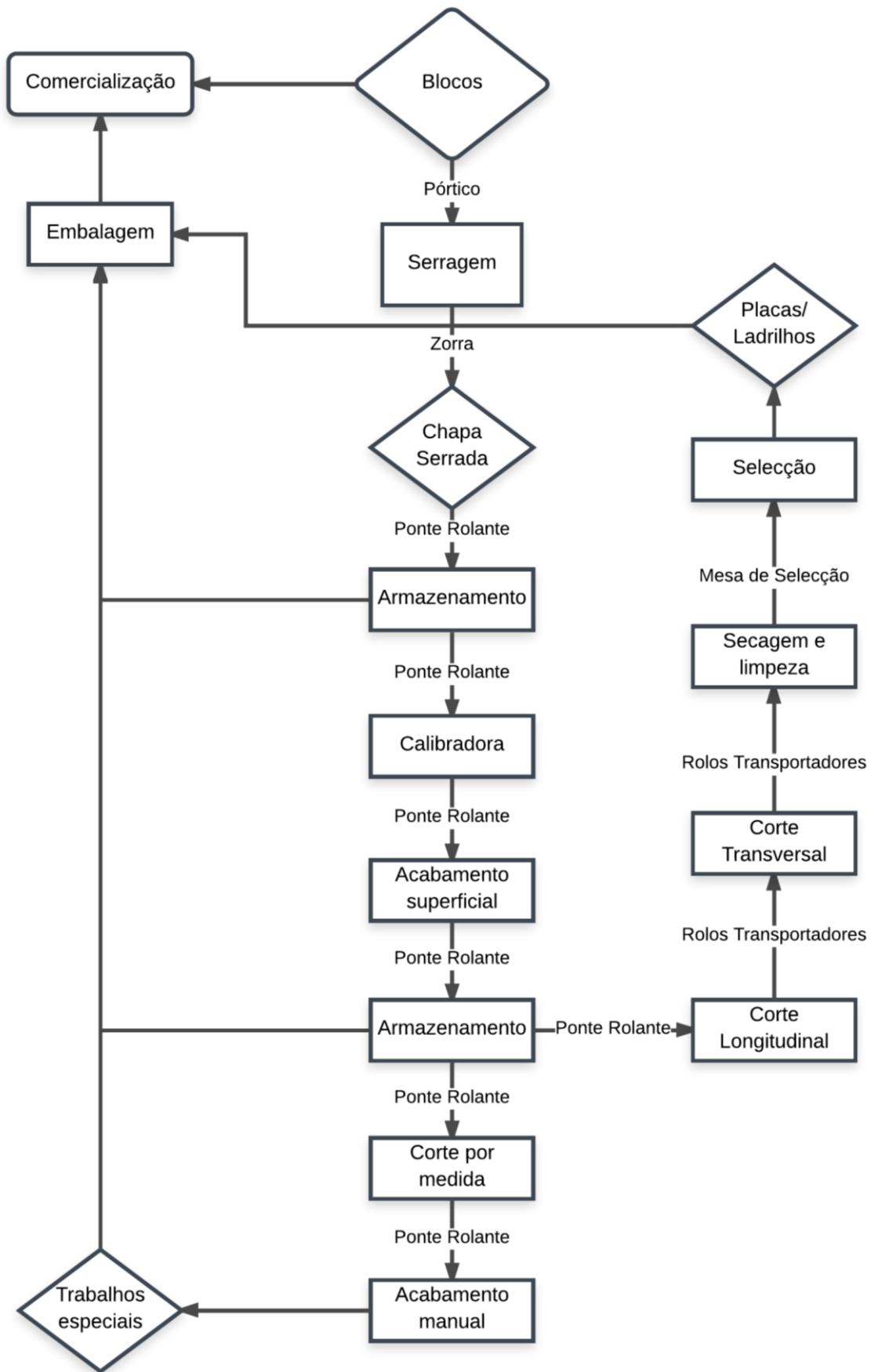


Figura 30 – Fluxograma do layout da oficina de transformação.

6.3.1. Layout da oficina de transformação

O *layout* da oficina de transformação acomoda duas linhas principais de transformação às quais foi atribuído um nome, em função do que lá é transformado, definindo-se assim a linha de placas e ladrilhos e a linha de trabalhos especiais.

Para uma melhor compreensão do processo produtivo, será apresentado primeiro uma imagem do *layout* da oficina de transformação (figura 31, Anexo IX) seguido de uma descrição do processo produtivo. Na elaboração do *layout* da oficina de transformação recorreu-se a um *software* do tipo CAD - desenho auxiliado por computador – *Autocad 2016*.

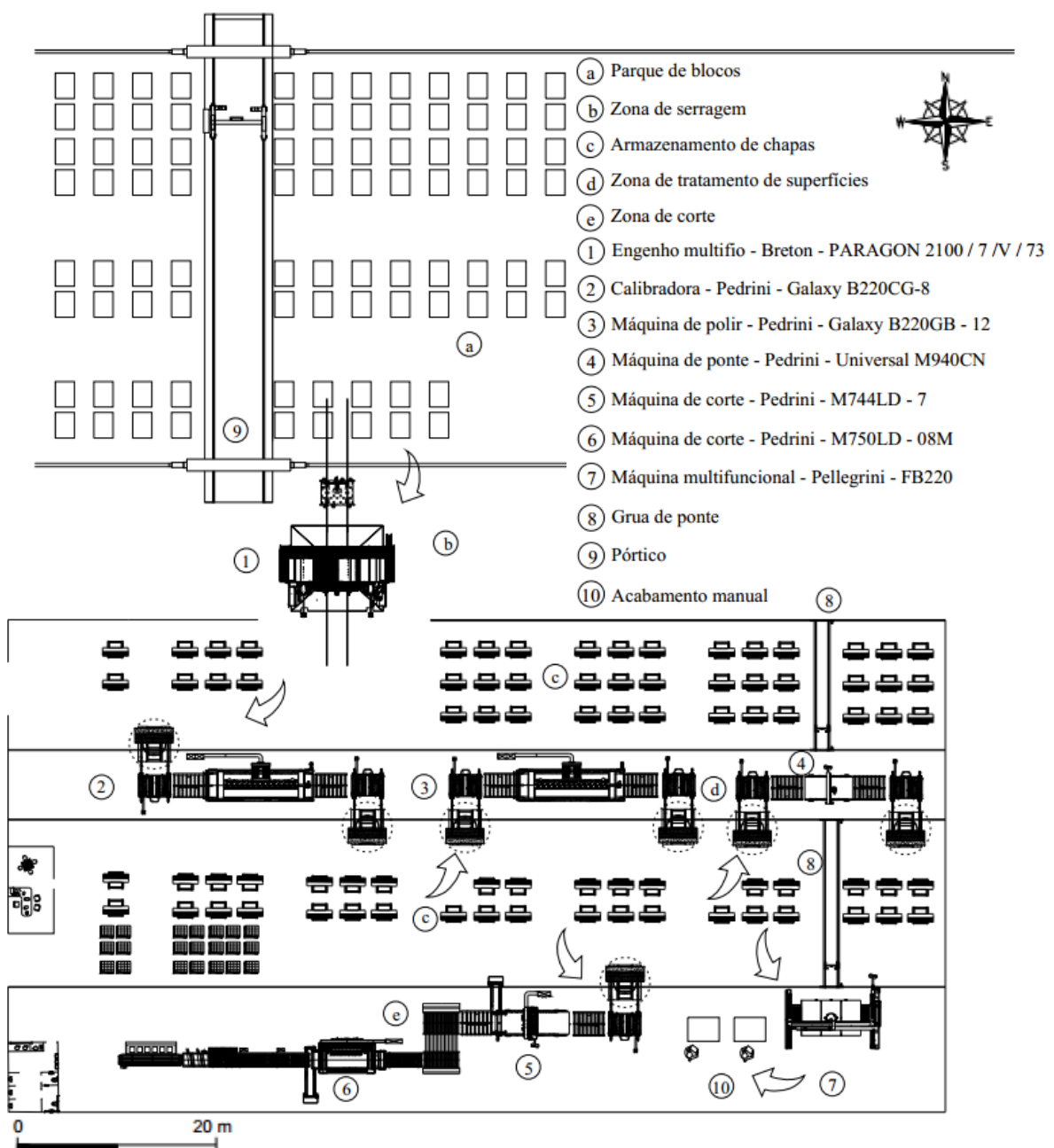


Figura 31 - Layout da oficina de transformação.

Devido à complexidade do processo produtivo, o fluxograma representado anteriormente (figura 30) tornou-se um pouco extenso. Desta forma foi elaborada uma análise detalhada, em que se irá clarificar ponto a ponto cada fase do processo produtivo de forma a este ficar mais compreensível e esclarecedor.

Inicialmente, os blocos de rocha extraídos da pedreira são transportados até à instalação, por meio de camiões, onde são armazenados numa zona designada por parque de blocos ou depósito, sendo iniciado o processo de transformação, o qual inclui um conjunto de operações sequenciais, com o objetivo de originar um produto acabado que cumpra determinados requisitos específicos.

6.3.1.1. Carga e descarga

A descarga é feita do camião para o parque de blocos através de pórticos, cujo raio de ação cobre toda a área do parque. Estes equipamentos também realizam o transporte do bloco para o vira-blocos, o qual tem como função posicioná-lo corretamente no porta-blocos ou zorra, procedendo-se ao início da operação de serragem no engenho multifio.

6.3.1.2. Corte primário - serragem em chapas

Os blocos obtidos, com dimensões na ordem dos 10 m^3 (2,0 m x 1,8 m x 2,4 m), são transportados pelo porta-blocos através de carris, até aos teares multifios, onde a operação de transformação do bloco em chapas de espessura pré-determinada é efetuada. Os engenhos de corte utilizados, ou seja, os teares multifios (figura 34), constituídos de uma estrutura (armação) metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem, de forma equidistante e tensionados, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e girando e movimentando-se verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas. O tempo de duração da serragem é diretamente proporcional à altura dos blocos e o corte é realizado a húmido, sendo o conjunto constantemente molhado com água (Sousa, 2013).

De seguida, as chapas serradas são armazenadas por litologia ou por cliente, num espaço reservado para o efeito, sendo o seu transporte realizado por uma ponte rolante, e posteriormente são encaminhadas para:

- O procedimento para a sua comercialização;
- Transformação interna, para acabamento de superfície.

6.3.1.3. Acabamento de superfícies

As chapas neste estágio, são produtos que sofreram uma transformação primária e por isso são considerados semitransformados ou intermédios. Estes materiais prosseguem para uma retificadora de espessura (figura 35) que as vai calibrar e suavizar, com vista a cumprir as especificações impostas, facilitar as fases seguintes e aumentar o seu valor comercial.

Uma vez calibradas, as chapas podem ser expedidas como tal ou encaminhadas para o acabamento superficial (figura 32), o qual pode ser polido, areado, bujardado ou flamejado. Dependendo do acabamento superficial necessário, as chapas, seguem para:

- Máquina polidora (acabamento polido) (3);
- Máquina de tratamento de superfícies (acabamento areado, bujardado ou flamejado) (4).

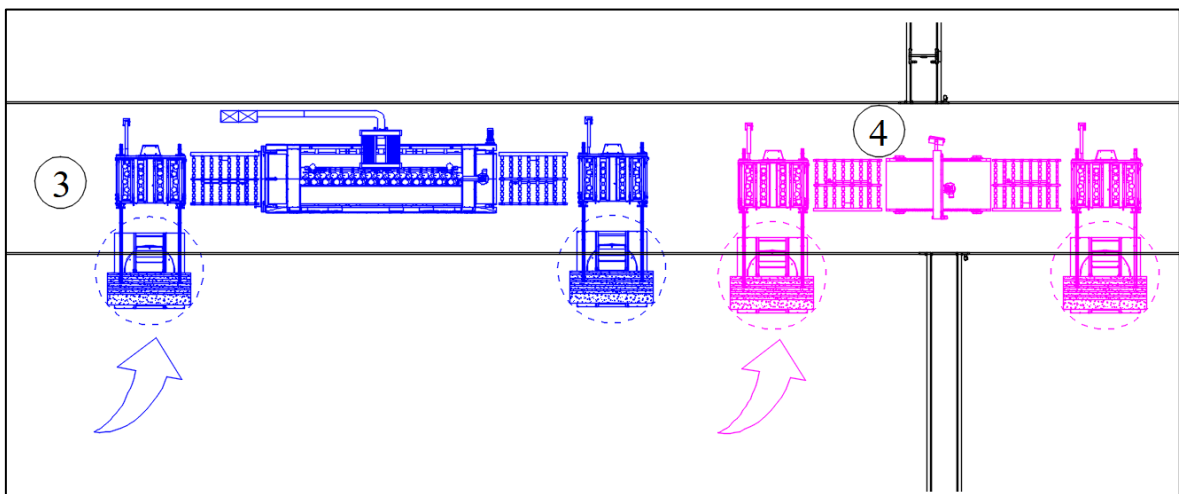


Figura 32 – Equipamentos de acabamento superficial.

De seguida, as chapas obtidas são selecionadas segundo os critérios definidos para cada tipo de material e/ou destino definido. Quando se faz esta seleção, se se verificar que existem chapas com qualidade para venda direta, estas seguem o procedimento para a sua comercialização, se não, são armazenadas, sendo o seu transporte realizado por uma ponte rolante.

Posteriormente, as chapas que não seguiram para comercialização são encaminhadas para a etapa de corte, onde podem seguir duas linhas de transformação distintas:

- Linha de trabalhos especiais;
- Linha de ladrilhos e placas de revestimento.

