

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Valorização do granito de Pedras Salgadas como rocha
ornamental**

Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas

Domingos Xavier Mendanha Ferreira

Orientação de:

Prof. Doutor Luís Manuel de Oliveira Sousa

Prof. Doutor Luís Herculano Melo de Carvalho



Vila Real, 2019

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Valorização do granito de Pedras Salgadas como rocha
ornamental**

Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas

Domingos Xavier Mendanha Ferreira

Orientação de:

Prof. Doutor Luís Manuel de Oliveira Sousa

Prof. Doutor Luís Herculano Melo de Carvalho

Composição do Júri:

Vila Real, 2019

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho de investigação permitiu-me perceber que, com dedicação e persistência, tudo é possível. Sem o apoio e orientação daqueles que me rodeiam, tenho a certeza de que não conseguiria concluir este trabalho. Assim, quero agradecer o apoio de várias pessoas que, direta ou indiretamente, prestaram o seu contributo e às quais, não posso deixar de prestar o meu reconhecimento e gratidão.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Doutor Luís Manuel de Oliveira Sousa e ao Doutor Luís Herculano Melo de Carvalho, pelo apoio e orientação durante o trabalho realizado. Tal como a disponibilidade e incentivo, sem estes não seria possível a realização deste trabalho.

A todos os docentes do Mestrado em Geociências Aplicadas, pelos ensinamentos transmitidos ao longo de cada unidade curricular e por suscitarem a vontade de pesquisar e de obter mais conhecimentos sobre esta área.

À minha namorada, pelo incentivo, apoio, carinho e ajuda prestada ao longo deste trabalho.

Aos meus colegas, pela disponibilidade e ajuda na realização dos trabalhos de campo, um especial agradecimento ao João Vaz e ao Filipe Ribeiro.

Aos técnicos das pedreiras, pela ajuda e esclarecimentos de dúvidas durante os trabalhos de campo.

À empresa Transgranitos, pela disponibilização do equipamento e ajuda durante a recolha de dados.

Ao laboratório de geologia da UTAD pela ajuda na realização e interpretação das lâminas delgadas.

Muito obrigado a todos!

Resumo

Os estudos realizados neste trabalho tiveram como objetivo a valorização do granito de Pedras Salgadas como rocha ornamental. Foi efetuada a caracterização da homogeneidade textural, a caracterização de variações cromáticas entre pedreiras, o levantamento da fraturação, o cálculo teórico do aproveitamento utilizando o programa 3D_BlockExpert e a aplicação de um novo acabamento superficial.

A caracterização da homogeneidade textural, não revela a presença de elementos que contribuam para heterogeneidades texturais e que comprometam a exploração ou afetem o rendimento das pedreiras em laboração.

A variação cromática entre as pedreiras deste granito, tem sido identificada pelas diferentes empresas transformadoras, procurando-se neste trabalho avaliar estas diferenças. Foram analisadas chapas, com acabamento polido, provenientes de diferentes pedreiras e analisados os parâmetros L^* , a^* e b^* para cada chapa. Quando comparados os valores, é possível separar as pedreiras em dois grupos, um que apresenta granito com coloração mais escura e outro que apresenta uma cor mais clara.

O levantamento da fraturação e espaçamento de fraturas foi efetuado em dois locais distintos, numa área virgem e em pedreiras ativas. Este levantamento permite o cálculo de vários índices de fraturação e assim determinar a aptidão da área virgem para fornecer blocos comerciais. A nova área apresenta potencialidades para a instalação de uma nova pedreira.

O cálculo do volume teórico possível de ser extraído em frentes de trabalho foi determinado utilizando o programa 3D_BlockExpert. A utilização desta ferramenta permite definir o tamanho e forma dos blocos a extrair e contribuir para aumentar o rendimento das pedreiras.

Foi possível a criação de um novo acabamento superficial à base de óxidos de ferro, aplicado em condições ambientais específicas. Esta solução pode ser aplicada no granito de Pedras Salgadas, mas também em outras rochas granitoides.

Palavras chave: Rocha Ornamental, Granito, Heterogeneidades, Fraturação, Coloração

Abstract

The aim of this work was the valorisation of Pedras Salgadas granite as ornamental stone. For this purpose the characterization of the textural homogeneity, the systematic study of joints and research of a new surface finish were done.

Textural evaluation does not reveal the presence of heterogeneities compromising the exploitation or affecting the quarries yield.

This study aimed to evaluate the chromatic variation among quarries as identified by different processing companies. Chromatic parameters L^* , a^* and b^* were analysed in polished slabs from different quarries. Two different groups stand out from the results, one with a darker granite and other with a whitish coloration.

The evaluation of joint sets and joint spacing was carried out in two different locations, a virgin area and active quarries. After the survey several fracture indexes were computed and the suitability of the virgin area to provide commercial blocks was assessed. The new area shows potential for the installation of a new quarry.

The theoretical quarry yield was evaluated using the program 3D_BlockExpert. This tool allows to define the size and shape of the blocks to extract and contributes to increase the quarry production.

It was possible to create a new surface finish based on iron oxides, applied under specific environmental conditions. This solution can be applied in Pedras Salgadas granite and other whitish granitoid rocks as well.

Keywords: Ornamental stone, Granite, Heterogeneities, Fracturation, Coloration

Índice

Agradecimentos.....	V
Resumo.....	VII
Abstract.....	IX
Índice de Figuras.....	XV
Índice de Tabelas.....	XIX
Índice de Quadros.....	XXIII
1- Introdução.....	1
1.1- Objetivos.....	3
1.2- Metodologia.....	3
1.2.1- Avaliação da homogeneidade textural.....	3
1.2.1.1- Tamanho do grão.....	3
1.2.1.2- Cor.....	3
1.2.2- Fraturação e blocometria.....	4
1.2.2.1- Fraturação e índice volumétrico.....	4
1.2.2.2- Blocometria.....	5
1.2.3- Coloração.....	5
2- A importância das rochas ornamentais.....	7
2.1- Aspectos históricos.....	7
2.2- Rocha ornamental.....	11
2.3- Rochas em Portugal.....	14
2.4- Peças produzidas.....	16
2.5- Fatores que controlam a exploração/extração de rochas ornamentais.....	19
2.5.1- Mercado em Portugal e no mundo.....	19

2.5.2- Homogeneidade e propriedades físicas mecânicas	21
2.5.3- Fraturação.....	22
3- Caracterização do granito de Pedras Salgadas.....	29
3.1- Enquadramento Geológico.....	29
3.2- Características mesoscópicas	31
3.3- Microscopia e petrografia.....	35
3.4- Características físico-mecânicas	37
4- Avaliação da homogeneidade textural.....	39
4.1- Tamanho do grão.....	39
4.2- Caracterização da cor.....	46
4.2.1- Variação na Chapa.....	52
4.2.1.1- Pedreira A.....	52
4.2.1.2- Pedreira B.....	54
4.2.1.3- Pedreira C.....	55
4.2.1.4- Pedreira D.....	56
4.2.2- Variação de chapa para chapa.....	57
4.2.2.1- Pedreira A.....	57
4.2.2.2- Pedreira B.....	59
4.2.2.3- Pedreira C	59
4.2.2.4- Pedreira D.....	60
4.2.3- Variação nos blocos.....	61
4.2.4- Variação entre pedreira.....	61
5- Fraturação e blocometria.....	65
5.1- Avaliação da fraturação.....	65

5.1.1-Pedreiras.....	66
5.1.1.1- Estudo da direção de fraturação.....	66
5.1.1.2- Estudo espaçamento e índice volumétrico.....	69
5.1.2- Sabroso de Aguiar.....	71
5.1.2.1- Famílias de fraturas.....	71
5.1.2.2 – Estudo espaçamento e índice volumétrico.....	78
5.2-Modelação da fraturação.....	82
5.2.1- 3D-Block Expert.....	82
5.2.1.1- Frente A01.....	83
5.2.1.2- Frente A02.....	86
5.2.1.3- Frente A03.....	88
5.2.1.4- Frente A04.....	90
5.2.1.5- Frente A05.....	92
5.2.1.6- Frente A06.....	94
5.2.1.7- Frente A07.....	96
5.2.1.8- Frente B01.....	98
5.2.1.9- Frente B02.....	100
5.3- Comparação entre rendimento calculado e rendimento real.....	102
6-Coloração.....	105
6.1-Corante.....	105
6.2- Influência das condições ambientais.....	107
7- Conclusões.....	111
8- Referencias Bibliográficas.....	115

Índice de Figuras

Figura 1 – Fotografia aérea da zona de exploração de Pedras Salgadas, agosto de 1965 (Sousa 2012).....	8
Figura 2 – Áreas ocupadas pelas pedreiras do granito de Pedras Salgadas em 1984 e 1992 (Sousa 2012).	9
Figura 3 - Fotografia aérea da Zona de Exploração de Pedras Salgadas (Google Earth).....	10
Figura 4 – Avaliação qualitativa dos depósitos de rocha ornamental em Portugal (Carvalho <i>et al</i> , 2013a).....	15
Figura 5 – Estimativa da produção líquida e bruta de rocha ornamental (dados de Montani, 2017).....	20
Figura 6- Localização das pedreiras e evolução da exploração condicionadas pelos corredores de fraturação (Sousa e Pires, 1998).....	23
Figura 7 – Relação entre a orientação relativa das 3 famílias de fraturas presentes num maciço (1, 2, 3) e os blocos resultantes; R é uma fratura aleatória (I.S.R.M., 1978).....	24
Figura 8 - Enquadramento geológico dos granitos explorados na região de Vila Real, NE de Portugal (adaptado da folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000) (Sousa, 2012).....	31
Figura 9 – Megacristais de feldspato potássico (escala 5 cm).....	32
Figura 10 – Nodulo biotítico com aproximadamente 8 cm de comprimento.....	32
Figura 11 – Sulfuretos em parede de uma diaclase.....	33
Figura 12 – Filonete milimétrico afetando a homogeneidade em um produto final.....	34
Figura 13 – Afloramento com lineações e nódulos biotíticos.....	34
Figura 14 – Cristais de quartzo (Qtz), moscovite (Msc) e biotite com inclusões de minerais radioativos (Bt).....	36
Figura 15 – Cristais de plagioclase (Pl), feldspato potássico alterado (Fl) e clorite (Cl).....	36