6.3.1.4. Linha de trabalhos especiais

A linha de trabalhos especiais inclui-se a elaboração, bancadas de cozinha, de casas de banho, tampos de mesa, entre outros. Nesta linha as chapas inicialmente são transportadas, com auxílio de uma ponte rolante, para o corte pretendido numa máquina de ponte (figura 37), bastando para isso realizar previamente a programação do equipamento, com as especificações fornecidas pelo cliente, uma vez que este equipamento permite a programação das medidas exatas para o efeito pretendido. O corte é realizado através do movimento da trave da máquina no sentido transversal e da cabeça equipada com o disco, no movimento longitudinal. O suporte do disco é graduável podendo trabalhar em posições diferentes, e durante o processo de corte, o disco é continuamente refrigerado por água (Luz, 2005).

Após o corte de precisão, as chapas, caso exijam, seguem para acabamento manual onde se vão realizar os últimos aperfeiçoamentos. Por último efetua-se a limpeza, secagem e escolha da peça segundo determinados critérios pré-definidos, para posteriormente seguir para embalagem e comercialização do produto.

6.3.1.5. Linhas de ladrilhos e placas de revestimento

Em termos de operações e equipamentos envolvidos, o processo de transformação de ladrilhos e placas de revestimento é semelhante. Desta forma, uma unidade equipada, independentemente da sua principal vocação, pode transformar ambos os tipos de produtos. O processo (figura 33) inicia-se com as chapas provenientes da etapa de tratamento de superfícies, que seguem através de rolos transportadores para duas fases de corte, numa primeira fase vai-se realizar o corte longitudinal nas chapas, através de um equipamento multidisco (figura 38), originando as tiras, as quais seguem, através de rolos transportadores, para uma nova máquina multidisco (figura 39) que vai realizar um corte transversal e conferir a forma final. Nesta fase deixam-se de chamar chapas ou tiras, tornando-se ladrilhos ou placas, dependendo da dimensão e aplicação.

Seguidamente, o ladrilho ou placa, é transportado por meio de rolos transportadores para uma secção de secagem e limpeza, para posteriormente se dirigir à seleção e embalagem.

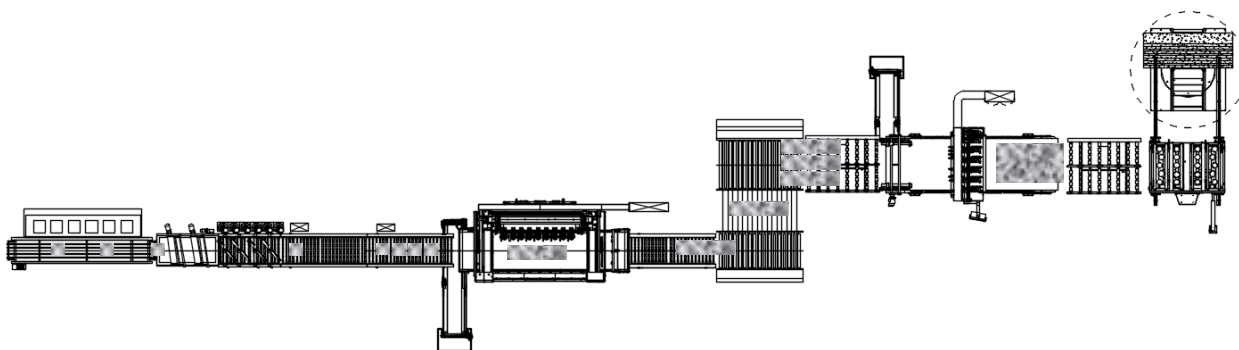


Figura 33 - Linha de corte de ladrilhos e placas de revestimento.

6.3.1.6. Seleção e embalagem

Esta fase tem como objetivo a obtenção e embalagem de um produto final uniformizado, neste estágio é realizado um processo manual por operários especializados, sendo este um processo de extrema importância uma vez que confere ao produto uma melhor estabilidade no seu transporte e assim, uma menor probabilidade de chegar ao consumidor final, peças partidas ou com fissuras. Desta forma, o embalamento utilizado para prevenir todas essas questões de perda de valor do produto é realizado de forma diferenciada, dependendo das características do mesmo.

As chapas de comprimento livre são empacotadas em paletes de madeira simples. A chapa polida e trabalhos especiais são envolvidos unicamente por filme plástico e colocados em cavaletes.

A embalagem das placas e ladrilhos é antecedida por um controle de qualidade em mesas de escolha, efetuada geralmente por mulheres (selecionadoras). Posteriormente, são embalados em caixas de papelão, separados por um filme plástico colocado entre duas superfícies tratadas. Depois procede-se à colocação das caixas em paletes de madeira protegidas nos topos por placas de esferovite. O transporte das paletes é assegurado por pontes rolantes.

6.4. Seleção dos equipamentos e maquinaria auxiliar

A escolha das máquinas recaiu sobre três produtores italianos *Pedrini*, *Breton* e *Pellegrini*, e foi realizada considerando as suas dimensões e características técnicas (dimensões do material a ser transformado, tipos de movimentos realizados, consumo/pressão de água, segurança, entre outros).

Assim sendo, escolheu-se:

➤ **Engenho multifio da Breton, modelo PARAGON 2100/7/V/73**

Equipamento para o corte dos blocos em chapas, com espessuras pré-determinadas, consiste no engenho multifio da *Breton*, modelo *PARAGON 2100/7/V/73* (figura 34).

Este equipamento foi projetado para garantir a máxima ergonomia para os operadores, devido à facilidade de acesso à máquina, com escadas práticas e plataformas de trabalho, o que permite uma rápida e fácil operação de troca e colocação de fios, assim como, uma interface do operador *touch screen* de gestão da máquina imediata e intuitiva. Possui também, como principais características, tambores de fio de condução ajustáveis, tensionador hidráulico que assegura tensão uniforme entre os fios, uma estrutura rígida e uma geometria triangular isósceles aliada a fios de apenas 20 metros de comprimento, que garante vibrações mais baixas durante o corte, levando a uma maior qualidade de corte e uma maior vida útil dos perfis de borracha (*Breton S.p.A.*, 2017).



Figura 34 - Engenho multifio da Breton, modelo PARAGON 2100/7/V/73 (*Breton S.p.A.*, 2017).

As características técnicas e dimensões gerais do engenho multifio da *Breton*, encontram-se representados no quadro 49.

Quadro 49 - Características técnicas e dimensões gerais do engenho multifio da Breton, modelo PARAGON 2100 / 7 / V / 73 (adaptado de Breton S.p.A., 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (cm)	1080
Largura (cm)	680
Altura (cm)	790
Massa total (Ton)	50
Características técnicas	
Comprimento máximo de blocos (mm)	3750
Altura max. do bloco (mm)	2200
Potência no motor (kW)	250

➤ **Calibradora automática Pedrini, modelo Galaxy B220CG-8**

O equipamento definido para calibração da espessura das chapas é o *Galaxy B220CG-8* (figura 35), da *Pedrini*. Este equipamento é caracterizado por possuir de sensores posicionados na frente da máquina, o que permite detetar a espessura da chapa, e determinar a quantidade de material a ser removido para a calibração das mesmas, segmentando-o automaticamente, através do ajuste automático do posicionamento de cada cabeça. Detém também um monitor *touch screen* que permite controlar todos os parâmetros de processamento, e consequentemente, operar mais rapidamente (Pedrini SpA, 2017).



Figura 35 – Calibradora automática Pedrini, modelo Galaxy B220CG-8 (Pedrini SpA, 2017).

As características técnicas e dimensões gerais do equipamento de calibração *Galaxy B220CG-8*, encontram-se apresentadas no quadro 50.

Quadro 50 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento Galaxy B220CG-8 (adaptado de Pedrini SpA, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	7500
Largura (mm)	3100
Altura (mm)	2900
Massa total (kg)	18000
Características técnicas	
Largura máxima das chapas (mm)	2200
Espessura máxima das chapas (mm)	100
Número de cabeças	8
Vel. de avanço do sistema transportador (m/min)	4
Vel. de movimento da trave transversal (m/min)	0/60
Potência elétrica instalada (kW)	142
Água de refrigeração (l/min)	240
Ar comprimido (NL/min)	640

➤ **Máquina de polir automática *Pedrini*, modelo *Galaxy B220GB - 12***

O equipamento de polir da *Pedrini*, modelo *Galaxy B220GB – 12* (figura 36) é caracterizada pela alta qualidade de seus componentes e pela robustez e precisão das peças mecânicas, que mantêm a sua eficiência a longo prazo. Este equipamento possui um painel de controle geral que está localizado frontalmente, e consiste num computador com um monitor colorido *touch screen*, onde o operador pode programar a máquina gerir uma ampla gama de operações (velocidade de avanço do sistema transportador, velocidade de movimento da trave transversal, distancia entre duas chapas consecutivas, entre outros) (*Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017*).



Figura 36 – Máquina de polir automática Pedrini, modelo Galaxy B220GB – 12 (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

No quadro 51 podem ser verificadas as características técnicas e dimensões gerais do equipamento anteriormente referido.

Quadro 51 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento Galaxy B220GB - 12 (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	9150
Largura (mm)	3100
Altura (mm)	2900
Massa total (kg)	26000
Características técnicas	
Largura máxima das chapas (mm)	2200
Espessura máxima das chapas (mm)	100
Número de cabeças de polimento	12
Velocidade de avanço do sistema transportador (m/min)	0,3/3,0
Velocidade de movimento da trave transversal (m/min)	0/60
Potência elétrica instalada (kW)	190
Água de refrigeração (l/min)	360
Ar comprimido (NL/min)	960

➤ **Máquina tipo ponte da *Pedrini*, modelo *Universal M940CN***

Máquina do tipo ponte da *Pedrini*, modelo *Universal M940CN* (figura 37), utilizada na produção de materiais por medida, é caracterizada pelo seu *design* elegante e moderno, possui controle numérico para corte e modelação, uma estrutura assimétrica de grande resistência e uma plataforma giratória motorizada e basculante. A gestão dos ciclos e parâmetros de corte é confiada a um painel de controlo com grande ecrã táctil (*Pedrini SpA*, 2017).



Figura 37 – Máquina do tipo ponte da *Pedrini*, modelo *Universal M940CN* (*Pedrini SpA*, 2017).

As características técnicas e dimensões gerais da máquina do tipo ponte da *Pedrini*, modelo *Universal M940CN*, podem ser consultadas no quadro 52.

Quadro 52 - Características técnicas e dimensões gerais da máquina do tipo ponte da *Pedrini*, modelo *Universal M940CN* (adaptado de *Pedrini SpA*, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	6600
Largura (mm)	5500
Altura (mm)	3300
Massa total (kg)	6400
Características técnicas	
Espessura máxima das chapas (mm)	305

Diâmetro do disco (mm)	625/900
Inclinação do disco (°)	0/90
Curso horizontal max. do disco – eixo X(mm)	3600
Curso transversal max. do disco – eixo Y (mm)	3500
Curso subida e descida do disco – eixo Z (mm)	400
Curso subida e descida do disco inclinado – eixo Z2 (mm)	180
Vel. curso horizontal do dico (m/min)	0/18
Vel. curso transversal da ponte (m/min)	0/12
Vel. curso subida e descida do disco (m/min)	0,0/2,4
Vel. curso subida e descida do disco inclinado (m/min)	0,4
Potência elétrica instalada (kW)	28
Água de refrigeração (l/min)	50

➤ **Máquina de corte com disco diamantado da *Pedrin*, modelo *M744LD - 7***

A máquina *M744LD - 7* (figura 38) executa o corte longitudinal das chapas de granito em tiras de comprimento pré-determinado, por meio de discos diamantados. É equipada com um número variável de discos e com níveis de automação e poderes diferentes, dependendo das necessidades de produção (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).



Figura 38 – Máquina de corte com disco diamantado da *Pedrin*, modelo *M744* (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

As características técnicas e dimensões gerais do equipamento *M744LD - 7*, encontram-se representadas no quadro 53.

Quadro 53 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento M744LD - 7 (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	6915
Largura (mm)	2600
Altura (mm)	1650
Massa total (kg)	7350
Características técnicas	
Espessura máxima das chapas (mm)	35
Largura máxima das chapas (mm)	2200
Largura trabalhável (mm)	200/2000
Número de discos	7
Diâmetro do disco (mm)	350
Vel. de avanço do sistema transportador (m/min)	0,5/5,0
Potência elétrica instalada (kW)	42
Água de refrigeração (l/min)	105
Ar comprimido (NL/min)	150

➤ **Máquina de corte com disco diamantado da *Pedrini*, modelo *M750LD – 08M***

A máquina de corte com disco diamantado da *M750LD – 08M* (figura 39) executa o corte em tiras de comprimento pré-determinado, por meio de discos de diamante. É equipada com um número variável de discos e com níveis de automação e poderes diferentes, dependendo das necessidades de produção. O equipamento executa simultaneamente todas as etapas do ciclo de corte, alcançando altas velocidades de avanço e operação contínua (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).



Figura 39 – Máquina de corte com disco diamantado da Pedrini, modelo M750LD – 08M (Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

No quadro 54 podem-se verificar as características técnicas e dimensões gerais do equipamento M750LD – 08M.