Figura 16 – Cristais de quartzo (Qtz), feldspato com inclusões de moscovite (Msc) e clorite (Cl).....	36
Figura 17 - Cristais de biotite alterada para clorite (Bt) e a) óxidos de ferro.....	36
Figura 18 – Dimensão média total dos minerais por chapa.....	41
Figura 19 – Dimensão média por chapa para os minerais de Plagioclase.....	42
Figura 20 – Dimensão média por chapa para os minerais de Biotite.....	43
Figura 21 – Dimensão média por chapa para os minerais de Quartzo.....	44
Figura 22 – Dimensão média por chapa para os minerais de Feldspato.....	45
Figura 23 – Valores médios de L*, a* e b* em função do número de medições.....	47
Figura 24 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor L*.....	49
Figura 25 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor a*.....	50
Figura 26 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor b*.....	51
Figura 27 – Variação na homogeneidade textural do granito, presença de manchas esbranquiçadas.....	54
Figura 28 – Variação cromática de material proveniente de duas pedreiras diferentes (granito de Pedras Salgadas).....	62
Figura 29 - Fotografia aérea da Zona de Exploração de Pedras Salgadas, com localização das pedreiras estudadas (Google Earth).....	66
Figura 30 - Diagrama de rosetas do total das direções de fratura medidas para as pedreiras em estudo (N = 143) e respetivo diagrama de densidades.....	67
Figura 31 – Diagrama de rosetas para cada pedreira em estudo.....	68
Figura 32 – Histograma dos espaçamentos para a totalidade das pedreiras.....	69
Figura 33 – Histogramas de espaçamentos para as pedreiras 1 a 3.....	70
Figura 34 - Vectorização da fraturação da área de Sabroso de Aguiar. Imagem aérea obtida por Remotely Piloted Aircraft System (RPAS).....	72

Figura 35 – Diagrama de rosetas para a área de Sabroso de Aguiar (N = 500), considerando o comprimento das fraturas e respetivo diagrama de densidades	73
Figura 36 – Diagrama de rosetas do total das direções de fratura medidas na área de Sabroso de Aguiar (N = 315) e respetivo diagrama de densidades	74
Figura 37 – Locais das medições de campo assinaladas com o respetivo diagrama de rosetas na área de Sabroso de Aguiar. Imagem aérea obtida por RPAS.....	75
Figura 38 - Diagrama de rosetas para os locais de amostragem 1 a 4.....	76
Figura 38 –(continuação) – Diagrama de rosetas para os locais de amostragem 5 a 7.....	77
Figura 39 - Histograma dos espaçamentos para a totalidade da zona de Sabroso de Aguiar	78
Figura 40 – Histogramas dos espaçamentos para os locais de amostragem 1 a 7.....	79
Figura 41 – Exemplo de aquisição de dados por meio de 3 pontos (em cada caso uma coordenada X, Y e Z) para a descrição de um nível no sistema de coordenadas (conforme Mosch S., 2010).....	82
Figura 42 – Modelação da frente de trabalho A01, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 9,5m×7,55m×9,4m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ	85
Figura 43 – Modelação da frente de trabalho A02, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 9,5m×7,50m×9,4m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ	87
Figura 44 – Modelação da frente de trabalho A03, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 7,8m×6,50m×9,6m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ	89

Figura 45 – Modelação da frente de trabalho A04, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 14,5m×7,50m×9,7m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ	91
Figura 46 – Modelação da frente de trabalho A05, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 8,4m×5,3m×9,3m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ	93
Figura 47 – Modelação da frente de trabalho A06, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 9,3m×7,90m×9,6m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ	95
Figura 48 – Modelação da frente de trabalho A07, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 8,7m×9,5m×10m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ	97
Figura 49- Modelação da frente de trabalho B01, correspondente à pedreira Irmãos Queirós, com as seguintes dimensões: 8m×13,7m×9,7m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.....	99
Figura 50 –Modelação da frente de trabalho B02, correspondente à pedreira Irmãos Queirós, com as seguintes dimensões: 2,3m×8,25m×9,7m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ.....	101
Figura 51 – Gráfico de dispersão dos valores Calculado × Real das pedreiras analisadas	104
Figura 52 – Granito de Pedras Salgadas sem óxido de ferro (esquerda) e com uma camada de óxido de ferro e areia (direita)	106
Figura 53 – Amostra de granito de Pedras Salgadas após 5 dias submersa (dimensão 7,5 X 7,5cm).....	107
Figura 54 – Amostras coloridas com óxido de ferro, 1 dias (esquerda), 2 dias (centro) e 5 dias (direita).....	108

Figura 55 - Amostras de granito de Pedras Salgadas, amaciado, à esquerda, e serrado, à direita, dois dias após aplicação do colorante.....109

Figura 56 - Amostras de granito de Pedras Salgadas (esquerda), Cinza Telões (centro) e Branco Micaela (Direita), com tempo de coloração de dois dias.....109

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características físico mecânicas do granito de Pedras Salgadas (RMC - Resistência Mecânica à Compressão; RMF - Resistência Mecânica à Flexão; MVA- Massa Volúmica Aparente; PA – Porosidade Aberta; AA – Absorção de Água-pressão atmosférica; CDLT – Coeficiente de Dilatação Linear Térmica; ER – Energia de Rutura; RA – Resistência à Abrasão; RMCtg – Resistência Mecânica à Compressão-após teste de gelividade.	37
Tabela 2 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira A.....	52
Tabela 2 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira A.....	53
Tabela 3 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira B.....	54
Tabela 3 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira B.....	55
Tabela 4 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira C.....	55
Tabela 4 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira C.....	56
Tabela 5 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira D.....	56
Tabela 6 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira A.....	58
Tabela 7 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira B.....	59
Tabela 8 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira C.....	60
Tabela 9 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira D.....	60
Tabela 10 – Variação cromática entre blocos.....	61
Tabela 11 – Valores médios de L*, a* e b* para as diferentes pedreiras.....	61
Tabela 12 – Variação cromática entre as diferentes pedreiras.....	62
Tabela 13 – Resultados globais dos espaçamentos para as pedreiras observadas.....	70
Tabela 14 – Resultados dos espaçamentos médios e do índice de Jv para as pedreiras estudadas.....	71
Tabela 15 – Resultados globais dos espaçamentos para os locais observados.....	80
Tabela 16 – Resultados dos espaçamentos médios e do índice de Jv para os locais estudados.....	81
Tabela 17 – Volume máximo, calculado e real das frentes de pedreiras observadas.....	103
Tabela 18 – Ensaio de pigmentação do granito de Pedras Salgadas.....	110

Índice de Quadros

Quadro 1 - Acabamentos superficiais mais utilizados (Sousa, 2012).....	17
Quadro 1 (Continuação) - Acabamentos superficiais mais utilizados (Sousa, 2012).....	18
Quadro 2 - Relação entre J_v e o tamanho do bloco (I.S.R.M. 1978; Toyos <i>et al.</i> 1994).....	26
Quadro 3 - Tamanho indicativo do bloco em função do valor de J_v (García, 1996).....	27

1- Introdução

Portugal é um dos principais produtores mundiais de rocha ornamental, possuindo uma grande variedade destes recursos geológicos que são explorados por todo o país, embora com alguns núcleos principais (Carvalho *et al.* 2013). Nestes núcleos, apesar de se observar um decréscimo no número de pedreiras em atividade, verifica-se um crescimento na produção. Este aumento é originado pelo aparecimento de mão-de-obra qualificada, inovação tecnológica e melhores condições de segurança no trabalho (Carvalho *et al.* 2018).

Com o aumento da produção de rocha ornamental, o volume de rejeito produzido também é elevado, provocando um grande impacto na paisagem envolvente e nas comunidades locais (Catarino *et al.* 2015; Marras e Careddu, 2017). Apesar de este problema ter sido detetado há muito tempo, atualmente há uma consciencialização progressiva por partes dos empresários, com o objetivo de minimizar o impacto gerado pelos processos de exploração e transformação. Deste modo deve-se almejar o desenvolvimento sustentável de forma a satisfazer as necessidades atuais sem comprometer as necessidades futuras (Catarino *et al.* 2015; Carvalho *et al.* 2018). No entanto, enquanto existir exploração de recursos geológicos, o meio ambiente e as comunidades envolventes serão sempre afetados.

Estima-se que aproximadamente 30-40% do material explorado para rocha ornamental é considerado rejeito, podendo este valor variar entre pedreiras e tipo de rocha explorado (Almeida *et al.* 2007; Vazzoler *et al.* 2018), tornando o setor de rocha ornamental altamente insustentável (Chouham *et al.* 2018). Assim, a procura de métodos que permitam aumentar a produtividade nas pedreiras tem sido alvo de estudo pelas comunidades científicas e industriais.

Na exploração de rochas ornamentais, o tamanho dos blocos explorados afeta o seu valor comercial, pois blocos com dimensões reduzidas limitam a gama de produtos possíveis de ser produzidos (Elkarmoty *et al.* 2017). Assim, o principal objetivo de uma pedreira para extração de rocha ornamental é a produção de blocos com dimensões padronizadas e sem fraturas/diaclases (Pornasi *et al.* 2006). Na pedreira, a fracturação é um fator determinante e é imperioso prever o comportamento das fraturas em toda a massa rochosa (Sousa *et al.* 2017). Assim, mapear as fraturas ajuda o desenvolvimento das pedreiras de uma maneira racional e mais rentável. Esta informação assume uma elevada importância na criação de novas frentes/bancadas de trabalho nas pedreiras levando a um aumento da produtividade e do rendimento das pedreiras (Pornasi *et al.* 2006; Sousa, 2010; Yarahmadi *et al.* 2017).

Contudo, a caracterização da fraturação das áreas de exploração pode levar a erros, devido à heterogeneidade do maciço. Assim, o estudo de áreas menores, nas frentes de trabalho leva à redução desse erro e permite determinar a produtividade da pedreira com base nos blocos “*in situ*” (Yarahmadi *et al.* 2017). Mosch *et al.* (2010), Yarahmadi *et al.* (2017) e Elkarmoty *et al.* (2017) utilizam programas com o objetivo de modelar e maximizar a produção de blocos nas pedreiras, levando ao aumento da produtividade.

Para além da fraturação, existem outras características que se devem ter em consideração nas rochas ornamentais. São diversos os fatores que determinam a qualidade da rocha ornamental, podendo estar relacionados com as características da rocha ou então com as da pedreira de onde é extraída. No que diz respeito às características do material, as suas propriedades físico-mecânicas assumem uma grande importância (Sousa *et al.* 2016; Sousa *et al.* 2017). Estas propriedades permitem avaliar as rochas do ponto de vista da qualidade, obtendo informações que possibilitem a sua aplicação e utilização de maneira mais eficiente e correta (Ganesha *et al.* 2016; Sousa *et al.* 2016; Sousa *et al.* 2017; Sousa, 2013; Ozguven e Ozelik, 2014).

As suas características visuais assumem um papel preponderante quando se trata da seleção do material a aplicar numa determinada obra (Sousa *et al.* 2017). Como o mercado deseja rochas homogêneas (em cor e textura) importa estudar as variações naturais que as rochas apresentem e avaliar se as mesmas poderão influenciar o valor comercial do material.

Os granitos apresentam colorações naturais que podem variar desde o cinza ao vermelho. Esta cor é consequência do conteúdo mineralógico, assim como do tamanho dos minerais e do nível de alteração dos mesmos (Sousa e Gonçalves, 2012). No entanto, existem outros fatores que afetam a cor das rochas, tais como: variações texturais, variações da cor no maciço e acabamentos superficiais (Sousa e Gonçalves, 2012; Yarahmadi *et al.* 2017 e López *et al.* 2018). O material aplicado numa obra deve ser uniforme, devendo apresentar as mesmas características texturais e de cor. A variação de um destes fatores leva a que o produto final não seja esteticamente atrativo.

Em Portugal existe uma preponderância de granitos com cor clara/cinzenta, os quais possuem, em geral, baixo valor comercial. A utilização de técnicas que permitam a alteração da cor destes granitos pode ser uma mais-valia para os granitos ornamentais portugueses (Sousa e Gonçalves, 2012), possibilitando que se coloque no mercado uma maior variedade de produtos.

1.1- Objetivos

O objetivo desta investigação é a valorização do granito ornamental de Pedras Salgadas. Para tal definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a variabilidade textural e cromática deste granito;
- Estudar a fraturação que afeta este granito, identificando as principais famílias de fraturas;
- Modelar a fraturação com recurso ao programa informático 3D-BlockExpert;
- Avaliar a viabilidade da coloração superficial com recurso a óxidos;

1.2- Metodologia

1.2.1- Avaliação da homogeneidade textural

1.2.1.1- Tamanho do grão

Para a identificação da variação da granulometria no granito de Pedras Salgadas, procedeu-se à medição dos 15 maiores minerais identificados, numa área com 40×40cm. Para cada chapa avaliada foram definidas 3 áreas distintas para se avaliar a variação numa mesma chapa. A área ocupada pelos minerais, foi determinada através da fórmula do cálculo da área de um paralelepípedo, para as plagioclases, enquanto para os restantes foi utilizada a fórmula da elipse (quartzo, biotite e feldspato). Os dados recolhidos foram tratados usando o Microsoft Excel, calculando-se o valor médio, máximo e mínimo.

1.2.1.2- Cor

A avaliação da cor das diferentes chapas, provenientes das diferentes pedreiras do granito de Pedras Salgadas, foi avaliada utilizando o colorímetro X-Rite (Modelo 964). As chapas analisadas tinham o mesmo acabamento final, o polido. As medições foram efetuadas em 3 locais diferentes de cada chapa. A área de análise possuía a dimensão de 40×40cm. O número de medições a realizar foi determinado após 90 medições consecutivas em 4 locais

diferentes, determinando-se o valor médio após cada medição. O tratamento dos valores obtidos permitiu observar que após 40 medições os parâmetros *L, *a e *b não sofriram grandes alterações, tendo sido este o valor escolhido.

Para cada área demarcada nas diferentes chapas foram efetuadas as 40 medições de maneira a que estas não se sobrepusessem. Os valores registados foram posteriormente tratados utilizando o Microsoft Excel, calculando-se o valor médio, máximo e mínimo.

A variação cromática foi calculada através da equação: $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$. O resultado desta equação quantifica a variação da cor de uma determinada superfície, sendo esta expressa em unidades CIELAB.

1.2.2- Fraturação e blocometria

1.2.2.1- Fraturação e índice volumétrico

Para a determinação da direção e inclinação das fraturas, foram estudadas pedreiras em atividade e uma área virgem em Sabroso de Aguiar, tendo os resultados sido posteriormente comparados com estudos anteriores. A medição da atitude das fraturas foi obtida através da utilização de uma bússola e o espaçamento entre fraturas foi determinado com auxílio de uma fita métrica. Tentou-se fazer o levantamento de todas as fraturas visíveis, tal como a medição dos espaçamentos entre fraturas de uma mesma família. A medição do espaçamento entre fraturas corresponde à distância mínima entre fraturas adjacentes pertencentes à mesma família.

Na área de Sabroso de Aguiar, foi também feito o levantamento da área com auxílio de aeronave não tripulada (Drone). As imagens obtidas permitiram, após processamento, a demarcação das fraturas visíveis no afloramento granítico utilizando o “software ArcMap”. As fraturas demarcadas foram posteriormente tratadas utilizando a ferramenta “Linear Directional Mean”, obtendo-se a direção e comprimento das fraturas. Neste ponto, foi considerado o comprimento e não o número de diaclases pertencentes à mesma família de fraturas. Para este local foi também feito o levantamento de campo da direção de fraturação e espaçamento entre fraturas.

Os dados da fraturação recolhidos foram tratados usando o programa Stereonet, versão 10.0, possibilitando a identificação das principais famílias de fraturas nos diagramas de roseta

e nos estereogramas. Os valores de espaçamento foram tratados usando o Microsoft Excel, obtendo-se os histogramas de distribuição dos espaçamentos, assim como os valores médios, mínimos e máximos de espaçamento para as várias famílias de fraturas, locais e pedreiras estudados. O cálculo de índice volumétrico foi também determinado utilizando o mesmo programa.

1.2.2.2- Blocometria

A recolha de dados foi efetuada em diferentes pedreiras do granito de Pedras Salgadas. Foram efetuadas medidas nas frentes de trabalho procedendo-se ao levantamento da fraturação existente. Os filões e filonetes também foram considerados como fraturas, isto porque também atuam como descontinuidades na rocha aquando do esquadreamento dos blocos.

O tratamento dos dados foi realizado utilizando o “Software 3D_BlockExpert”, os resultados obtidos foram tratados utilizando o Microsoft Excel e as fotografias das frentes de trabalho foram processadas com recurso ao Photoshop_CS3.

1.2.3- Coloração

Os ensaios de coloração consistiram na utilização de limalha de ferro (rejeito de uma serralharia), que foram submetidos a um processo simples de oxidação utilizando água para obter óxido de ferro. Este óxido de ferro foi posteriormente misturado com areia, em diferentes percentagens, e testado em placas de granito. Para os distintos ensaios realizados foram utilizadas as diferentes misturas de óxido de ferro e areia, cobrindo as placas de granito com uma camada fina. Posteriormente as placas foram submetidas a diferentes condições ambientais.

Os primeiros ensaios realizados consistiram na utilização de uma estufa, onde as amostras foram submetidas a variações de temperaturas, dos 20°C aos 70°C e a valores de humidade constante próxima dos 90%. Os ensaios seguintes, consistiram na imersão parcial das placas de granito com as diferentes percentagens de óxido de ferro/areia e, deixando as mesmas

a temperatura ambiente, com tempos de ensaio diferentes. Por último, as placas foram borrifadas com água sempre que a mistura de óxido de ferro/areia se encontrasse seca.

O tempo de ensaio, para os diferentes métodos, foi de 1, 2 e 5 dias, sendo que após este tempo as amostras eram lavadas de maneira a remover todo o óxido de ferro e areia em excesso, expondo assim a patina de coloração obtida. Para cada ensaio foram utilizadas amostras diferentes, mas do mesmo material.

2- A importância das rochas ornamentais

2.1- Aspectos históricos

A exploração de rocha ornamental na região de Vila Pouca de Aguiar, contribuiu para o desenvolvimento local e regional, sendo esta uma atividade com importância significativa. Na região são explorados três tipos de granitos, o granito de Pedras Salgadas, o granito de Telões e o granito da serra da Falperra (Amarelo Real). Destes granitos, o núcleo de Pedras Salgadas foi o primeiro a ter um elevado desenvolvimento. Devido às suas excelentes características físico-mecânicas e texturais, este foi um dos mais procurados pela indústria transformadora. As primeiras pedreiras com produção contínua remontam à década de 60 e produziam essencialmente peças para arruamentos e perpianho para a construção de habitações. O granito de Pedras Salgadas apresenta baixo grau de fraturação e meteorização, sendo inicialmente utilizado pelas populações locais o material com maior grau de meteorização.

Apesar do desenvolvimento tecnológico, a exploração do granito de Pedras Salgadas, antes da década de 1980, ainda era efetuada através de métodos artesanais, obtendo-se blocos de pequenas dimensões. Com a introdução de técnicas com recurso a ar comprimido, na década de 1980 aumentou o número de pedreiras em laboração assim como o volume de rocha extraído. Na década de 1960, na zona de Pedras Salgadas apenas existiam 4 pedreiras (Figura 1), aumentando para 7 na década de 1980 e 19 no início da década de 1990 (Figura 2).

Atualmente o número de pedreiras em atividade é inferior ao da década de 1990, contudo as consequências da exploração de rocha ornamental são ainda visíveis nos dias de hoje. A figura 3 é uma imagem aérea da atual área afeta à exploração de rocha ornamental na zona de Pedras Salgadas, onde é possível inferir não apenas o impacto paisagístico das pedreiras, mas também a dimensão das mesmas. O crescimento deste núcleo foi sustentado por um esforço de dotar as unidades extrativas com equipamento moderno, pela integração de jovens quadros técnicos e pela gradual formação dos operários.