Quadro 54 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento M750LD – 08M (adaptado de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	5300
Largura (mm)	3700
Altura (mm)	2100
Massa total (kg)	8000
Características técnicas	
Espessura máxima das chapas (mm)	35
Largura máxima das chapas (mm)	2400
Largura trabalhável (mm)	300/650
Número de discos	8
Diâmetro do disco (mm)	350
Vel. de avanço do sistema transportador (m/min)	2,5/6,5
Água de refrigeração (l/min)	120
Ar comprimido (NL/min)	150

➤ **Máquina multifuncional de tratamento de superfícies da Pellegrini modelo FB220**

Máquina multifuncional (bujardar, flamejar e arear) (figura 40) empregue no tratamento de superfícies, apresenta como principais características a sua estrutura com tratamento anti-corrosão e um sistema elétrico, incluindo um autômato que realiza todos os programas de trabalho (Pellegrini, 2017).



Figura 40 – Máquina multifuncional de tratamento de superfícies da Pellegrini modelo FB220 (Pellegrini, 2017).

No quadro 55 encontram-se apresentadas as características técnicas e dimensões gerais do equipamento multifuncional FB220.

Quadro 55 - Características técnicas e dimensões gerais do equipamento FB220 (adaptado de Pellegrini, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	3500
Largura (mm)	3350
Altura (mm)	2200
Massa total (kg)	1000
Características técnicas	
Largura máxima das chapas (mm)	2200
Gás (l/h)	20
Potência elétrica instalada (kW)	2,0
Água de refrigeração (l/min)	15/30
Ar comprimido (NI/min)	1000

➤ **Carregador/descarregador automático de chapas *Pedrini*, modelo *B415C***

O carregador/descarregador automático B415C (figura 41), é o equipamento utilizado para movimentar as chapas. Este possui um ciclo automático executado por um controlador de lógica programável (PLC) e está equipado com um quadro de ventosas dotado de um sistema hidráulico para carregar as chapas, possui também rolos motorizados e um sistema de viagem motorizado em trilhos fixos no chão (Pedrini SpA, 2017).



Figura 41 – Carregador/descarregador automático da Pedrini, modelo B415C (Pedrini SpA, 2017).

As características técnicas e dimensões gerais do carregador/descarregador automático *B415C*, encontram-se representadas no quadro 56.

Quadro 56 - Características técnicas e dimensões gerais do carregador/descarregador automático B415C (adaptado de Pedrini SpA, 2017).

Dimensões gerais	
Comprimento (mm)	3000
Largura (mm)	2600
Altura (mm)	2950
Massa total (kg)	2000
Características técnicas	
Comprimento máximo das chapas (mm)	3500
Largura máxima das chapas (mm)	2200
Capacidade carga (kg)	1200
Capacidade da bomba de vácuo (m ³ /H)	65
Número de ventosas	20
Tempo de ciclo (sec)	60
Potência elétrica instalada (kW)	8

➤ **Grua de ponte e pórtico Pellegrini**

A movimentação dos blocos e chapas é realizada através um pórtico (35 ton) e guias de ponte (25 ton) da Pellegrini (figura 42).



Figura 42 – Pórtico e grua de ponte Pellegrini (adaptado de PELLEGRINI MECCANICA S.p.A., 2017).

Na figura 43 pode ser consultado o fluxograma do *layout* dos equipamentos empregues na oficina de transformação.

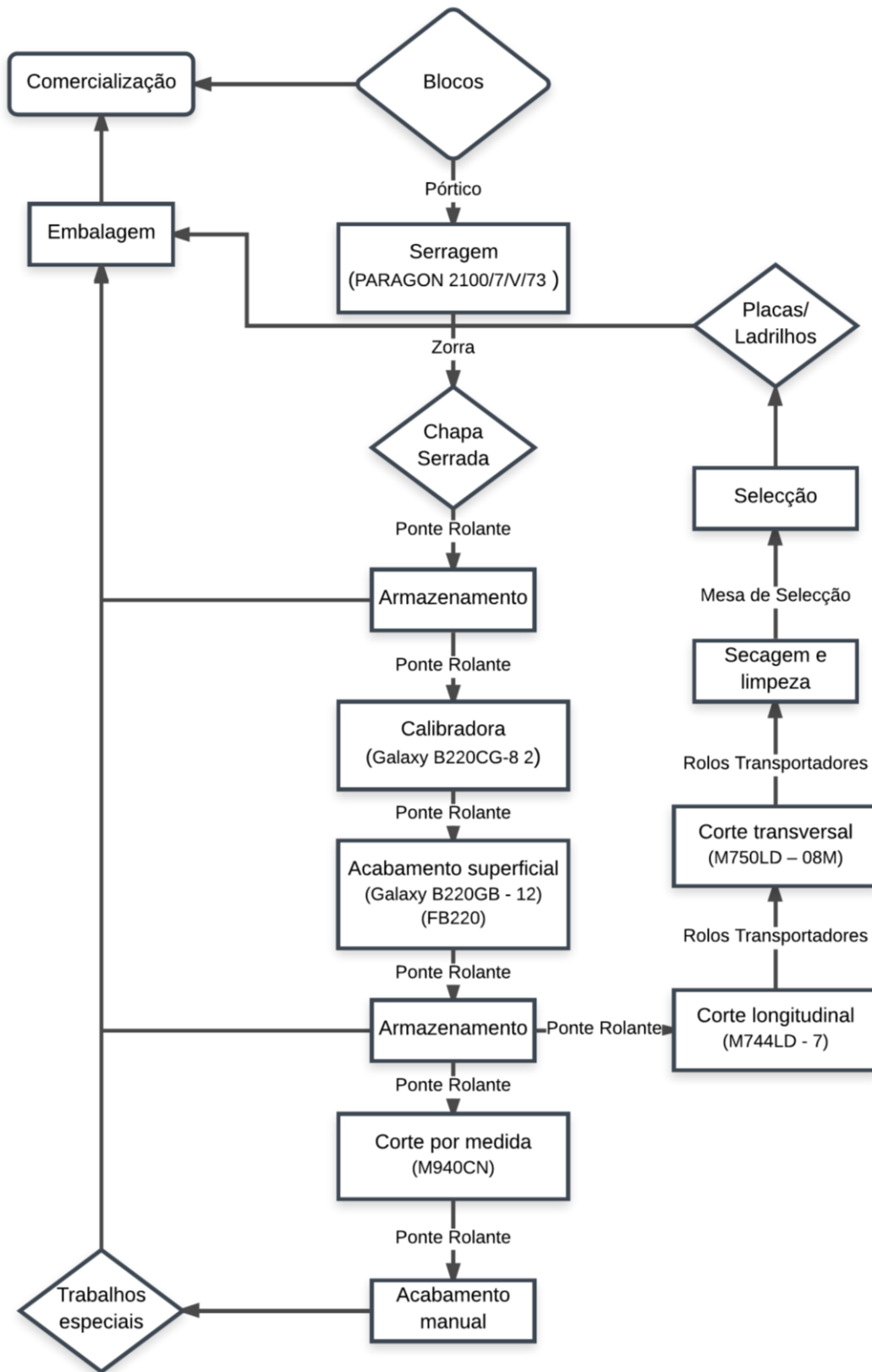


Figura 43 - Fluxograma do layout dos equipamentos empregues na oficina de transformação.

6.5. Produções diárias

No dimensionamento de uma oficina de transformação um dos parâmetros fulcrais é o cálculo dos rendimentos dos equipamentos e das linhas de produção. Este parâmetro serve de base para a otimização da oficina, pois através dele é possível realizar uma estimativa de outros fatores, tais como, o cálculo do número de máquinas, a mão-de-obra, consumos dos equipamentos (água, energia, entre outros), bem como quantificar os resíduos sólidos produzidos.

Os rendimentos e características técnicas dos equipamentos definidos, encontram-se apresentados nos quadros 49 a 56, e são valores meramente indicativos, os quais podem variar devido a vários fatores, tais como as características da rocha.

Assim, nos quadros abaixo mencionadas (quadro 57 a 62), estão dispostos os cálculos das produções da linha de ladrilhos e placas de revestimento.

A produção da linha de trabalhos especiais não será avaliada, devido à complexidade e subjetividade dos produtos e respetivo processo produtivo.

- Corte primário - serragem em chapas (engenho multifio da *Breton, PARAGON 2100 / 7 / V / 73*), quadro 57.

Quadro 57 - Cálculo da produção diária no corte primário do engenho multifio.

	Parâmetro	Valor		Observações	
1	Rendimento (m/h)	0,8			
2	h/dia	8,0			
3	Coef. de ocupação	0,8			
4	Corte/dia (m)	5,1		P1*P2*P3	
5	Altura do bloco (m)	1,8			
6	Chapas/bloco	68,0 * ¹	51,0 * ²	* ¹ 2,0 cm	* ² 3,0 cm
7	Nº de cortes/bloco	1,0			
8	Corte/bloco (m)	1,8		P5*P7	
9	Nº blocos/dia	2,8		P4/P8	
10	Nº cortes/dia	2,8		P7*P10	
11	Chapas/dia	193,0 * ¹	145,0 * ²	P9*P6	

- Tratamento de superfícies (calibradora da *Pedrini, Galaxy B220CG-8*), quadro 58.

Quadro 58 - Cálculo da produção diária do equipamento de calibração.

	Parâmetro	Valor	Observações
1	Superfície tratada (m/h)	78,0	
2	h/dia	8,0	
3	Coef. de ocupação	0,8	
4	Comprimento das chapas	2,4	
5	Chapa/hora	26,0	$(P1 \cdot P3) / P4$
6	Chapa/dia	208,0	$P5 \cdot P2$

- Tratamento de superfícies (máquina polidora *Pedrini, Galaxy B220GB – 12*), quadro 59.

Quadro 59 - Cálculo da produção diária do equipamento de tratamento de superfícies (máquina polidora).

	Parâmetro	Valor	Observações
1	Superfície tratada (m/h)	78,0	
2	h/dia	8,0	
3	Coef. de ocupação	0,8	
4	Comprimento das chapas	2,4	
5	Chapa/hora	26,0	$(P1 \cdot P3) / P4$
6	Chapa/dia	208,0	$P5 \cdot P2$

- Tratamento de superfícies (máquina multifuncional da *Pellegrini, FB220*), quadro 60.

Quadro 60 - Cálculo da produção diária do equipamento de tratamento de superfícies (máquina multifuncional).

	Parâmetro	Valor	Observações
1	Superfície tratada (m ² /h)	15,0	
2	h/dia	8,0	
3	Coef. de ocupação	0,8	
4	Área da chapa (m ²)	4,3	

5	Chapa/hora	3,0	$(P1*P3) / P4$
6	Chapa/dia	22,0	$P5*P2$

- Corte longitudinal (máquina de multidisco diamantado da *Pedrini, M744LD – 7*), quadro 61.

Quadro 61 - Cálculo da produção diária do equipamento de corte longitudinal (máquina de multidisco - M744LD – 7).

	Parâmetro	Valor	Observações
1	Rendimento (m/h)	78,0	
2	h/dia	8,0	
3	Coef. de ocupação	0,8	
4	Comprimento das chapas	2,4	
5	Chapa/hora	26,0	$(P1*P3) / P4$
6	Chapa/dia	208,0	$P5*P2$

- Corte transversal (máquina de multidisco diamantado da *Pedrini, M750LD – 08M*), quadro 62.

Quadro 62 - Cálculo da produção diária do equipamento de corte transversal (máquina de multidisco - M750LD – 08M).

	Parâmetro	Valor				Observações
1	Rendimento (m/h)	55,0				
2	h/dia	8,0				
3	Coef. de ocupação	0,7				
4	Largura da tira (m)	0,3	0,4	0,5	0,6	
5	Tiras/hora	128,3	96,3	77,0	64,2	$(P1*P3) / P4$
6	Tiras/chapa	5,0	4,0	3,0	2,0	
7	Chapa/hora	25,7	24,1	25,7	32,1	$P5/P6$
8	Chapa/dia	205,3	192,5	205,3	256,7	$P2*P7$

Através dos valores anteriormente apresentados, é possível realizar uma estimativa da produção dos vários produtos finais (quadro 63):

Quadro 63 - Produções médias de placas de revestimento e ladrilhos.

Espessura (m)	Nº Chapas / Bloco *1	Dimensões (m)	Nº tiras *2	Nº Produtos finais / tira *2	Nº Produtos finais / Bloco	Nº Produtos finais total *3
0,02	68	0,3x0,3	5	7	2380	4760
		0,4x0,4	4	5	1360	2720
		0,5x0,5	3	4	816	1632
		0,6x0,6	2	3	408	816
		0,4x0,6	4	3	816	1632
0,03	51	0,3x0,3	5	7	1785	3570
		0,4x0,4	4	5	1020	2040
		0,5x0,5	3	4	612	1224
		0,6x0,6	2	3	306	612
		0,4x0,6	4	3	612	2040

*1 - Calculado com base no espaçamento entre fios do engenho multifio e na largura do bloco.
 *2 - Valor considerando os desperdícios obtidos.
 *3 - Calculado considerando a produção de 2 blocos/dia no engenho multifio (quadro 57).

No quadro 64 pode ser verificada a vida útil das reservas das várias litologias, para a produção obtida com o engenho multifio (quadro 57). Posteriormente através da sua análise poderá ser verificada a influência do aumento da produção nas reservas, e conseqüentemente realizar um estudo da sua rentabilidade e viabilidade.

Quadro 64 – Vida útil das reservas das várias litologias

	Gabro/Rocha hibrida	Granito Rosa	Total
Reservas (m ³)	903060	75237	978297
Volume bloco comercial	8,64	8,64	8,64
Produção (blocos/dia)	2,84	2,84	2,84
Produção (volume (m ³) / dia)	24,58	24,58	24,58
Vida útil (dias)	36745	3061	39807
Dias úteis /ano	250	250	250
Vida útil (anos)	146	12	159

6.6. Operadores

Atendendo ao horário de funcionamento de cada equipamento, foram selecionados turnos de 8 horas, de maneira a permitir uma maior rentabilidade da oficina. Assim, em conformidade com os turnos escolhidos para cada equipamento, escolheu-se o número de operários adequados para que o processo produtivo decorra de uma forma eficiente e otimizada. O quadro 65 ilustra as opções realizadas:

Quadro 65 - Turnos de trabalho e número de operários necessários para a oficina de transformação.