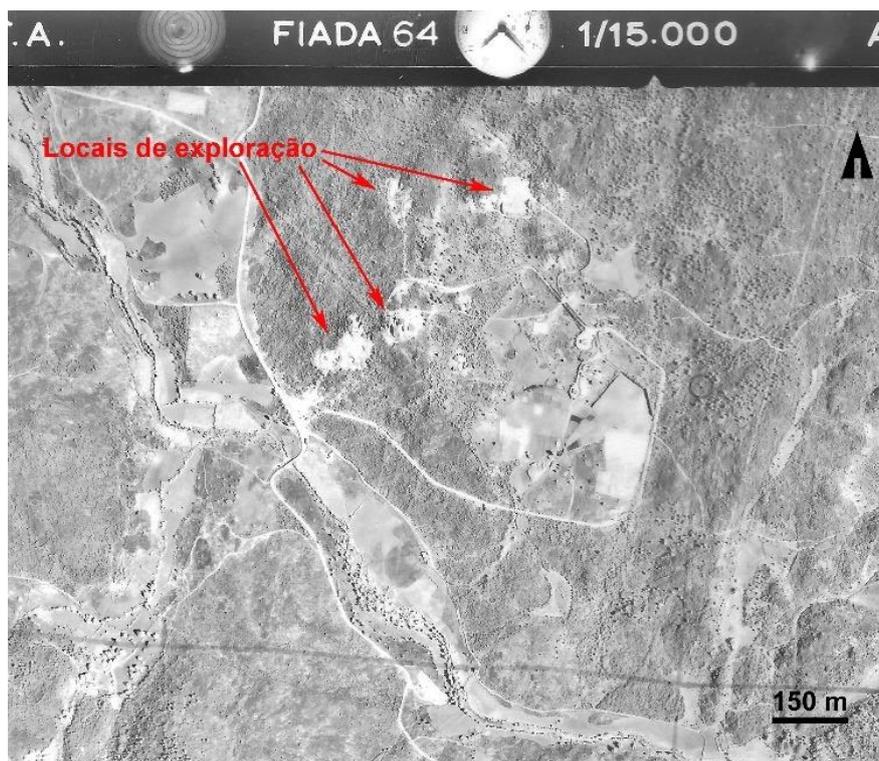


Figura 1 – Fotografia aérea da zona de exploração de Pedras Salgadas, agosto de 1965 (Sousa, 2012).

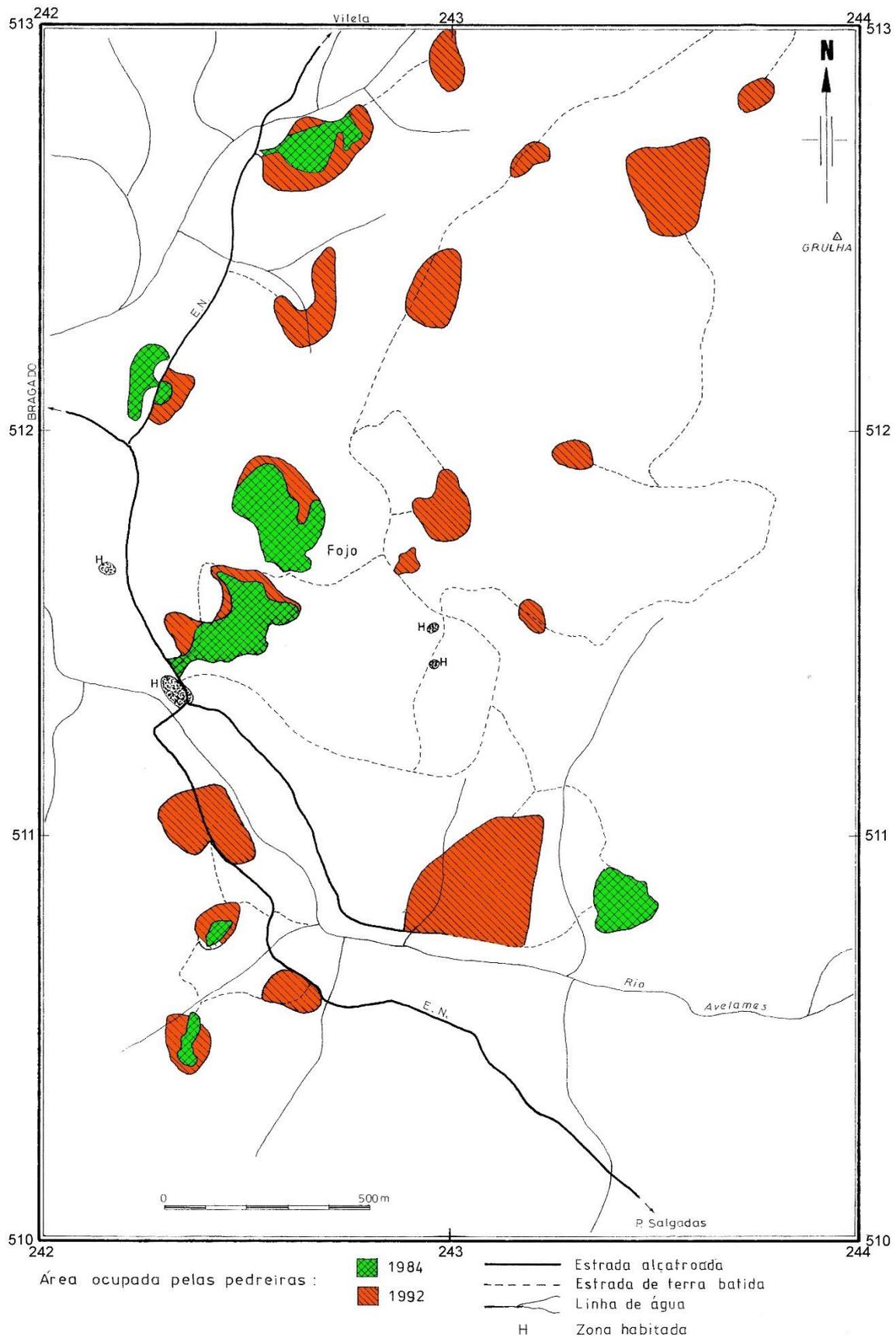


Figura 2 – Áreas ocupadas pelas pedreiras do granito de Pedras Salgadas em 1984 e 1992 (Sousa, 2012).

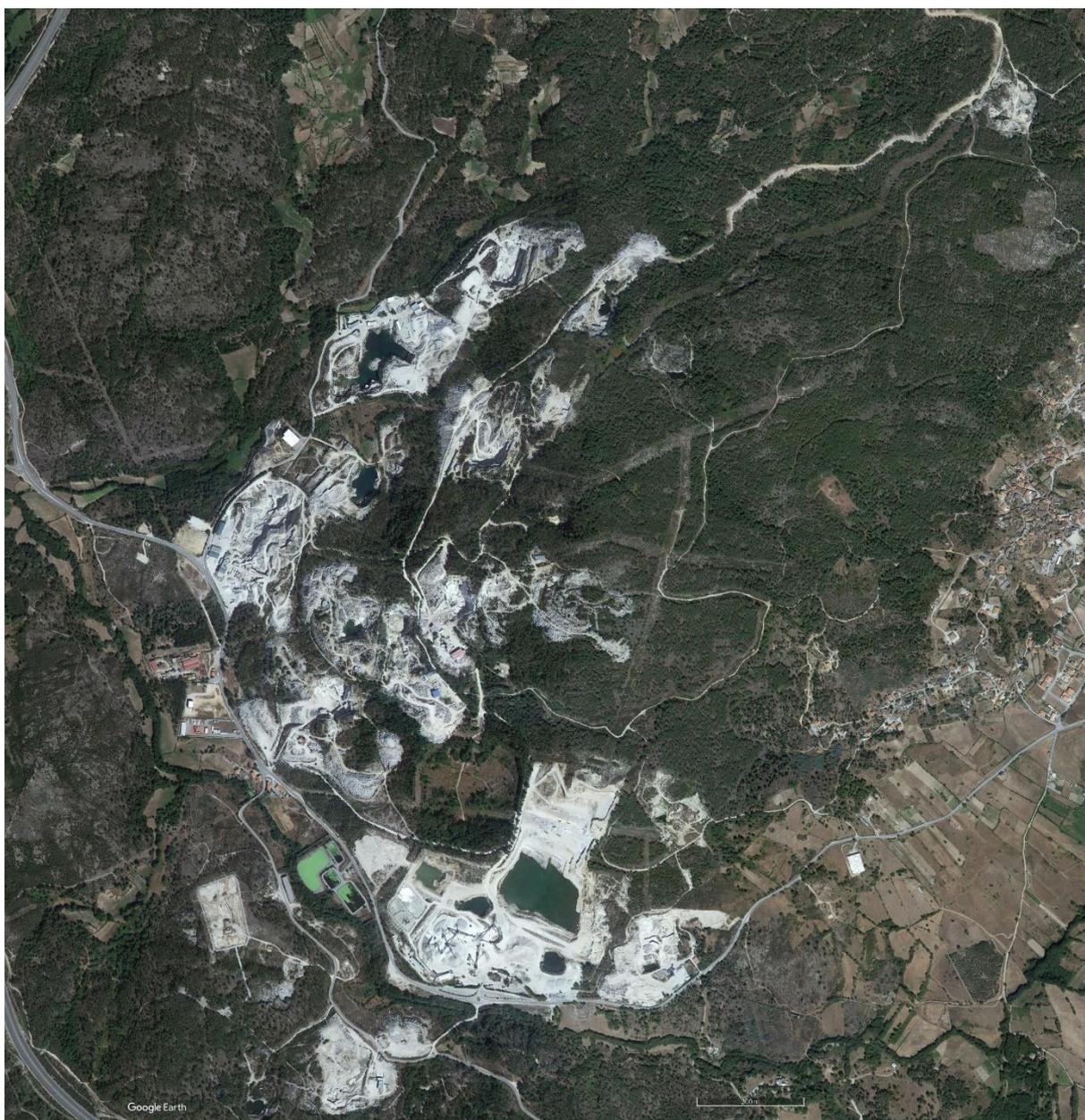


Figura 3 – Imagem aérea da Zona de Exploração de Pedras Salgadas (Google Earth).

O núcleo de Pedras Salgadas atinge o seu apogeu durante a década de 1990. Contudo, nos anos que se sucedem, entra em declínio acentuado devido sobretudo à concorrência de granitos similares importados da China e também em consequência do aumento da oferta de outras variedades de rocha. Atualmente há apenas 8 pedreiras em laboração, embora com produções significativas quer em quantidade, quer em tipologia de materiais.

A atividade transformadora foi acompanhando o desenvolvimento tecnológico da atividade extrativa. Este desenvolvimento permite a transformação do material bruto em

qualquer tipo de produto final. Este desenvolvimento levou a que a transformação do granito deixasse de ser no local de exploração, permitindo assim que material entrasse num mercado mais abrangente.

A atividade extrativa e transformadora de granito assume uma grande importância económica e social. No distrito de Vila Real, em 2010 foram produzidas cerca de 1 milhão de toneladas de granito, rondando os 12 milhões de euros na pedreira (Sousa, 2012). A este valor devemos acrescentar as mais-valias resultantes da transformação, assim como todas as atividades económicas a montante e a jusante da produção. Este setor é também responsável por cerca de 2000 postos de trabalho, diretos e indiretos, na região de Vila Pouca de Aguiar e tem contribuído de forma significativa para limitar o despovoamento (Sousa, 2012).

2.2- Rocha ornamental

A utilização de recursos geológicos pela humanidade remonta à sua origem, desde a utilização destes para a construção de abrigos até à sua aplicação na criação de armas. As rochas possuem uma característica única. Comparando este tipo de recurso com outros usados no nosso quotidiano, este tipo de material é o que apresenta maior dureza e resistência. Devido a estas características, este recurso foi usado pelas civilizações antigas na construção de estruturas monumentais e no quotidiano na construção de habitações, estradas, etc (Mustafa *et al.*, 2016; Navaro *et al.*, 2017; Stuck *et al.*, 2018).

A utilização de rocha pelo Homem numa fase inicial tinha como principal função o estruturamento e fortificação de estruturas. Com o aparecimento de novos materiais, a rocha foi perdendo essa posição caindo um pouco em desuso a sua função estruturante e passando a ser aplicado como revestimento e pavimentos. Atualmente e devido às suas características esta passa a ser designada como rocha ornamental, dimensional ou natural.

O termo rocha ornamental, rocha natural ou rocha dimensional, pode ser definido como um material natural explorado com o propósito de se obterem blocos ou chapas com dimensões específicas e que sejam submetidas a um processamento de modo a obter um produto final acabado e passível de ser utilizado. (Carvalho *et al.*, 2013a; Amaral, 2014, Elkarmoty *et al.* 2017). Estes termos são usualmente utilizados na indústria e mercado de rocha ornamental,

divergindo um pouco da usual classificação definida pelas comissões internacionais de nomenclatura petrográfica.

As rochas são divididas em 3 grupos principais: ígneas, metamórficas e sedimentares. Estes, agrupam os diferentes tipos de rochas considerando determinadas características, podendo coexistir rochas díspares no mesmo grupo. Dentro das rochas ígneas, temos como por exemplo os granitos, sienitos e gabros. As rochas metamórficas englobam os mármore, xistos, ardósias, quartzitos e gnaisses, enquanto rochas como os calcários e dolomitos fazem parte das rochas sedimentares (Amaral, 2014).

A classificação anteriormente referida, não é habitualmente utilizada na indústria. Normalmente, a rocha ornamental é classificada de acordo com os seus aspetos comerciais, sendo comum observar a divisão em: granitos, mármore, calcários e ardósias.

O granito é uma rocha ornamental, cuja popularidade tem vindo a crescer, sendo utilizada atualmente com muita frequência. Esta utilização deve-se ao facto de estes materiais apresentarem boas propriedades físico-mecânicas e uma grande variabilidade textural e cromática. Os granitos podem apresentar as seguintes cores: branco, cinza, azul, rosa ou vermelho. As variações na cor podem ser originárias da própria rocha ou resultar da alteração da mesma por agentes climatéricos. A textura pode variar de fina a grosseira dependendo do granito em análise (Carvalho *et al.*, 2013; Amaral, 2014; Ganesha *et al.*, 2016).

Para além das características anteriormente referidas, um granito é uma rocha constituída por quartzo, feldspato e minerais acessórios. Contudo, nem todas as rochas consideradas granito apresentam estas características. Normalmente, consideram-se granitos rochas que apresentem alguns traços comuns com o granito propriamente dito. Assim, são considerados granitos, rochas com composição química-mineralógica semelhante, rochas silicatadas e que impliquem um processo de produção semelhante ao granito. Seguindo este raciocínio, rochas tais como os granodioritos, pórfiros, gabros, doleritos são também designados granitos no setor das rochas ornamentais (Amaral, 2014; Ganesha *et al.*, 2016).

Tal como os granitos, os mármore também apresentam boas propriedades físico-mecânicas. A facilidade de polimento e as suas propriedades estéticas, tais como, translucidez e variedade de tonalidades, levam a que este seja um material de excelência para a aplicação como rocha ornamental (Aal *et al.*, 2018; Menningen *et al.*, 2018). A variabilidade de cores destas rochas, resulta do protólito originário da mesma. Os mármore mais esbranquiçados

resultam do metamorfismo de rochas calcárias puras, enquanto que mármore com presença de veios ou cores mais escuras resultam de calcários impuros (Amaral, 2014; Menningen *et al.*, 2018). Comercialmente, o termo mármore inclui outras rochas que na sua composição contenham cálcio e/ou carbonato de magnésio e que podem ser facilmente polidas. Assim, neste grupo estão incluídas rochas como o alabastro e o serpentinito (Aal *et al.*, 2018; Navarro *et al.*, 2018).

Os calcários, comparando com a maioria das rochas ornamentais, apresentam menor resistência às condições ambientais. O facto de apresentarem porosidade elevada permite que os agentes erosivos atuem com maior intensidade. A sua composição mineralógica consiste essencialmente em minerais carbonatados, que em contacto com agentes resultantes da poluição atmosférica aceleram o processo de degradação da rocha (Urosevic *et al.*, 2013). A composição química e mineralógica dos calcários tem uma grande influência na sua cor e durabilidade (Wasserman e Bentur, 2005). A cor dos calcários pode variar de branco, vermelho, laranja, azul, castanho, etc. Podem resultar da precipitação de elementos, ou de origem clástica, quando resultam da agregação de elementos finos ou grosseiros ligados entre si por um cimento carbonatado originado pela precipitação química. Este grupo engloba também as brechas.

As ardósias, segundo a classificação comercial, representam o quarto grupo de rochas ornamentais. As rochas deste grupo apresentam baixa porosidade, baixa absorção de água, baixa condutividade térmica e eléctrica e apresentam uma elevada resistência a mudanças de temperatura. Devido a estas características, são preferencialmente utilizadas como rochas ornamentais. Outras características físicas deste tipo de rocha são: uma dureza relativa elevada, resistência mecânica dos minerais que as constituem às intempéries e apresentarem uma clivagem preferencial. Tal como as restantes rochas, a presença de impurezas e determinados minerais no protólito, levam a que a nova rocha apresente diferentes colorações. Nas ardósias as suas cores podem variar desde o violeta, cinza, avermelhado, verde e preto (Sánchez-Soto *et al.*, 2007; Cann, 2012). Neste grupo de rochas, também estão incluídos os quartzitos e xistos (Amaral, 2014).

2.3- Rochas em Portugal

Portugal, é atualmente um dos maiores extratores de rocha ornamental a nível mundial. A grande diversidade geológica presente no território português permite a obtenção de rochas com elevada qualidade e com grandes variedades texturais e cromáticas. Devido a este facto, a extração e transformação de rochas ornamentais, assume uma grande importância no desenvolvimento local e regional das áreas onde estes recursos se encontram (Ramos e Moura, 2010; Carvalho *et al.*, 2013a, 2013b).

A exploração de granitos ocorre essencialmente no Norte e Centro de Portugal (Figura 4). No Sul também é possível observar algumas explorações, como é o caso do sienito nefelínico de Monchique. Estes granitos apresentam essencialmente colorações acinzentadas a azuladas e uma grande diversidade de texturas, desde grão fino a grosseiro por vezes porfiroide. Outros granitos com colorações amareladas e rosas também são possíveis de se encontrar no território.

A exploração de mármore ocorre essencialmente na região do Alentejo, no Anticlinal de Estremoz. Estes mármore apresentam um grande espectro de cores, variando desde tonalidades esbranquiçadas a cinzas escuros, sendo as cores cremes com vergadas as mais comuns. Estes mármore, do Paleozóico inferior, apresentam uma espessura que pode chegar aos 400m. As pedreiras que exploram este material podem chegar aos 150m de profundidade (Carvalho *et al.*, 2013a, 2013b; Menningen *et al.*, 2018).

Os calcários, são explorados no Maciço Calcário Estremenho. Estes, são atualmente a rocha ornamental mais requerida em Portugal, principalmente para o mercado Chinês. As suas colorações são essencialmente cremes e, dependendo do corte dos blocos, é possível observar a textura laminar dos sedimentos (Carvalho *et al.*, 2013a, 2013b).

Os afloramentos de ardósias, em Portugal, apresentam grandes extensões, mas a produção de rocha ornamental é relativamente pequena. A exploração destes materiais ocorre essencialmente nas regiões de Valongo, Arouca e Vila Nova de Foz Côa, no Norte de Portugal e na região de Barrancos, no Sul. Estas rochas, apresentam colorações cinzas escuro, nas regiões de Valongo e Vila Nova de Foz Côa e amarelo a rosa e verde, na região de Barrancos. A idade destas rochas são essencialmente Paleozóicas (Câmbrico e Ordovícico).



Figura 4 – Avaliação qualitativa dos depósitos de rocha ornamental em Portugal (adaptado de Carvalho *et al.*, 2013).

2.4- Peças produzidas

A transformação de rochas ornamentais, resulta da transformação dos blocos extraídos nas pedreiras de modo a serem obtidas diferentes tipologias de produtos. Esta transformação pode ser efetuada na pedreira, obtendo-se por exemplo cubos e blocos usados na construção civil, ou então ser mais elaborada, como por exemplo a produção de peças polidas.

Os materiais usualmente produzidos na pedreira consistem essencialmente em peças fendidas, peças serradas e peças de pequena espessura. A obtenção de peças fendidas, consiste em fender os blocos extraídos, com recurso a cunhas e guilhos, até à obtenção das peças de tamanho desejado. Este processo permite a obtenção de peças como, por exemplo, perpiano ou lancil, sendo que estes não possuem nenhum acabamento, conferindo-lhe um aspeto rústico. Os cubos e paralelos, por apresentarem dimensões menores, são obtidos através da utilização de máquinas.