Função	Equipamento	Turnos	Horas por turno (h)	Operadores por turno
Serragem	PARAGON 2100/7/V/73	Um turno	8h	2
Acabamento superfícies	Galaxy B220CG-8	Um turno	8h	1
	Galaxy B220GB - 12	Um turno	8h	
	FB220	Um turno	8h	1
Corte secundário	Universal M940CN	Um turno	8h	1
	M744LD - 7	Um turno	8h	1
	M750LD – 08M	Um turno	8h	
Acabamento	Acabamento manual	Um turno	8h	3
Seleção e embalagem	-	Um turno	8h	2
Geral	-	Um turno	8h	4

Através da análise do quadro 65 é possível concluir que, para dar resposta ao número de equipamentos e às horas diárias que trabalham, serão necessários 15 operários.

6.7. Massa Mineral Rejeitada

A transformação de rocha ornamental dá origem a resíduos de pedra em todas as etapas de transformação. Estes podem apresentar-se sob a forma de lamas, poeiras, sobras de chapas defeituosas, recortadas ou danificadas, entre outros. Nos seguintes quadros é possível verificar o aproveitamento obtido na serragem (quadro 66) para as várias espessuras e para o corte secundário (quadro 67) para as várias dimensões.

Quadro 66 – Aproveitamento (%) obtido na serragem (teares multifios) para as várias espessuras.

	Parâmetro	Valor		Observações
1	Espessura (m)	0,020	0,030	
2	Espaçamento dos fios (m)	0,029	0,039	
3	Largura do bloco (m)	2,000		
4	Nº Chapas	68,7	51,5	P3/P2
5	Nº Chapas real	68	51	
6	Volume das chapas (m ³)	0,086	0,130	
7	Volume das chapas/por bloco (m ³)	5,875	6,610	P6*P5
8	Volume do bloco (m ³)	8,640		
9	Aproveitamento (%)	68,0	76,5	(P7/P8) *100

Quadro 67 - Aproveitamento (%) obtido no corte secundário (máquinas multidisco) para as várias dimensões.

Dimensões dos Prod. finais (m)	Área dos Prod. finais (m ²)	Nº. Prod. finais /chapa	Área dos Prod. finais/chapa (m ²)	Aproveitamento (%)
0,3x0,3	0,09	35	3,15	72,9
0,4x0,4	0,16	20	3,2	74,1
0,5x0,5	0,25	12	3	69,4
0,6x0,6	0,36	6	2,16	50,0
0,4x0,6	0,24	12	2,88	66,7

Após a análise dos quadros anteriores (quadro 66 e 67) é possível concluir que, dependendo dos produtos finais ambicionados, o aproveitamento obtido é de 35% a 50%.

6.8. Lamas

Uma característica do sector de transformação de pedra natural é a elevada produção de lama por tonelada de rocha transformada. O tratamento das lamas provenientes do corte, serragem e polimento de rochas ornamentais pode ser efetuado através do seu envio para um decantador onde, com utilização de floculante, se realiza a remoção de sólidos por sedimentação. A água clarificada é reintroduzida no processo e as lamas são enviadas para um filtro prensa onde são concentradas e o seu volume é reduzido. Após este processo final de concentração, em que o teor de humidade se reduz a valores inferiores a 25 %, as lamas são enviadas para a escombreira ou para aterro. Logo este processo de decantação e filtração reduz o volume final de lamas e permite uma melhor economia nos custos inerentes ao transporte.

7 – Conclusões

7. Conclusões

O presente trabalho centrou-se em dois objetivos fundamentais, o primeiro incidiu no estudo do aproveitamento expectável do maciço rochoso da pedra “Herdade do Montinho” (Arronches, distrito de Portalegre), para a exploração racional do recurso geológico com fins ornamentais. E o segundo objetivo consistiu em propor uma instalação de transformação, com aptidão para produzir produtos finais com mais interesse comercial, tendo em conta as características do material rochoso.

De forma a cumprir o primeiro objetivo (anteriormente apresentado), foi efetuado um estudo geológico-geotécnico e geomecânico, do qual resultam os seguintes aspetos conclusivos:

- A massa mineral em estudo possui as seguintes litologias: gabros, granito e granito rosa, “mistura”, gabrodioritos híbridos ou rochas híbridas e zona alterada ou solos. Sendo o gabro e os gabrodioritos híbridos as litologias dominantes (apresentando 82% da volumetria total) as quais possuem intercalações de litologias graníticas e “mistura”, com dimensões decimétricas a métricas e tendência a apresentar continuidade lateral em toda a extensão da pedra.
- O estudo da fracturação realizado nas descontinuidades na área de corta da pedra e nos afloramentos, permitiu identificar três famílias de fraturas (Família 1 - N80-90°E; 80°SE; Família 2 - N150-160°E; 30°NE e a Família 3 - N60-70°E; 50°SE) as quais se apresentam como muito afastadas (F_1), e compartimentam o maciço rochoso em blocos grandes, com uma dimensão média de 4,0 m e um volume previsto entre 1 e 25 m³.
- O maciço rochoso, nas suas litologias dominantes (gabro e os gabrodioritos híbridos), classifica-se, em termos de resistência à compressão uniaxial, com elevada resistência (S_2) com um valor médio de 180 – 200 MPa. Possui uma baixa intensidade de fracturação em toda a extensão da área da pedra, sendo coeso e compacto, cortado por diaclasamento disperso segundo 3 a 4 direções principais. Através da análise petrográfica realizada, foi possível verificar que este possui uma estrutura compacta, são a pouco alterada (W_{1-2}), de cor cinza escura e uma textura halocristalina, fanerítica e grão fino.
- Com o objetivo de definir as principais aplicações como rocha ornamental das litologias estudadas, analisou-se e comparou-se os índices físicos e os resultados dos ensaios de caracterização com os valores de referência e especificações definidas por (Casal Moura et al., 2000) e o quadro 27 com a importância relativa de ensaios físico-mecânicos tendo em vista as aplicações mais comuns. O que permitiu concluir que o gabro/gabrodiorito pode ser utilizado em revestimentos (interiores ou exteriores), pavimentos (interiores ou

exteriores), colunas e pilares, devendo-se possuir algum cuidado para aplicações com tráfego intenso. O granito rosa, assim como o gabro/gabrodiorito, detém características que permitem a sua utilização numa grande série de aplicações, mas apresenta como limitação a sua utilização em pedra maciça de uso público devido à sua reduzida resistência ao choque por impacto.

O segundo objetivo fulcral do trabalho, como referido anteriormente, foi a proposta de uma instalação de transformação, e definição dos produtos finais com mais interesse comercial, tendo em conta as características do material rochoso.

Para isso, realizou-se um estudo do mercado onde se verificou que as rochas de tonalidades rosadas e as de tonalidades escuras, como é o caso do granito rosa e do gabro / gabrodiorito de Arronches, são bastante apreciadas e procuradas, possuindo elevado valor ornamental. As aplicações geralmente utilizadas e, conseqüentemente, mais procuradas no mercado para as rochas de tonalidades escuras como o gabro / gabrodiorito de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), objetos decorativos, tampos de mesa e balcões de cozinha, e arte funerária (lápides), por outro lado, as aplicações mais utilizadas para as rochas de tonalidades rosadas como o granito rosa de Arronches são o revestimento de paredes e pisos (interiores e exteriores), tampos de mesa e balcões de cozinha.

Concluindo-se assim que, os produtos finais com mais interesse podem ser agrupados em placas para revestimento de paredes e pavimentos (interiores e exteriores), e em trabalhos especiais, como por exemplo, tampos de mesa, balcões de cozinha, entre outros.

A instalação acomoda duas linhas principais de transformação às quais foi atribuído um nome, em função do que lá é transformado, definindo-se assim, a linha de placas e ladrilhos e a linha de trabalhos especiais.

O *layout* da oficina de transformação inicia-se com a descarga dos blocos do camião para o parque de blocos através do pórtico, o qual tem como função posicioná-los corretamente no porta-blocos ou zorra, procedendo-se ao início da operação de serragem no engenho multifio, onde a operação de transformação do bloco em chapas de espessura pré-determinada é efetuada. De seguida, as chapas serradas são armazenadas, num espaço reservado para o efeito, e posteriormente podem ser encaminhadas para o procedimento de comercialização ou para acabamento de superfície. Os materiais que não são comercializados prosseguem para uma retificadora de espessura, uma vez calibradas, as chapas podem ser expedidas como tal ou encaminhadas para o acabamento superficial (máquina polidora ou máquina multifuncional de tratamento de superfícies). De seguida, as chapas obtidas do acabamento superficial são selecionadas segundo determinados critérios, as quais podem ser comercializados ou seguir para

duas linhas de transformação distintas (linha de trabalhos especiais ou linha de ladrilhos e placas de revestimento).

- Na linha de trabalhos especiais as chapas inicialmente são transportadas, com auxílio de uma ponte rolante, para o corte pretendido numa máquina de ponte, após o corte de precisão, as chapas, caso exijam, seguem para acabamento manual onde se vão realizar os últimos aperfeiçoamentos. Por último efetua-se a limpeza, secagem, escolha, embalagem e comercialização do produto.
- Na linha de ladrilhos e placas de revestimento as chapas provenientes da etapa de tratamento de superfícies, seguem através de rolos transportadores para duas fases de corte (inicialmente corte longitudinal e posteriormente corte transversal), através de equipamentos multidisco. Seguidamente, o ladrilho ou placa, é transportado por meio de rolos transportadores para uma secção de secagem e limpeza, para posteriormente se dirigir à seleção, embalagem e comercialização.

A instalação a transformar 2,8 blocos/dia, ou seja, 24,58 m³/dia, possui reservas com 159 anos de vida útil, podendo a sua capacidade apresentar alguma flexibilidade, por forma a se adaptar às variações da procura, caso seja necessário.

Perspetivas futuras

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 mais recomendada, nas superfícies expostas do maciço rochoso, onde a sua realização não foi possível devido à dificuldade de acesso ao local, com vista a um maior detalhe da cartografia geotécnica e estudo da compartimentação do georrecurso.

A prospecção geológica de profundidade, através de uma campanha de prospecção mecânica mais aprofundada, de forma a permitir um dimensionamento dos modelos litológicos tridimensionais e respetivo cálculo dos volumes de cada litologia, com um grau de fiabilidade superior.

Verificar a produção com um melhor custo/benefício e a sua influência nas reservas, através do cálculo do valor do produto final, da estimativa dos custos e rendimentos que o aumento da sua produção originam, e o respetivo efeito na vida útil das reservas.

Estimar a produção ideal tendo em consideração as dimensões do depósito, os custos dos materiais nos mercados nacionais e internacionais e as perspectivas de vendas (tendo em conta a média nacional e internacional), no intuito de obter valores de produção com um melhor custo/benefício.

Verificar a viabilidade do projeto, através do cálculo de indicadores como o valor atual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o retorno do investimento (Payback), os quais devem apresentar valores que se considerem atrativos para os investidores.

Realizar um desmante experimental/ensaio industrial, onde se pode verificar as características do maciço rochoso e do produto final pretendido, assim como, obter indícios da reação do mercado ao mesmo.

8 – Bibliografia

8. Referências bibliográficas

- Breton S.p.A. (2017). *Máquina multifo para corte de rochas ornamentais*. Obtido de Breton S.p.A.: www.breton.it
- Caixa Imobiliário. (10 de 06 de 2017). <https://en.caixaimobiliario.com>. Obtido de Caixa Imobiliário: <https://en.caixaimobiliario.com/images/mapas/portalegre.gif>
- Carvalho, J. M. (2007). Rochas Ornamentais: Terminologia e Critérios de Prospecção., (p. 18).
- Carvalho, J. M. (2011). Prospecção de Rochas Ornamentais. Em ANIET, *Portugal Mineral Nº 3 - Edição Especial - Indústria Extractiva* (pp. 99 - 103). Lisboa: COMEDIL - Comunicação e Edição, Lda.
- Casal Moura, A., Grade, J., Farinha Ramos, J., & Moreira, A. (2000). *Granitos e Rochas Similares de Portugal*. Porto: Marca-Artes Gráficas. Obtido de <http://www.lneg.pt/download/7255/index.html>
- CONSMAGA - Geólogos e Engenheiros Consultores Lda. (2006). *Levantamento Geológico da Pedreira "Herdade do Montinho" Arronches*. Almodôvar.
- Construal. (10 de Fevereiro de 2017). *Construal*. Obtido de <http://www.construal.pt/>: http://www.construal.pt/uploads/produtos/upload103_0.jpg
- Correia, V. (2011). Prospecção geológica: sondagens convencionais ou Wireline? Em ANIET, *Portugal Mineral Nº 3 - Edição Especial - Indústria Extractiva* (pp. 51-54). Lisboa: COMEDIL - Comunicação e Edição, Lda.
- Deere, D. U., & Deere, D. W. (1988). The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. *ASTM*, 92-101.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2015). *Boletim de Minas Vol.50 Nº1*. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia.
- Ervital. (10 de 06 de 2017). <http://www.ervital.pt>. Obtido de Ervital: http://www.ervital.pt/img/mapa_portugal.gif
- Farinha Ramos, J., & Casal Moura, A. (2010). Alguns Aspectos do Contributo da Geologia no Estudo e Caracterização de Maciços para Exploração de Rochas Ornamentais. In *Ciências Geológicas - Ensino, Investigação e sua História* (pp. 131 - 141). Lisboa: Associação Portuguesa de Geólogos/Sociedade Geológica de Portugal.
- Figueiredo, J., Rodrigues, F., Correia, A., & Chambino, M. T. (2001). *Guia Técnico do Sector da Pedra Natural*. Lisboa: INETI.
- Frazão, I. P. (2016). *Evolução do Cluster da Pedra*. Lisboa: Instituto Superior de Gestão.
- Gonçalves, Francisco. (1972). *Carta Geológica de Portugal Esc. 1 / 50 000, Folha 33-C (Campo Maior)*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Granitos Lamecense, L. (15 de Fevereiro de 2017). *Granitos Lamecense, Lda*. Obtido de www.granitoslamecense.pt:

<http://www.granitoslamecense.pt/images/sampleddata/talhablocoslam/1.jpg>

Guerreiro, H. J. (2000). *Exploração subterrânea de mármore*s.

Henriques, P., Falé, P., Luís, G., & Carvalho, J. (2008). Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 45.

Hoek, E. (2015). *Practical Rock Engineering*. Evert Hoek Consulting Engineer Inc.: North Vancouver.

IGeoE. (2008). Extracto da folha 385 da Carta Militar de Portugal. *Arronches, à escala 1:25 000*.

INETI. (2001). *PNAPRI - Guia Técnico do Sector da Pedra Natural*. Lisboa.

ISRM. (1978). *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. Pergamon Press.

ISRM. (1981). Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD). Em ISRM, *J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol 18* (pp. 85-110). Pergamon Press Ltd.

ISRM. (2007). *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*. Ankara: R. Ulusay & J. A. Hudson.

ISRM. (2015). *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007–2014*. Ankara: R. Ulusay.

LGMC. (2009). *Relatório de Ensaio. Documento Nº: 20093262009620*. LGMC - Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção.

LGMC. (2009). *Relatório de Ensaio. Documento Nº:200937520091258*. LGMC - Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção.

Luz, L. M. (2005). *Análise Crítica Ao Modelo De Desenvolvimento Do Sector Das Pedras Naturais: O Caso Dos Mármore*s No Triângulo De Estremoz - Borba - Vila Viçosa 1980-2003. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.

Machado Leite, M. R., & Casal Moura, A. (10 de Fevereiro de 2017). *LNEG*. Obtido de LNEG - Introdução Rochas Ornamentais: <http://rop.lneg.pt/rop/images/intro/it3.html>

Martins, R., Moreira, P., Santos Pereira, C., Neto, E., Medeiros Pereira, A., Teixeira, J., . . . Chaminé, H. (2006). A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no Norte de Portugal., (pp. 255-264).

Montani, C. (2015). *XXVI Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo*. Carrara: Aldus Casa di Edizioni .

MOREIRA E VAZÃO, L. (10 de Fevereiro de 2017). MOREIRA E VAZÃO, LDA. Obtido de <http://www.moreiraevazao.pt>: <http://www.moreiraevazao.pt/produtos/acabamentos/>

Moura, A. C. (2008). *Guia Prático para a Marcação CE dos Produtos em Pedra Natural*. Lisboa: DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia.

Palma, F. M. (2014). *Produção de Rochas Ornamentais. Análise setorial*. Banco Espírito Santo.

Pedrini S.p.A. ad Unico Socio. (2017). *Attestatrice multidisco a ciclo continuo: M750*. Obtido de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio: www.pedrini.it

Pedrini S.p.A. ad Unico Socio. (2017). *Linee di lucidatura per lastre di granito: Galaxy B220GB*. Obtido de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio: www.pedrini.it

Pedrini S.p.A. ad Unico Socio. (2017). *Riflatrici per flagne e lastre di marmo, travertino e granito: M744*. Obtido de Pedrini S.p.A. ad Unico Socio: www.pedrini.it

Pedrini SpA. (2017). *Caricatore / Scaricatore lastre: B401- B415 - B416*. Obtido de Pedrini SpA: www.pedrini.it

Pedrini SpA. (2017). *Fresatrice a ponte a controllo numerico: Universal M940CN*. Obtido de Pedrini SpA: www.pedrini.it

Pedrini SpA. (2017). *Linee di calibratura per lastre di granito Galaxy B220CG*. Obtido de Pedrini : www.pedrini.it

Pellegrini. (2017). *Bocciardatrice - Fiammatrice - SaBbiatrice: FB 80 / FB 220*. Obtido de PELLEGRINI MECCANICA SPA: <http://www.pellegrini.net>

Pellegrini. (15 de Fevereiro de 2017). PELLEGRINI MECCANICA SPA. Obtido de <http://www.pellegrini.net/>: http://www.pellegrini.net/immagini/stonemaster/DF_2000-2500.jpg

PELLEGRINI MECCANICA S.p.A. (2017). *Euro sollevamento Pellegrini: Gru Derrick, Gru A Cavalletto, Gru A Ponte*. Obtido de PELLEGRINI MECCANICA S.p.A.: www.pellegrini.net

proced. (10 de Fevereiro de 2017). *proced.* Obtido de <https://www.proceq.com/pt/products/list/schmidt-esclerometros/>

Rocha , F. G. (2016). *Caracterização Físico-Mecânica de Calcários Utilizados na Calçada Portuguesa (Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e Alenquer)*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Rocha, J. C., & Xavier, L. L. (2000). *Disciplina: ECV 5330 - Materiais de Construção Civil*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Serviços Geológicos de Portugal. (1992). *Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000*. Amadora.

Serviços Geológicos de Portugal. (s.d.). *Folha 2 da Carta Geológica de Portugal Esc 1 / 500 000*.

Singh, B., & Goel, R. K. (2011). *Engineering Rock Mass Classification*. Elsevier Inc.

- Smith, M. R. (1999). *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*. London: The Geological Society.
- Sousa. (2013). Estudo Comparativo Da Utilização De Teares Multilâmina e Multifio No Beneficiamento De Granitos Comerciais. Em E. V. Viera, F. H. Vidal, & A. A. Sousa, *Anais Do IV Congresso Brasileiro De Rochas Ornamentais - VIII Simpósio De Rochas Ornamentais Do Nordeste* (pp. 95-102). Rio de Janeiro.
- Sousa, L. (2012). *Os granitos de Vila Pouca de Aguiar como factor de desenvolvimento regional. Uma abordagem multidisciplinar*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- spa, G. M. (15 de Fevereiro de 2017). *Gaspari Menotti spa*. Obtido de <http://www.gasparimenotti.it>: <http://www.gasparimenotti.it/it/impianti-lastre-granito/jumbo-matic-telai-per-granito.asp>
- V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A. (2009). *Estudo geológico – geotécnico da pedreira “herdade do montinho”*. Arronches.
- V I S A – Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia do Ambiente S.A. (2009). *Estudo Geológico-Geotécnico da Pedreira “Herdade do Montinho” - Anexo 3*.
- Vallejo, L. I. G. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Education.
- Vallejo, L. I. G. & Ferrer M. (2011). *Geological Engineering*. London: Taylor & Francis.
- Watkins, H., Bond, C., Healy, D., & Butler, R. (2015). Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. *Journal of Structural Geology* 72, 67-82.

9 – Anexos

9. Anexos

Anexo I - Levantamento geológico e estrutural de superfície;

Anexo II - Localização dos trabalhos de superfície, do perfil de amostragem e perfis geológicos;

Anexo III - Log's dos furos de sondagem da campanha de prospeção Geológico – Geotécnica;

Anexo IV - Fotografias das caixas e testemunhos de sondagem da campanha de prospeção Geológico-Geotécnica;

Anexo V - Relatório de ensaio: Método e Terminologia para Descrição Petrográfica Simplificada;

Anexo VI - Relatório de ensaio: Determinação da Resistência à Compressão EN 1926/2006;

Anexo VII – Ficha de caracterização do “gabrodiorito” de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017);

Anexo VIII – Ficha de caracterização do granito rosa de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017);


Anexo IX – Planta da instalação de transformação em *Autocad*.

Anexo I - Levantamento geológico e estrutural de superfície

Estação E1

Observações	Encontra-se uma zona de escombeira. A morfologia do terreno, de Sul para Norte, pouco varia em termos de cotas, evidenciando a presença de alguns afloramentos de altura métrica a sub-métrica, onde não se observam grandes relevos residuais.
Imagem	 <p data-bbox="568 848 1222 880">Vista para NW, onde se observam escombeiras da pedreira</p>

Estação E2

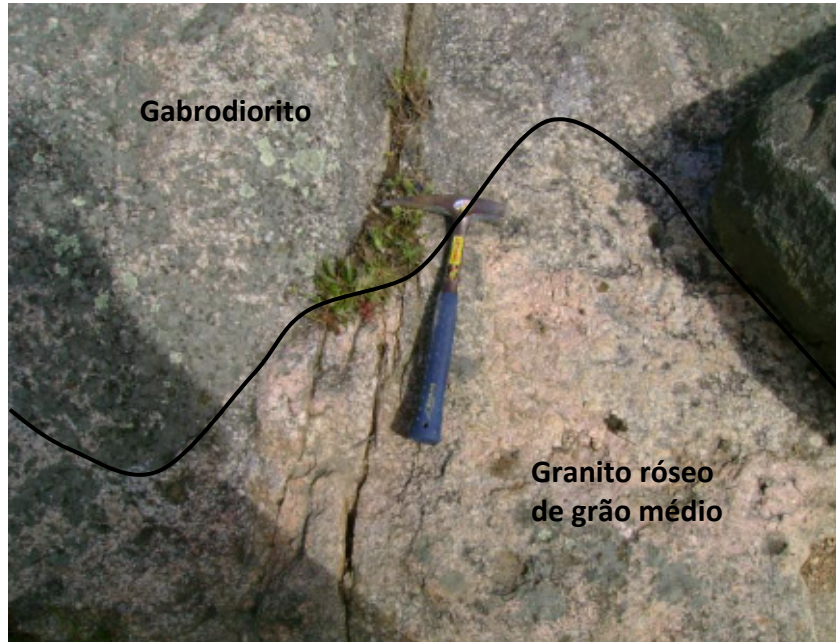
Observações	Pode-se observar afloramentos de gabros e gabrodioritos com rochas híbridas. Estes afloramentos apresentam fracturação com orientações NNW-SSE conjugadas com ENE-WSW, e exibem uma esfericidade resultante de erosão superficial, esta característica abona em favor da elevada competência da litologia aflorante.
Imagem	 <p data-bbox="416 1850 1043 1881">Afloramento de gabro e gabrodiorito com rochas híbridas</p>

Estação E3

Observações

Observam-se afloramentos com contacto de gabrodioritos com rochas híbridas e gabrodioritos com granito róseo de grão médio. Estes contactos evidenciam a existência de manchas do granito mesclado no maciço predominante de gabros e gabrodioritos.

Imagem



Afloramento com contacto de gabrodiorito com granito róseo de grão médio.

Estação E4

Observações

Surgem por vezes blocos esferoidais resultantes da erosão superficial do maciço, ocorrendo no terreno a presença de alguns provenientes de gabros e gabrodioritos. Foi identificado *in situ* um afloramento de gabro de grão fino de tonalidade esverdeada (Figura 21) que comprova a pouca espessura dos horizontes de cobertura do maciço e o seu baixo grau de alteração.



Imagem

Bloco esferoidal de gabrodiorito



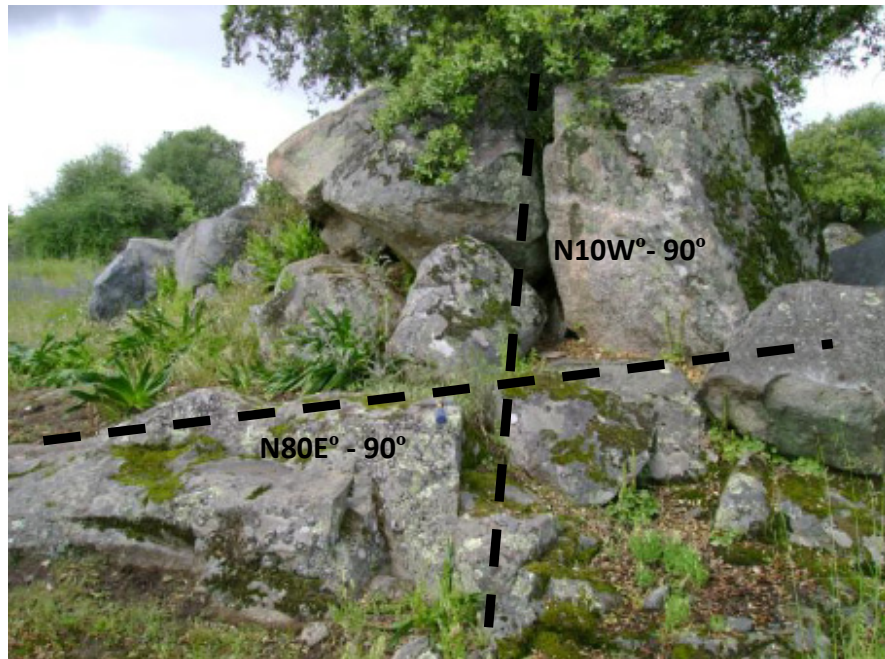
Afloramento de gabro *in situ*.

Estação E5

Observações

Encontram-se afloramentos com gabros e gabrodioritos competentes com um diaclasamento N10°W-90° e N80°E-90°.