As peças serradas correspondem a peças de grossa espessura, com forma geométrica muito precisa, obtidas através da utilização de serras de disco ou fio diamantado. Para este tipo de peças, que não necessita de blocos de grandes dimensões, são usualmente utilizados blocos de categorias inferiores, uma vez que, não necessitando de grandes volumes de rocha, possuem preços mais baixos.

As peças de pequena espessura correspondem a chapas com baixa espessura (2-3 cm), sendo a técnica mais utilizada o engenho ou tear, embora atualmente também o multifios comece a ser utilizado. O engenho, ou tear, consiste na utilização de lâminas estriadas e uma mistura abrasiva, constituída por granalha de aço, cal, água e estéreis produzidos durante o processo de serragem. O multifios consiste na utilização de fio adiamantado, processo que não necessita de abrasivos, apenas de água. Apesar de ambos os processos produzirem o mesmo tipo de produtos. A introdução do multifios na transformação de blocos em chapas permite um corte mais rápido do que o engenho (fator determinante neste ramo).

Após o corte, as placas podem ser submetidas a um tratamento superficial e por fim cortadas e acabadas em função das especificações do produto final. O corte baseia-se na utilização de discos com cortantes de concreção diamantada, existindo máquinas de monodisco e multidisco. Os produtos resultantes pode ser ladrilhos, mosaicos ou cantarias.

O tipo de acabamento conferido ao produto final deve maximizar as características estéticas e ser adequado à sua utilização. Existe uma grande diversidade de acabamentos de

acordo com a irregularidade obtida. No quadro 1 são apresentadas as características dos acabamentos superficiais mais utilizados.

Quadro 1 - Acabamentos superficiais mais utilizados (Sousa, 2012).

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 aplicações em pavimentos exteriores com grande afluência de público.
Polido
Trata-se de uma superfície brilhante que realça a cor 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 cor 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 jato de areia. Esta superfície deixa transparecer mais a cor original do material ao mesmo tempo que o torna antiderrapante.
Granhado
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.

Quadro 1 (continuação) – Acabamentos superficiais mais utilizados (Sousa, 2012).

Bujardado
<p>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 cor dos materiais, esbranquiçando-os ligeiramente.</p>
Areado
<p>O acabamento a jato 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 cor do material que o acabamento bujardado, mas menos que o acabamento escovado.</p>
Flamejado
<p>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 cor original do material e lhe dá as variações próprias de uma “superfície com diferentes cotas de relevo”.</p>
Escassilhado
<p>De superfície irregular, este acabamento não se adequa à pavimentação, mas antes a revestimentos que se pretendam belos e duradouros. Para superfícies escassilhadas 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.</p>

Com a introdução de novos equipamentos, tais como: máquinas de corte a jato de água e fresadoras de 5 eixos, levou a que fosse possível aumentar a produtividade, obtenção de novos produtos e reduzir os defeitos no material produzido.

2.5- Fatores que controlam a exploração/extração de rochas ornamentais

A extração de rocha ornamental é condicionada por fatores/critérios socioeconômicos, tecnológicos e geológicos (Egesi e Tse, 2011; Vidić *et al.*, 2012). Estes fatores estão mutuamente interligados, contudo o que assume um papel de maior importância são os fatores socioeconômicos. Neste ponto são incluídos os aspectos estéticos da rocha que tem uma relevância significativa no momento da seleção do material (Sousa *et al.* 2016). A cor, textura, padrões e acabamentos superficiais, são alguns dos critérios tidos em consideração, aquando a seleção de uma rocha ornamental (Egesi e Tse, 2011; Vidić *et al.*, 2012).

Contudo, estes fatores em si não garantem a rentabilidade de uma pedreira, esta deve também apresentar boas propriedades físico-mecânicas, apresentar um grau de fraturação admissível (fatores geológicos) e ter boa localização. Este último fator assume uma importância significativa, pois mesmo um local que reúna todos os outros requisitos, mas que se encontre num local inacessível, não será explorável.

2.5.1- Mercado em Portugal e no mundo

O setor da rocha ornamental tem apresentado, nas últimas décadas, um forte desenvolvimento, apresentando um aumento contínuo da produção a nível mundial. Estima-se que em 2015 foram exploradas 140 milhões de toneladas, correspondendo 58,3% aos mármore, 37,9% a granitos e os restantes 3,8% a ardósias e outros materiais (Bezerra, 2017). Um dos principais fatores que contribuiu para este aumento foi o desenvolvimento tecnológico ao nível da lavra e transformação de materiais de dureza mais elevada, que levou a um aumento da exploração e transformação de rochas silicatadas. No ano de 1926, o volume de rochas silicatadas correspondia a 10% do total explorado e em 2015 corresponde a aproximadamente 40%.

Considerando os últimos dados disponíveis do setor (Montani, 2017), estima-se que a produção líquida das pedreiras a nível mundial atinja, em 2020, 100 milhões de toneladas e a produção bruta 160 milhões de toneladas (Figura 5).

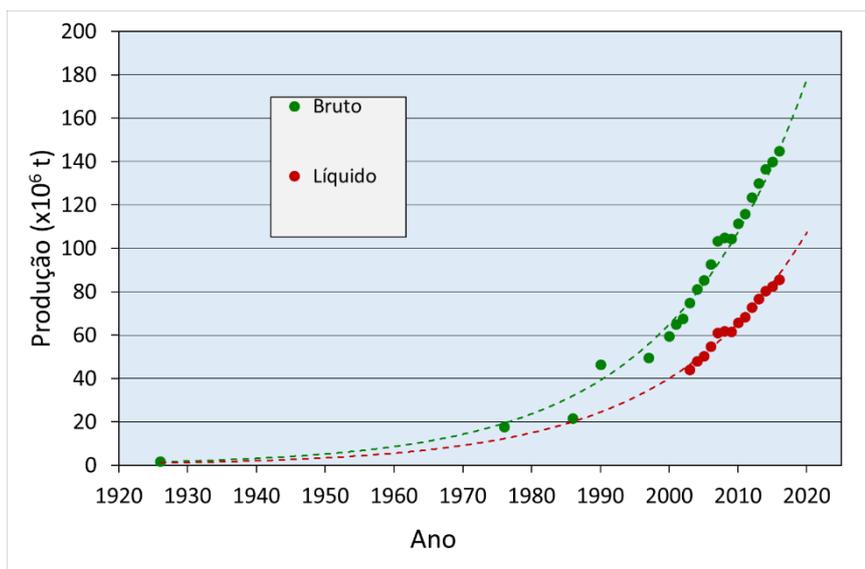


Figura 5 – Estimativa da produção líquida e bruta de rocha ornamental (Montani, 2017).

A indústria das rochas ornamentais está concentrada em um pequeno grupo de países, que dominam a sua produção, transformação e consumo. A produção de rocha ornamental é dominada por 10 países, que compreendem 81% de todo o material explorado no ano de 2015, sendo os principais líderes a China, Índia e Turquia. Portugal, encontra-se na 9^o posição do *ranking* dos principais produtores de rocha ornamental a nível mundial (Bezerra, 2017).

Um outro aspeto a salientar, é o processamento de rocha ornamental e, tal como o caso anterior, 77% do material processado no mundo ocorreu em 10 países. Nestes destaca-se a China, contribuindo com 40% do material processado. Portugal encontra-se na 8^o posição do *ranking*.

Os principais países consumidores de rocha ornamental, são a China, Índia e EUA, absorvendo 60% do material produzido no ano de 2015 (Bezerra, 2017). Neste contexto, países como a China e a Índia são os principais produtores, transformadores e consumidores de rocha ornamental a nível mundial.

Como referido anteriormente, Portugal encontra-se entre os 10 principais produtores e processadores de rocha ornamental no mundo. O principal destino das rochas portuguesas varia de acordo com a tipologia da rocha. As rochas silicatadas brutas são exportadas principalmente para países como a China, França e Itália. As rochas carbonatadas brutas são exportadas principalmente para a China, Canadá e Itália. Os produtos processados especiais têm como destinos a Arábia Saudita, França, Alemanha e EUA (Sigma Team, 2016).

Portugal, enquanto produtor tradicional (assim como Espanha e Itália) está a perder terreno para outros (China, Índia e Turquia), 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 (Palma, 2014).

2.5.2- Homogeneidade e propriedades físicas mecânicas

Os recursos geológicos possuem normalmente impurezas associados a estes, afetando a sua exploração e rentabilidade. As rochas ornamentais não são exceção e associadas a estas existe uma coletânea de defeitos/impurezas. Estes defeitos/impurezas são considerados como heterogeneidades e podem ser variações no tamanho dos minerais, a presença de inclusões, intrusões, zonas de contacto, alteração e variações na cor (Sousa, 1995; Sousa, 2000; (Yarahmadi *et al.* 2017).

Os granitos, tal como as restantes rochas ornamentais, não são exceção e existem inúmeras heterogeneidades associadas a este tipo de material. A presença de presença de filões, encraves biotíticos, schliers, bandas de coloração, são os principais condicionadores do valor estético deste tipo de material (Sousa, 1995, Sousa, 2000).

Outros aspetos que se devem ter em consideração, são a composição mineralógica e o grau de alteração dos minerais. Estes determinam a cor da rocha e, conseqüentemente, o seu valor comercial. A presença de minerais ferromagnesianos é um dos principais elementos que controla a cor da rocha, pois a alteração destes e libertação de óxidos alteram a coloração original da rocha. Em Portugal, é comum encontrar granitos com estas características, resultam da alteração de granitos são. Os granitos que sofreram alteração correspondem ao grupo dos granitos amarelos, apresentam as propriedades físico-mecânicas mais pobres no grupo das rochas silicatadas portuguesas (Carvalho *et al.* 2013). Apesar de ser comum encontrar este tipo de recurso, nem sempre a sua exploração é possível, quer devido à quantidade de reservas quer ao grau de alteração.

A caracterização físico-mecânicas assume elevada importância na caracterização do material a explorar. Estes ensaios permitem avaliar as rochas do ponto de vista da qualidade, obtendo informações que possibilitem a sua utilização mais adequada (Ganesha *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2017).