Imagem



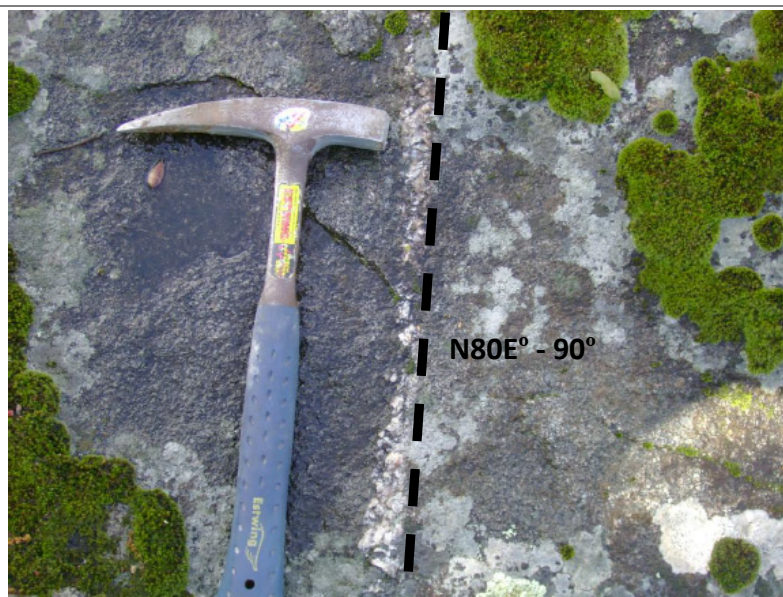
Afloramentos de gabros e gabrodioritos

Estação E6

Observações

Localizou-se mais um afloramento de gabros com diaclasamento definido na orientação NNW-SSE, acompanhado pontualmente por filonetes silicificados intrusivos de atitude N80°E-90°.

Imagem



Afloramentos de gabro com filonete intrusivo silicificado.

Estação E7

Observações

Ocorre um afloramento com granito rosa de grão médio, ladeado por zonas de contacto de rochas híbridas com uma mescla de gabros a gabrodioritos.



Imagem

Afloramento com granito rosa de grão médio.



Afloramento com contacto "à face" de rocha híbrida com gabros e gabrodioritos.

Estação E8

Observações

Encontra-se gabros com fracturação N80°E-90°, os quais são intruídos por rochas híbridas como se de apófises se tratassem.



Diaclasamento num afloramento de gabro

Imagem



Encrave silicificado em gabrodiorito.

Estação E9

Observações

Ocorrem afloramentos de esferas de gabros e gabrodioritos consequentes de disjunção esferoidal, resultantes de um regime descompressivo do maciço e posterior erosão superficial.

Imagem



Esferas provenientes de disjunção esferoidal de gabros e gabrodioritos

Estação E10

Observações

Observa-se o pormenor do fluxo magmático no contacto entre duas litologias, onde se verifica claramente o contacto de gabros de grão fino de tonalidade esverdeada a topo com gabrodioritos na base.



Fluxo magmático entre gabros e gabrodioritos

Imagem



Contacto de gabros de grão fino de tonalidade esverdeada a topo com gabrodioritos na base.

Estação E11

Observações Ocorre um afloramento de gabrodiorito de grão médio e tonalidade cinza.

Imagem



Gabrodiorito de grão médio de tonalidade cinza

Estação E12

Observações Zona SW da corta inundada, pode-se observar o afloramento de gabros com textura granulométrica fina a média e tonalidades esverdeadas escuras.

Imagem



Zona SW da corta em frente de pedreira com afloramento de gabro a topo e gabrodiorito na base.

Anexo II - Localização dos trabalhos de superfície, do perfil de amostragem e perfis geológicos

Anexo III - Log's dos furos de sondagem da campanha de prospeção Geológico – Geotécnica



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR1

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL METRAGEM FINAL: 40 m EQUIPAMENTO DE SONDAÇÃO: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 4.10 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de alteração com calhaus de gabro de diferentes granulometrias e coloração. Alguns óxidos presentes. Passagens no final de gabro alterado e compacto.		
5		4.10, 5.50 GRANITO Granito com bastante feldspato. Passa gradualmente a gabro		díaclasses raras
		5.50, 7.50 GABRO Gabro de cor esverdeada com raras intercalações quartzosas. Granularidade fina.		
		7.50, 10.40 GABRO Gabro de cor esverdeada escura. Intercalações raras de material de mistura de granularidades diferentes. Gabro de grão fino.		díaclasses subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
10		10.40, 13.20 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro de tonalidade variável, com inclusões de quartzo, tomando uma granularidade mais grosseira e tonalidade mais clara.		Algumas intercalações graníticas e díaclasses subverticais raras
		13.20, 16.20 ROCHA HIBRIDA Semelhante ao anterior mas com maior quantidade de quartzo.		Fracturas a 45° com óxidos raros
15		16.20, 19.20 MISTURA Zona de mistura de gabro e material mais grosseiro com alguns veios de feldspato.		díaclasses subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
20		19.20, 21.20 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura, com intercalação de material mais grosseiro com abundante quartzo.		Curtas intercalações graníticas no seio do gabro
		21.20, 23.80 GABRO Gabro de grão fino e de cor verde escura. Passa gradualmente a gabro de grão médio a grosseiro.		Intercalações e mistura de gabros de diferentes granularidades e presença de feldspatos.
25		23.80, 24.50 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com cristais de quartzo ou feldspato, com tonalidade verde clara.		
		24.50, 27.40 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com cristais de quartzo ou feldspato, com tonalidade verde clara. Passa a gabro fino a partir dos 26,50, sob a forma de intercalações		
		27.40, 30.30 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura.		Fracturas a 45° com óxidos raros
30		30.30, 33.30 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura.		
		33.30, 35.70 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura, com intercalação de zona rica em feldspato e quartzo.		Díaclasses com preenchimento de argilas esverdeadas e alguma disseminação de pirrite.
35		35.70, 38.60 MISTURA Mistura de gabro de grão fino com gabro de grão médio acompanhado de abundante quartzo e feldspatos.		
40		38.60, 40.00 GRANITO Granito grosseiro		



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR2

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAÇÃO: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 0.80 ZONA DE ALTERAÇÃO Nível de gabbro alterado e arenizado, compacto		
		0.80, 3.80 GRANITO ROSA Granito rosa de grão grosseiro com abundantes feldspatos.		Diaclasses raras subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
5		3.80, 9.70 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabbro/Diorítica de grão médio a grosseiro de tonalidade cinzenta-esverdeada.		Diaclasses com preenchimento de argilas verdes
10		9.70, 16.50 GABRO Gabbro de cor esverdeada e grão fino, muito compacto.		Diaclasses subverticais com óxidos raros
15		16.50, 19.30 MISTURA Nível de mistura de gabbro de grão fino com gabbro grosseiro e com abundante quartzo		
20		19.30, 21.45 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabbro/Diorítica de grão médio a grosseiro de cor verde clara a cinzenta.		
25		21.45, 39.60 GABRO Gabbro de cor esverdeada e grão fino, muito compacto.		Diaclasses subverticais com óxidos raros
30				Diaclasses a 45° com argilas de cor verde e estratificadas.
35				
40		39.60, 40.00 GRANITO ROSA Granito rosa de grão grosseiro com abundantes feldspatos.		



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR3

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL METRAGEM FINAL: 40 m EQUIPAMENTO DE SONDAÇÃO: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 3.60 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de terra vegetal e Gabro alterado.		
3.60		3.60, 8.15 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		Diaclasses subverticais com alguns óxidos
8.15		8.15, 9.40 MISTURA Nível de mistura de gabro e granito		
9.40		9.40, 15.60 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Muito compacto.		Diaclasses subverticais com alguns óxidos
15.60		15.60, 17.60 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, com intercalações de veios de quartzo.		
17.60		17.60, 18.70 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		
18.70		18.70, 25.90 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica com mistura de gabro de grão fino e com algum quartzo. Material intercalado.		Fracturação mais intensa. Diaclasamento com óxidos nas superfícies
25.90		25.90, 29.25 GRANTO ROSA Granito de cor rosada de grão fino a médio.		
29.25		29.25, 40.00 GABRO Gabro com intercalações frequentes de gabro de grão médio a grosseiro e bastante quartzo.		
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR4

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUMNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL	METRAGEM FINAL: 40 m	EQUIPAMENTO DE SONDAJEM: LongYear 38
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 2.20 ZONA DE ALTERAÇÃO Terra vegetal.		
		2.20, 5.20 GABRO Gabro alterado e arenizado.		
5		5.20, 9.95 GABRO Rocha muito alterada, possivelmente gabro, com intensa argilização e arenização.		
10		9.95, 12.45 GABRO Gabro bastante alterado, pouco competente e oxidado.		Alteração intensa e dissolucão com preenchimento de óxidos.
15		12.45, 21.30 GABRO Gabro são de grão fino e cor esverdeada.		Intercalações centimétricas de granito rosa, muito raras.
20				
25		21.30, 23.15 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com intercalação de granito rosa.		Diaclasses com argilas esverdeadas e brancas.
30		23.15, 31.60 GABRO Gabro maioritariamente de grão fino e de cor verde, bastante compacto.		Diaclasses subverticais com argilas e alguns óxidos.
35		31.60, 40.00 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio com raras intercalações quartzeas e graníticas, espaçadas ao longo do intervalo.		
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR5

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL	METRAGEM FINAL: 40 m	EQUIPAMENTO DE SONDAGEM: LongYear 38
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 3.50 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de terra vegetal e afluvião.		
5		3.50, 6.50 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, com curtas e raras intercalações de quartzo.		
		6.50, 7.60 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com bastante quartzo, com intercalações de gabro fino.		Diac lases subverticais com alguns óxidos nas superfícies de diaclasamento.
10		7.60, 10.65 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Bastante compacto		Diac lases a 45° da orientação da sondagem.
		10.65, 12.05 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Bastante compacto		Diac lases com preenchimento de argilas brancas e óxidos
		12.05, 12.90 GRANITO ROSA Intercalação de granito rosa, com bastante feldspato de grão médio a grosseiro		
15		12.90, 16.95 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		
20		16.95, 22.10 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com passagens de gabro de grão fino e cor verde.		Diac lases a 45° da orientação da sondagem com abundantes óxidos e argilas.
25		22.10, 40.00 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio, bastante homogêneo de cor cinzenta escura, bastante compacto		
30				
35				
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR6

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUMNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional /"Wire Line"		
		DIÁMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAGEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0,00, 1,45 ZONA DE ALTERACAO Terra vegetal com rocha altamente arenizada.		
1,45		1,45, 2,05 GRANITO Granito completamente alterado e argilizado.		
2,05		2,05, 5,00 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro Diorítica de grão médio a grosseiro, bastante alterado e pouco coerente.		
5,00		5,00, 6,00 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro Diorítica de grão médio a grosseiro, alterado e com alguma oxidação.		
6,00		6,00, 14,70 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro Diorítica de grão médio a grosseiro, de cor cinzenta esverdeada, compacto e com raras diaclases.		
14,70		14,70, 15,70 GRANITO ROSA Granito de cor rosada, com abundante feldspatos.		
15,70		15,70, 25,40 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro Diorítica de grão médio a grosseiro e de cor cinzenta, com intercalações de granito rosa dos 17,00 aos 17,60 e a os 25,00.		Intercalação de granito dos 14,70 a os 15,70
25,40		25,40, 27,80 GRANITO ROSA Granito de grão fino com abundante feldspato, e de cor rosada. Alguma argilização das diaclases.		
27,80		27,80, 32,55 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, bastante compacto. Intercalação de granito rosa no topo do intervalo.		Diaclases a 45° da orientação da sondagem com alguns oxidos e argilas.
32,55		32,55, 35,55 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, bastante compacto.		
35,55		35,55, 38,55 MISTURA Mistura de gabro de grão fino e granito de cor rosada. Alguns quartzo em veios.		
38,55		38,55, 40,00 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, compacto.		

Anexo IV - Fotografias das caixas e testemunhos de sondagem da campanha de prospecção
Geológico-Geotécnica

Sondagem AR1



Sondagem AR2





Sondagem AR3







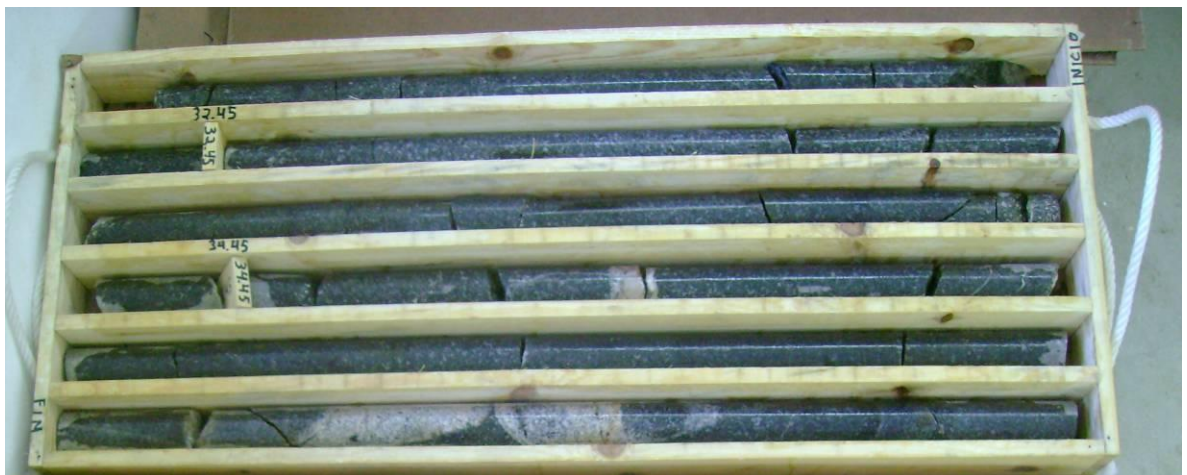
Sondagem AR4





Sondagem AR5







Sondagem AR6







Anexo V - Relatório de ensaio: Método e Terminologia para Descrição Petrográfica Simplificada

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 200937520091258

DATA: 2009-03-10

PÁGINA: 1/3

ENSAIO REALIZADO:

Método e Terminologia para a Descrição Petrográfica Simplificada
Norma Portuguesa NPEN 932/2002:Parte 3

REFERÊNCIA DA AMOSTRA:

Amostra apresentada pelo requerente. Bloco de Rocha, Pedreira de Arronches, (Alto Alentejo), Data de colheita 09.01.28

DATA DE RECEPÇÃO DA AMOSTRA :

2009-01-30

CLIENTE :

Monte Adriano-Engenharia e Construção, SA
Rua Maria da Paz Varzim, 116-Apartado 82
4494 909 Povoia de Varzim

OBRA :

Pedreira de Arronches-MonteAdriano Agregados

OBSERVAÇÕES:

As percentagens de minerais presentes na amostra foram quantificadas através da observação de lâmina delgada.

O presente relatório diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do LGMC

RESPONSÁVEL PELO SECTOR



Eduardo Neves, Engº

O DIRECTOR TÉCNICO DO LGMC



Adriano Teixeira, Engº

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 200937520091258

DATA: 2009-03-10

PÁGINA: 2/3

Tipo de amostra	Rocha (bloco)
Data de ensaio	2009-03-10
Maior dimensão da partícula (mm)	150
Peso da amostra (Kg)	12
Local de recolha	Pedreira de Arronches (Alto Alentejo).
Descrição da amostra	Bloco de Rocha, Pedreira de Arronches Alto Alentejo), Data de colheita 09.01.28

A . Descrição simplificada

Estrutura	Compacta.
Textura	Holocristalina, fanerítica, grão fino.
Alteração	Sã a pouco alterada (W1-2).
Superfície	Áspera.
Porosidade	Baixa.
Forma	---
Irregularidade	---
Anisotropia	Isotrópica.
Vesicularidade	Não apresenta.
Outras propriedades verificadas	Cor cinza escura.

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 200937520091258

DATA: 2009-03-10

PÁGINA: 3/3

B . Classificação geológica

Minerais presentes e respectivas dimensões	Plagioclase: 50%; Anfíbola (hornblendas): 20%; Biotite: 15%; Quartzo: 5%; Piroxena 5% e Acessórios (sobretudo esfena e opacos): 5%. As dimensões dos minerais são inferiores a 1,5 mm.
Modo de jazida	Não determinado.
Idade geológica	Hercínica.
Classificação geológica	Rocha ígnea plutónica - Diorito.

Anexo VI - Relatório de ensaio: Determinação da Resistência à Compressão EN 1926/2006

RELATÓRIO DE ENSAIO**DOCUMENTO Nº:** 20093262009620**DATA:** 2009-01-30**PÁGINA:** 1/3**ENSAIO REALIZADO:**Determinação da Resistência à Compressão
Norma Europeia EN 1926/2006**REFERÊNCIA DA AMOSTRA:**

Amostra apresentada pelo requerente. Tarolos de Sondagem, Data de colheita 09.01.23

DATA DE RECEPÇÃO DA AMOSTRA :

2009-01-27

CLIENTE :Monte Adriano-Engenharia e Construção, SA
Rua Maria da Paz Varzim, 116-Apartado 82
4494 909 Povoia de Varzim**OBRA :**

Pedreira de Arronches-MonteAdraino Agregados

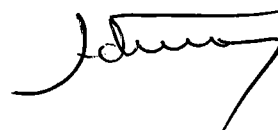
OBSERVAÇÕES:

O presente relatório diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do LGMC

RESPONSÁVEL PELO SECTOR

Eduardo Neves, Eng^o

O DIRECTOR TÉCNICO DO LGMC

Adriano Teixeira, Eng^o

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 20093262009620

DATA: 2009-01-30

PÁGINA: 2/3

A . Características da pedra natural, indicadas pelo requerente

Nome petrográfico da pedra	Diorito
Nome comercial da pedra	---
País e região de extracção	Pedreira de Arronches
Nome do fornecedor	---
Direcção de qualquer plano de anisotropia	---
Pessoa ou entidade que efectuou a amostragem	---

B . Características dos provetes

Referência do provete	Ângulo entre o eixo de carregamento e os planos de anisotropia (°)	Preparação das superfícies de ensaio	Condicionamento dos provetes antes do ensaio
1	---	Os provetes foram preparados pelo LGMC por corte em serra diamantada e por rectificação das superfícies de ensaio	Os provetes foram secos em estufa até massa constante sendo de seguida colocados num ambiente controlado a 20°C (+2°C) até atingir o equilíbrio térmico
2	---		
3	---		
4	---		
5	---		
6	---		
7	---		
8	---		
9	---		
10	---		

C . Resultados obtidos

Referência do provete	1	2	3	4	5
Forma dos provetes	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico
h - Altura do provete (mm)	49,08	48,31	51,01	48,23	49,99
l _m - Valor médio da aresta (mm)	---	---	---	---	---
d _m - valor médio do diâmetro (mm)	47,38	47,31	47,36	47,34	47,43
A - Área do provete = l _m ² ou = (π*d _m ²)/4 (mm ²)	1763,1	1757,9	1761,6	1760,1	1766,8
Data de ensaio	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28
F - Força de rotura (kN)	465,2	479,3	385,7	305,1	413,0
R - Resistência à compressão =(F/A)*1000 (MPa)	263,85	272,65	218,95	173,34	233,76

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 20093262009620

DATA: 2009-01-30

PÁGINA: 3/3

C . Resultados obtidos, continuação

Referência do provete	6	7	8	9	10
Forma dos provetes	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico
h - Altura do provete (mm)	49,55	51,51	49,88	48,77	49,03
l _m - Valor médio da aresta (mm)	---	---	---	---	---
d _m - valor médio do diâmetro (mm)	47,31	47,37	47,35	47,37	47,34
A - Área do provete = l _m ² ou = (π*d _m ²)/4 (mm ²)	1757,9	1762,4	1760,9	1762,4	1760,1
Data de ensaio	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28	2009-01-28
F - Força de rotura (kN)	277,9	421,6	315,0	417,9	487,0
R - Resistência à compressão =(F/A)*1000 (MPa)	158,09	239,22	178,89	237,12	276,69

D. Resistência à compressão, valor médio

R _m - Valor médio da resistência à compressão (MPa)	225
s - Desvio padrão = $\pm\sqrt{\sum (R_i - R_m)^2 / (n-1)}$ (MPa)	42
v - Coeficiente de variação = s/R _m	0,19
R _{min} - Média logarítmica da resistência à compressão = $(1/n) * \sum \ln(R_i)$ (MPa)	5,4
S _{ln} - Desvio padrão logarítmico = $\pm\sqrt{\sum [(\ln(R_i) - R_{min})]^2 / n - 1}$ (MPa)	0,20
Valor máximo da resistência = max (R _i) (MPa)	277
Valor mínimo da resistência = mín (R _i) (MPa)	158
E - Valor mínimo esperado = $e^{R_{min} - k_s * S_{ln}}$ (MPa)	146

DOCUMENTO Nº: 200937520091258**DATA:** 2009-03-10**PÁGINA:** 1/3**ENSAIO REALIZADO:**

Método e Terminologia para a Descrição Petrográfica Simplificada
Norma Portuguesa NPEN 932/2002:Parte 3

REFERÊNCIA DA AMOSTRA:

Amostra apresentada pelo requerente.Bloco de Rocha,Pedreira de Arronches,(Alto Alentejo),Data de colheita 09.01.28

DATA DE RECEPÇÃO DA AMOSTRA :

2009-01-30

CLIENTE :

Monte Adriano-Engenharia e Construção,SA
Rua Maria da Paz Varzim,116-Apartado 82
4494 909 Povia de Varzim

OBRA :

Pedreira de Arronches-MonteAdriano Agregados

OBSERVAÇÕES:

As percentagens de minerais presentes na amostra foram quantificadas através da observação de lâmina delgada.

O presente relatório diz respeito exclusivamente aos fiens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do LGMC

RESPONSÁVEL PELO SECTOR



Eduardo Neves, Engº

O DIRECTOR TÉCNICO DO LGMC



Adriano Teixeira, Engº

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 200937520091258

DATA: 2009-03-10

PÁGINA: 2/3

Tipo de amostra	Rocha (bloco)
Data de ensaio	2009-03-10
Maior dimensão da partícula (mm)	150
Peso da amostra (Kg)	12
Local de recolha	Pedreira de Arronches (Alto Alentejo).
Descrição da amostra	Bloco de Rocha, Pedreira de Arronches Alto Alentejo), Data de colheita 09.01.28

A . Descrição simplificada

Estrutura	Compacta.
Textura	Holocristalina, fanerítica, grão fino.
Alteração	Sã a pouco alterada (W1-2).
Superfície	Áspera.
Porosidade	Baixa.
Forma	—
Irregularidade	—
Anisotropia	Isotrópica.
Vesicularidade	Não apresenta.
Outras propriedades verificadas	Cor cinza escura.

RELATÓRIO DE ENSAIO

DOCUMENTO Nº: 200937520091258

DATA: 2009-03-10

PÁGINA: 3/3

B. Classificação geológica

Minerais presentes e respectivas dimensões	Plagioclase: 50%; Anfíbola (hornblenda): 20%; Biotite: 15%; Quartzo: 5%; Piroxena 5% e Acessórios (sobretudo esfena e opacos): 5%. As dimensões dos minerais são inferiores a 1,5 mm.
Modo de jazida	Não determinado.
Idade geológica	Hercínica.
Classificação geológica	Rocha ígnea plutónica - Diorito.

Anexo VII – Ficha de caracterização do “gabrodiorito” de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017)



Conteúdo
Tipos de Rochas
Motor de Busca

Catálogo Sequencial
Geo-Referenciação
Simulações

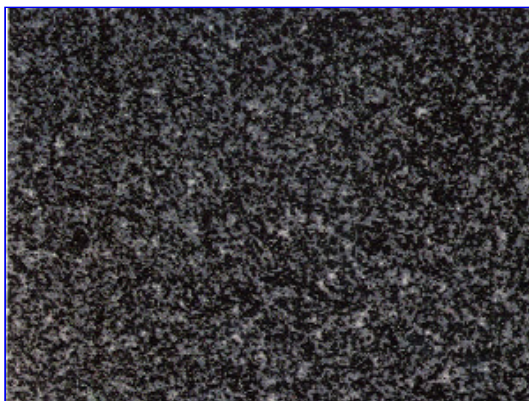


Imagem em tamanho real.

DIORITO	PRETO ARRONCHES = 'GABRODIORITO' DE ARRONCHES	ROCHAS ÍGNEAS
---------	--	---------------

RI-DI 34 A

► Localização

Distrito - PORTALEGRE
Concelho - ARRONCHES
Freguesia - ARRONCHES
Lugar - MONTE DAS ESCARNINHAS

► Descrição Macroscópica

Rocha ígnea de tonalidade cinzenta escura, com granulado fino a médio e aspecto homogêneo.

► Utilização Recomendada

Interiores e exteriores.

► Características Gerais da Exploração

Na pedreira em apreço, a fracturação é moderada, embora outras pedreiras da área mostrem, por vezes, fracturação relativamente densa. O principal sistema de fracturas observado tem orientação média N 30 a 40° E, inclinando de 80° para SE até à vertical e, para além de um outro com atitude N 60° W, 45° NE, ocorrem fracturas de fraco pendor e sub-horizontais. A rocha encontra-se algo alterada nas proximidades das fracturas. A ocorrência de alguns filões aplito-pegmatíticos relacionados com o granito rosado ocorrente na região e zonas pegmatíticas de um tipo de rocha idêntico concorrem para diminuir o rendimento da exploração. Os blocos extraídos são de tamanhos pequeno e médio; o corte de placas é feito segundo qualquer dos planos das faces dos blocos. Há algumas reservas deste tipo de rocha na área, mas a lavra foi, entretanto, suspensa.

► Enquadramento Geológico

Os afloramentos deste tipo de rocha encontram-se localizados na zona externa da estrutura granítica anelar sub-vulcânica de Santa Eulália (Alto Alentejo). A sua idade é Hercínica, ante-Vestfaliana.

► Características Físico-Mecânicas

1. Resistência mecânica à compressão 1660 kg/cm²
 2. Res. mec. à compr. após teste de gelividade 1820 kg/cm²
 3. Resistência mecânica à flexão 173 kg/cm²
 4. Massa volúmica aparente 2840 kg/m³
 5. Absorção de água à P. At.N. 0.1 %
 6. Porosidade aberta 0.4 %
 7. Coef. de dilatação linear térmica val. máx 6.3 x 10⁻⁶ per° C
 8. Resistência ao desgaste 0.5 mm
 9. Resistência ao choque: altura mínima de queda 75 cm
- Obs.** A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.

► Microscopia

Minerais Essenciais

Plagioclase (andesina)	~58 %
Hornblenda	~25 %
Biotite	~12 %

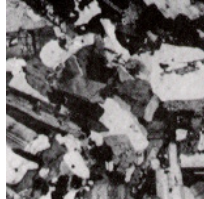
Minerais acessórios

Quartzo ~4%
Clorite e minerais opacos ~1%

Aspectos Microscópicos

Segundo o plano de orientação preferencial

N +x15



Segundo o contra N +x15



Descrição Microscópica

Diorito hornblendito-biotítico de textura hipidiomórfica granular, com alteração sericítica da plagioclase e alteração clorítica da biotite.