O estudo das propriedades físico-mecânicas, permite também compreender o comportamento das rochas sob condições ambientais específicas, permitindo a sua aplicação

em locais com condições meteorológicas distintas. Este conhecimento possibilita uma aplicação dos produtos de uma maneira mais correta e eficiente (Sousa, 2013; Ozguven e Ozcelik, 2014). A presença de vazios, especialmente microfissuras, tal como a sua densidade e geometria, o estado de meteorização da rocha e a composição petrológica, são alguns dos fatores que influenciam diretamente as propriedades físico-mecânicas da rocha (Sousa *et al.*, 2005; Ozguven e Ozcelik, 2014; Ganesha *et al.*, 2016).

Os principais parâmetros estudados na caracterização físico-mecânica são a densidade, porosidade, resistência à compressão uniaxial, resistência à abrasão e a sua durabilidade em condições específicas (Fort *et al.*, 2010; Freire-Lista *et al.* 2015; Mustafa *et al.*, 2016; Sousa 2013; Ganesha *et al.*, 2016; Er e Tugřul, 2016). Uma caracterização mais aprofundada pode incluir testes como velocidade das ondas sísmicas, teste do martelo de Schmidt e absorção de água (Fort *et al.*, 2010; Sousa, 2013; Ganesha *et al.*, 2016).

Em Portugal, as rochas silicatadas, por norma apresentam excelentes características físico-mecânicas, tornando possível a sua utilização nas mais variadas aplicações. Os granitoides que apresentam menor qualidade para estas características correspondem a rochas com algum grau de alteração.

2.5.3- Fraturação

Na exploração de rocha ornamental, a densidade e a orientação da fraturação dos maciços graníticos controla de um modo direto a sua capacidade para fornecer matéria-prima passível de ser utilizada (Sousa e Pires, 1998; Sousa, 2007; Alade *et al.*, 2012). Outras características, como por exemplo a estética, reduzem o potencial de utilização, mas o grau de fraturação pode restringir a exploração se o tamanho dos blocos não for adequado para processamento. Assim, a fraturação é um fator chave na exploração de granitos (Sousa, 2016).

Um maciço, com um grau de fraturação apropriado é uma condição obrigatória para uma pedreira rentável (Sousa, 2016). Para tal, a caracterização das famílias de fraturas, a sua orientação, tamanho, espaçamento, persistência, rugosidade e curvatura devem ser estudados (Loorents *et al.*, 2000). O estudo da fraturação não se limita apenas à área de exploração. Ela deve ser estudada a todas as escalas, desde as falhas regionais até às microfissuras (Sousa e Pires, 1998).

A fraturação regional corresponde às famílias de fraturas e diaclases, sendo que o seu número varia de região para região. Na intersecção destas fraturas, a intensidade de fraturação e alteração é mais intensa, condicionando a implementação de pedreiras. Regra geral, as pedreiras estão localizadas entre as bandas de alteração definidas pelas várias falhas devido ao menor diaclasamento e alteração do granito. Isto leva a que a evolução das pedreiras seja feita em comprimento, ao longo de zonas menos fraturadas (Figura 6) (Sousa e Pires, 1998).

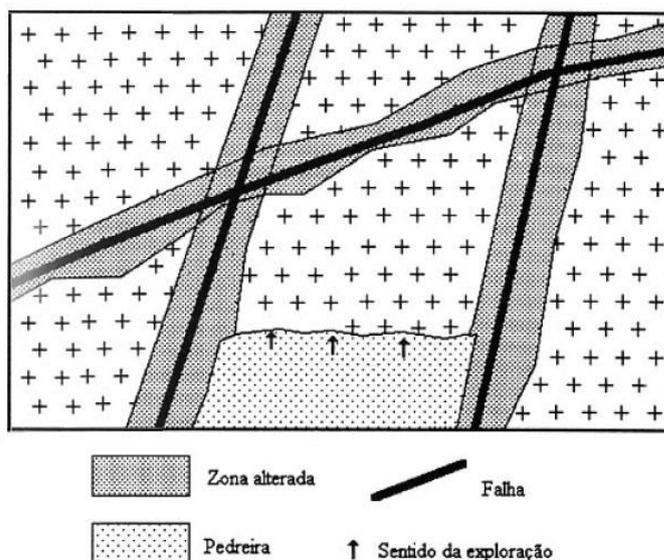


Figura 6- Localização das pedreiras e evolução da exploração condicionadas pelos corredores de fraturação (Sousa e Pires, 1998).

A fraturação local afeta o local da implementação de uma unidade extrativa. Para tal, deve ser feito um levantamento sistemático da fraturação, identificação das famílias de fraturas e a respetiva atitude (direção e inclinação) e também o espaçamento médio de cada família (Sousa, 2012). Normalmente, a fraturação predominante nas pedreiras são as diaclases sub-verticais, sendo as diaclases sub-horizontais menos comuns. No entanto, as fraturas sub-horizontais podem apresentar pendor variável, sendo extremamente prejudicial para a exploração, pois inviabilizam a obtenção de zonas no maciço com possibilidade de extrair blocos com a ajuda da fraturação natural (Sousa e Pires, 1998).

A forma dos blocos *in situ* é condicionada pela orientação relativa das várias famílias. Para uma exploração ideal, o maciço deveria apresentar duas famílias de fraturas sub-verticais, perpendiculares entre si e uma família sub-horizantal. Nestas condições a fraturação natural do maciço originaria blocos com forma cúbica ou paralelepípedica levando a um maior rendimento do material explorado (Sousa, 2012; Sousa, 2010 e ISRM, 1978).

Contudo, na realidade nem sempre existem as condições atrás referidas e a presença de falhas com orientação aleatória é extremamente penalizante, afetando a forma dos blocos e o rendimento de uma pedreira (Figura 7) (I.S.R.M., 1978).

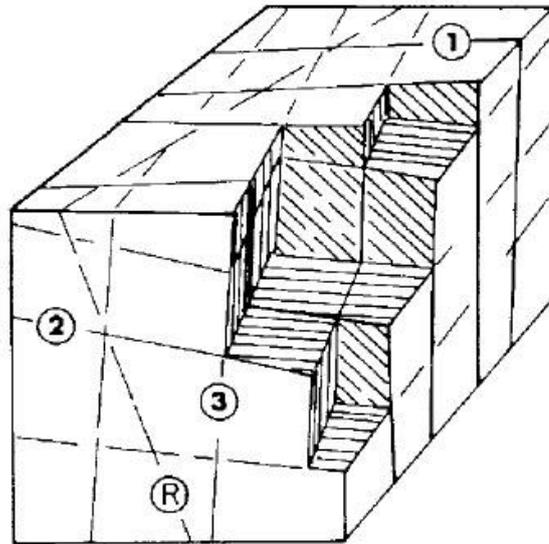


Figura 7 – Relação entre a orientação relativa das 3 famílias de fraturas presentes num maciço (1, 2, 3) e os blocos resultantes; R é uma fratura aleatória (I.S.R.M., 1978).

Os blocos obtidos durante o processo de lavra devem apresentar dimensões adequadas para uma exploração lucrativa (Taboada *et al.* 2008). Assim, as dimensões dos blocos extraídos devem apresentar as seguintes medidas: 1.90-3.30m de comprimento, 1.00-1.80m de largura e 0.90-1.60m de altura (Márquez *et al.*, 2013; Alejano *et al.* 2017). Caso os blocos não apresentem as medidas ideais, como os blocos de primeira qualidade, mas medidas que permitem a sua transformação, são classificados como semi-blocos, pois são comercialmente aceitáveis e economicamente viáveis (Márquez *et al.*, 2013). Estas medidas podem variar, pois se o valor comercial da rocha extraída for elevado, mais pequenos podem ser os blocos aceitáveis (Sousa e Pires, 1998).

O método de exploração pode variar de acordo com a fraturação, mas existem outras características do maciço rochoso que também o pode influenciar. Todas as massas rochosas apresentam três planos, que correspondem aos planos de fraqueza da rocha e são ortogonais entre si. Na área da exploração, a terminologia dada a estes é: levante, correr e contra (Alejano *et al.*, 2017).

O levante corresponde a um plano sub-horizontal, este é o plano de menor resistência e é utilizado pelas empresas transformadoras para cortar o bloco em chapas, quanto maior a área deste plano maior é o rendimento. Este plano resulta da orientação dos minerais na rocha, cujos planos de exfoliação são paralelos ao plano horizontal. O correr e o contra são planos sub-verticais, sendo que o correr é o que oferece menor resistência e resulta possivelmente de tensões estruturais. O contra está associado a microfaturas no maciço, e resulta, possivelmente, de compressões tectónicas (Alejano *et al.*, 2017).

Praticamente, todos os operadores de pedreiras consideram que a rocha extraída com dimensão inferior à aceitável comercialmente é considerada escombros, reduzindo a rentabilidade da pedreira. A rentabilidade da pedreira aumenta se os blocos extraídos forem comercialmente aceites e a quantidade de escombros for reduzida (Elkarmoty *et al.*, 2017). Os blocos de menor dimensão estão muitas vezes associados ao processo de lavra. Yarahmadi *et al.*, 2017 referem que blocos de menores dimensões resultam da interseção dos planos de corte com as diaclases do maciço e encontrar a melhor direção de exploração reduz as despesas relacionadas com extração, os danos no meio ambiente e aumenta a produção de blocos com dimensões comerciais.

Autores como, Yarahmadi *et al.* (2017), Elkarmoty *et al.* (2018), Nikolayew *et al.* (2007) Siegesmund *et al.* (2007) Kim *et al.* (2007), Alade *et al.* (2012), Latham *et al.* (2006), Lu e Latham, (1999), Vanhaekendover *et al.* (2014), entre outros, recorrem a técnicas numéricas, parâmetros geométricos, métodos vetoriais e sistemas numéricos para a determinação e caracterização da fraturação. Estes métodos permitem fazer a caracterização do maciço como um todo, ou localmente, permitindo a determinação das dimensões de blocos *in situ*.