► Análise Química

Al ₂ O ₃	17.94 %
CaO	7.63 %
Fe ₂ O ₃ (total)	9.53 %
H ₂ O+	0.94 %
H ₂ O-	0.18 %
K ₂ O	1.45 %
MgO	4.48 %
MnO	0.12 %
Na ₂ O	3.87 %
P ₂ O ₅	0.08 %
SiO ₂	52.56 %
TiO ₂	1.12 %

◀ FICHA ANTERIOR

Ver Fornecedores

Ver Caso - Tipo

Inserir Caso - Tipo

FICHA ▶▶ SEGUINTE

Anexo VIII – Ficha de caracterização do granito rosa de Arronches (Machado Leite & Casal Moura, 2017)



Conteúdo
Tipos de Rochas
Motor de Busca

Catálogo Sequencial
Geo-Referenciação
Simulações

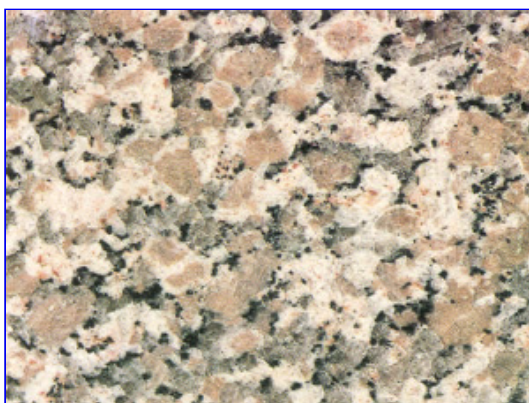


Imagem em tamanho real.

GRANITO	ROSA ARRONCHES	ROCHAS ÍGNEAS
---------	-------------------	---------------

RI-GR 324

► Localização

Distrito - PORTALEGRE
Concelho - ARRONCHES
Freguesia - ARRONCHES
Lugar - HERDADE DAS PINAS

► Descrição Macroscópica

Granito de granulado grosseiro e aspecto homogéneo, porfiróide, com cor levemente rosada determinada pela tonalidade dos megacristais de feldspato, os quais se destacam de uma matriz branco-acinzentada com pontuações escuras.

► Enquadramento Geológico

Este tipo de granito alcalino, com cor rosada, faz parte do anel intermédio da estrutura sub-vulcânica de Santa Eulália (Alto Alentejo), envolvendo um granito cinzento. Atribui-se-lhe idade Hercínica, ante-Vestfaliana.

► Características Físico-Mecânicas

1. Resistência mecânica à compressão 1340 kg/cm²
 2. Res. mec. à compr. após teste de gelividade 1530 kg/cm²
 3. Resistência mecânica à flexão 120 kg/cm²
 4. Massa volúmica aparente 2630 kg/m³
 5. Absorção de água à P. At.N. 0.2 %
 6. Porosidade aberta 0.4 %
 7. Coef. de dilatação linear térmica val. máx 9.3 x 10⁻⁶ per° C
 8. Resistência ao desgaste 0.4 mm
 9. Resistência ao choque: altura mínima de queda 55 cm
- Obs.** A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.

► Utilização Recomendada

Interiores e exteriores.

► Características Gerais da Exploração

A pedra mostra-se relativamente pouco fracturada, registando-se uma certa dispersão dos sistemas de diaclases, dos quais os de direcção N 40° W e N 15° E, ambos de pendor elevado ou sub-verticais, são os mais importantes. O granito apresenta algumas heterogeneidades algo dispersas, tais como encraves e "schlierens" biotíticos e raros filonetes aptito-pegmatíticos de feldspato de tom rosado mais acentuado, inseridos segundo fracturas tardias. Por vezes, encontra-se alterado para amarelo-acastanhado na proximidade de algumas das fracturas. Extraem-se blocos de tamanhos médio ou grande, em que o melhor dos aspectos ornamentais é obtido por corte ao "correr" da pedra; também se cortam placas paralelamente ao "contra" e ao "levante". A zona tem boas perspectivas quanto a reservas.

► Microscopia

Minerais Essenciais

Microclina	~40 %
Plagioclase	~30 %
Quartzo	~20 %
Biotite	~8 %

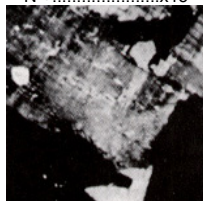
Minerais acessórios

Zircão, apatite e minerais opacos ~2%

Aspectos Microscópicos

Segundo o plano de orientação preferencial

N +x15



Segundo o contra N +x15



Descrição Microscópica

Rocha granítica porfiróide com textura hipidiomórfica granular.

► Análise Química

Al ₂ O ₃	14.73 %
CaO	1.74 %
Fe ₂ O ₃ (total)	2.74 %
H ₂ O+	0.24 %
H ₂ O-	0.18 %
K ₂ O	4.43 %
MgO	0.67 %
MnO	0.03 %
Na ₂ O	3.87 %
P ₂ O ₅	0.06 %
SiO ₂	70.72 %
TiO ₂	0.23 %

◀ FICHA ANTERIOR

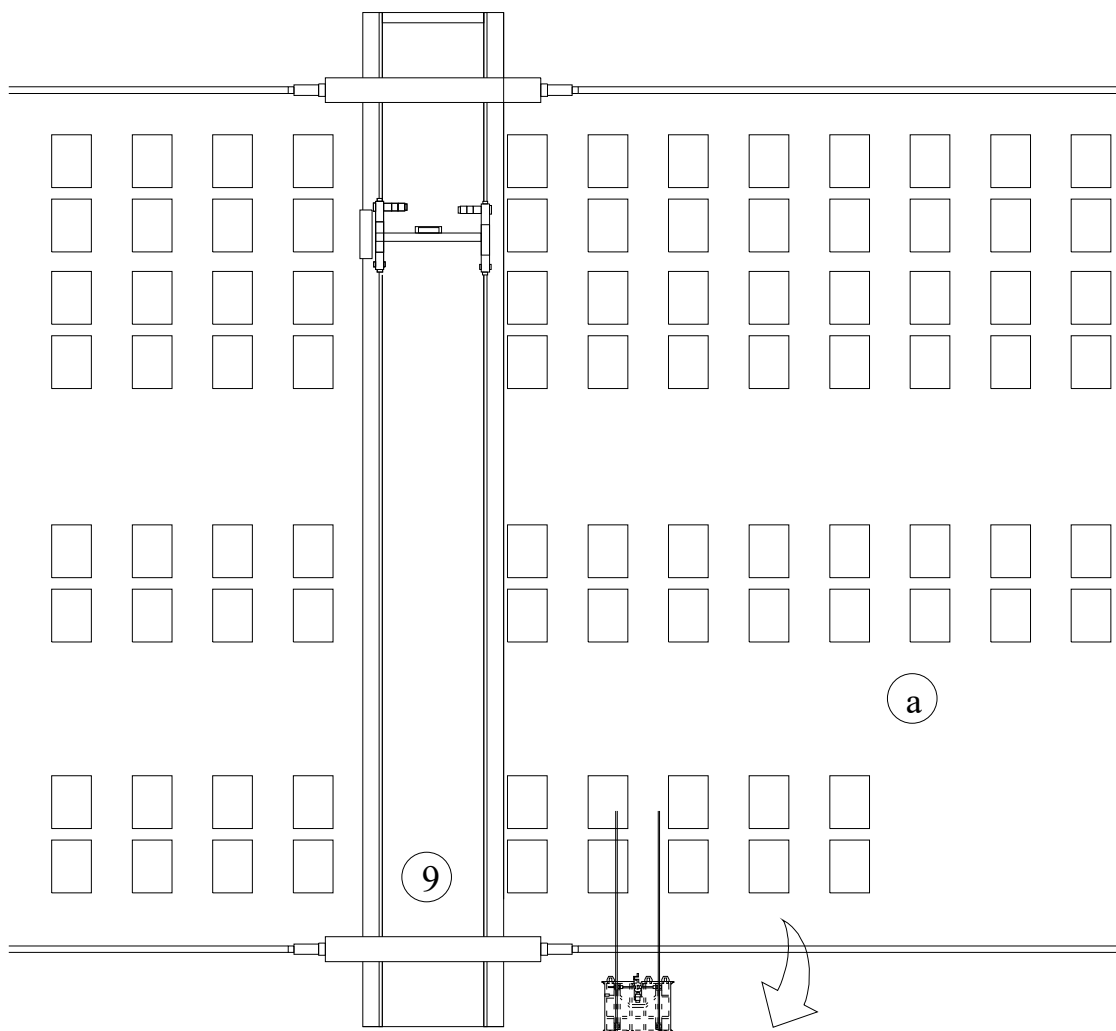
Ver Fornecedores

Ver Caso - Tipo

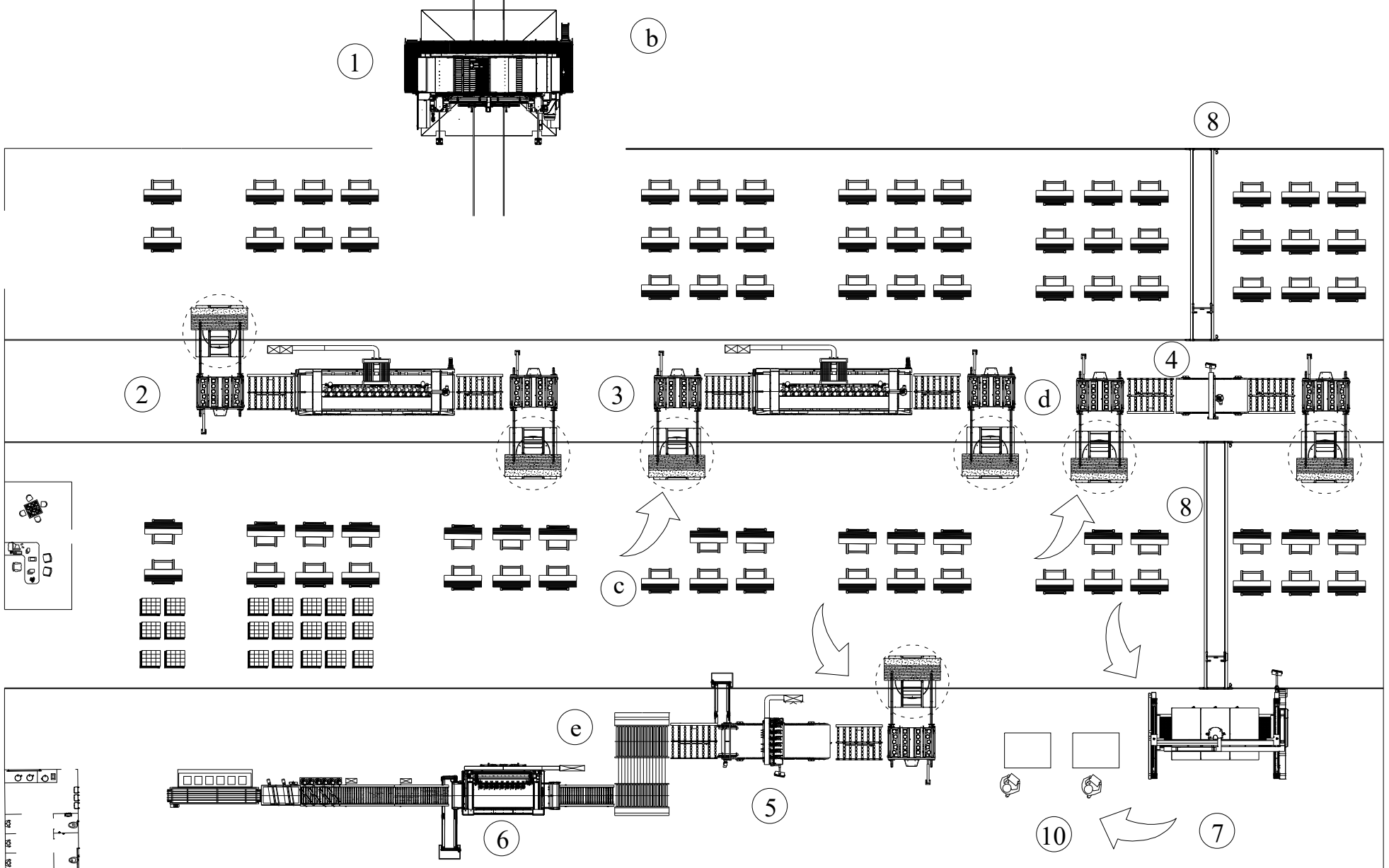
Inserir Caso - Tipo

FICHA ▶▶ SEGUINTE

Anexo IX – Planta da instalação de transformação em *Autocad*



- Ⓐ Parque de blocos
- Ⓑ Zona de serragem
- Ⓒ Armazenamento de chapas
- Ⓓ Zona de tratamento de superfícies
- Ⓔ Zona de corte
- ① Engenho multifio - Breton - PARAGON 2100 / 7 / V / 73
- ② Calibradora - Pedrini - Galaxy B220CG-8
- ③ Máquina de polir - Pedrini - Galaxy B220GB - 12
- ④ Máquina de ponte - Pedrini - Universal M940CN
- ⑤ Máquina de corte - Pedrini - M744LD - 7
- ⑥ Máquina de corte - Pedrini - M750LD - 08M
- ⑦ Máquina multifuncional - Pellegrini - FB220
- ⑧ Grua de ponte
- ⑨ Pórtico
- ⑩ Acabamento manual



0 20 m