Na literatura existem diferentes métodos que permitem determinar o espaçamento médio e a densidade da fraturação (Buyer e Schubert, 2017; Sousa e Pires, 1998; Sousa, 2010; Sousa *et al.*, 2016; Sousa, 2007; Alejano *et al.*, 2017). O espaçamento corresponde à distância entre descontinuidades, medido perpendicularmente às descontinuidades da mesma família. Este espaçamento é importante, pois permite a estimação do volume médio dos blocos *in situ* (Elci e Turk, 2014).

O cálculo do espaçamento médio, que pode ser efetuado para cada família ou então para todas as famílias presentes no maciço, é dado pela fórmula seguinte:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n ei}{n}$$

em que:

e = espaçamento entre diaclases

n = número de espaçamentos medidos

Com os resultados obtidos através da fórmula anterior, é possível obter uma primeira aproximação da compartimentação natural do maciço através do Índice Volumétrico (Jv) (Sousa, 2012). Este índice indica o número de descontinuidades por unidade de volume e quantifica a densidade de descontinuidades (Toyos *et al*, 1994). O cálculo do Jv é dado pela fórmula:

$$Jv = \sum_{i=1}^n \frac{1}{ei}$$

em que:

ei = espaçamento médio entre famílias de fraturas

n = número de famílias presentes

Considerando os resultados obtidos, é possível presumir o tamanho dos blocos extraíveis, como se pode observar no quadro 2. Este quadro destina-se à extração de rochas industriais, não tendo aplicabilidade à extração de rochas ornamentais. García, 1996 propõe uma nova classificação, estando esta relacionada com as rochas ornamentais (Quadro 3).

Quadro 2 - Relação entre Jv e o tamanho do bloco (I.S.R.M. 1978; Toyos *et al*, 1994).

Descrição	Jv	Volume (m3)
Blocos muito grandes	<1,0	>25
Blocos grandes	1,0 - 3,0	1,0 - 25,0
Blocos médios	3,0 -10,0	0,025-1
Blocos pequenos	10,0 - 30,0	0,001-0,025
Blocos muito pequenos	>30	<0,001

Quadro 3 - Tamanho indicativo do bloco em função do valor de J_v (García, 1996).

Parâmetro 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- Caracterização do granito de Pedras Salgadas

3.1- Enquadramento Geológico

O Maciço Ibérico representa o segmento mais ocidental do Varisco Europeu (Henriques *et al.*, 2018), sendo caracterizado por mecanismos de subducção e obdução da crosta oceânica, culminando, o processo, por colisão intercontinental (Martins *et al.*, 2007). Este, expõe uma das secções mais completas da orogenia Varisca, contendo vários terrenos autóctones e alóctones que pertenciam aos supercontinentes Gondwana e Laurussia (Fernández *et al.*, 2016; García-Arias *et al.*, 2018). Os terrenos aflorantes no Maciço Ibérico, compreendem idades entre o Pré-câmbrico e o Paleozoico e são intruídos por grandes maciços que foram implementados durante a orogenia Varisca (Custódio *et al.*, 2015). A cobrir estes terrenos variscos, Portugal apresenta duas bacias sedimentares meso-cenozoicas (Bacia Lusitaniana e Bacia Meridional ou Algarvia) e várias bacias cenozoicas (Baixo Tejo e Sado).

A divisão do Maciço Ibérico em zonas, tem sido elaborada atendendo às suas características estratigráficas, estruturais, metamórficas e magmáticas (Dias *et al.* 2016). Esta divisão foi inicialmente feita por Lotze (1945 *in*: Dias *et al.* 2016). Outros autores, como Julivert *et al.* (1974 *in*: Sant’Ovaia *et al.*, 2010) dividiram o Maciço Ibérico em cinco principais zonas atendendo as diferentes características geológicas: a Zona Cantábrica (ZC), a Zona Asturocidental-Leonesa (ZAL), Zona Centro Ibérica (ZCI), Zona Ossa-Morena (ZOM) e Zona Sul Portuguesa (ZSP). Mais tarde, Farias *et al.* (1987 *in*: Sant’Ovaia *et al.*, 2010) incluíram as unidades alóctones e parautóctones da ZCI numa zona separada designada como zona Galiza Trás-os-Montes (Sant’Ovaia *et al.*, 2010). Em Portugal, o Maciço Ibérico está representado pelas últimas quatro zonas atrás referidas (Veludo *et al.*, 2017).

A divisão do Maciço Ibérico, como já referido, tem sido sujeita a alterações, atendendo às suas características. Recentemente, foi proposta a divisão deste, atendendo às suas características geodinâmicas, dividindo-o em unidades de primeira ordem (correspondente aos Terrenos) e segunda ordem (corresponde às zonas, Ribeiro *et al.* 2013). Esta divisão do Maciço Ibérico compreende: Terreno Ibérico (Zona Cantábrica, Zona Asturocidental Leonesa, Zona Centro-Ibérica e Zona Ossa-Morena), Terreno Sul Português, Terrenos Exóticos (que se dividem, a NW, em Terreno Continental Alóctone e Terreno Ofiolítico do NW Ibérico e, a SW, em Terreno Ofiolítico do SW Ibérico e Terreno Finisterra).

O plutão de Vila Pouca de Aguiar enquadra-se na Zona Galiza Trás-os-Montes e apresenta uma forma alongada segundo a direção NNE-SSW. Este plutão granítico está instalado na falha Penacova-Régua-Verim, que pertence ao sistema de falhas com tendência NNE, as quais pertencem à fase orogénica pós-D3 (Martins *et al.*, 2009). Este, intrui/corta um maciço granítico de duas micas peraluminosos relacionado aos eventos variscos D3 (Santa'Ovaia *et al.*, 2000) e metassedimentos do Ordovícico Superior ao Devónico Inferior, estes correspondem à sequência do Domínio Peritransmontano, caracterizado por dobras da fase D3 com tendência N120, com eixos sub-horizontais e foliação, plano axial sub-vertical. Os contactos são nítidos, intrusivos e discordantes em relação as estruturas Variscas mais antigas, o que permite inferir que este plutão é pós-D3 (Santa'Ovaia *et al.*, 2000; Martins *et al.*, 2009).

O maciço granítico consiste essencialmente em um granito com duas fácies principais, que definem um zonamento concêntrico, mas sem uma delimitação clara entre eles. O granito periférico corresponde ao granito de Vila Pouca de Aguiar (caraterizado pela presença de encraves microgranulares tonalíticos e granodioríticos) e o granito de Pedras Salgadas ocupa uma posição mais central no plutão (Santa'Ovaia *et al.*, 2000; Martins *et al.*, 2009 e Schwindinger *et al.*, 2014) (Figura 8). Na Figura 8, os pontos assinalados a preto dentro da área cativa de Pedras Salgadas, correspondem aos locais de estudo do presente trabalho.

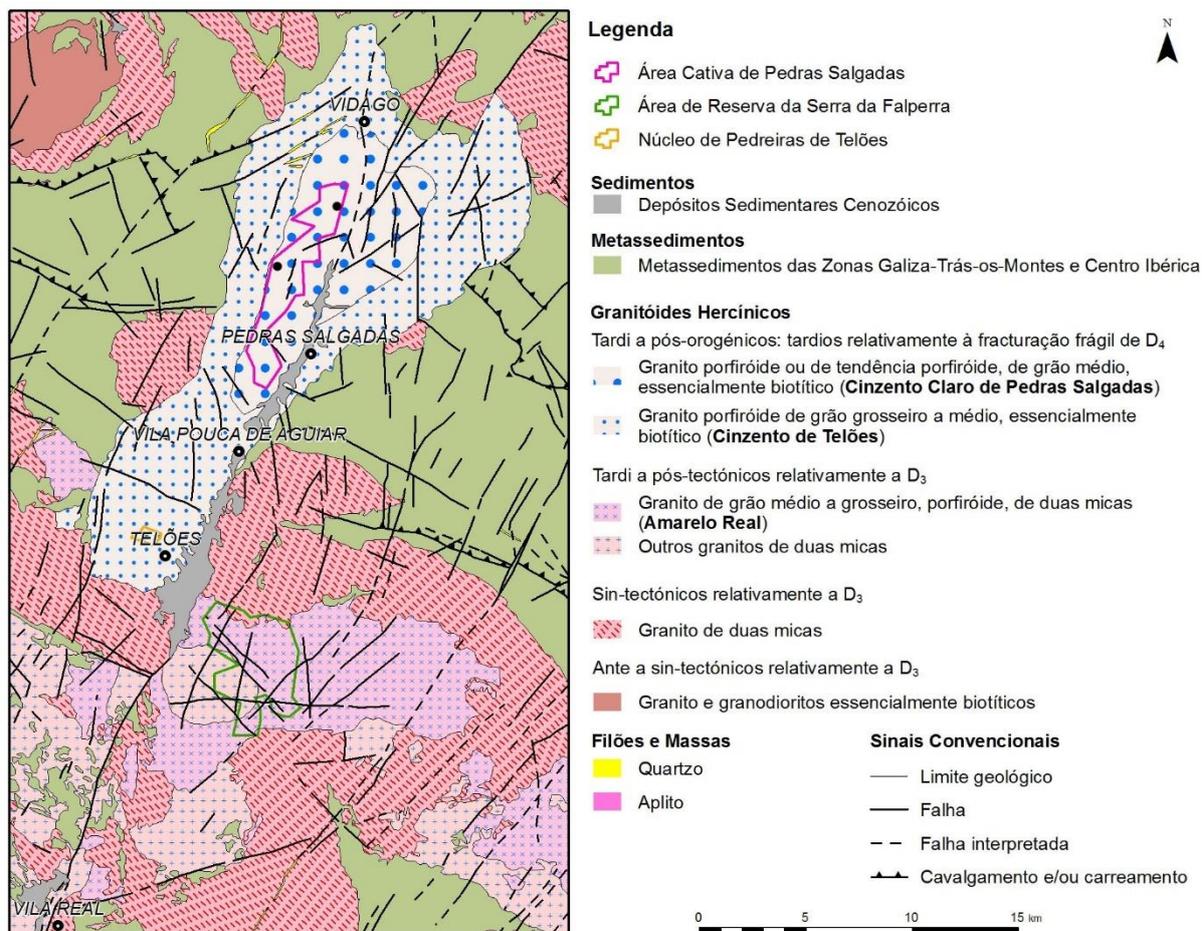


Figura 8 - Enquadramento geológico dos granitos explorados na região de Vila Real, NE de Portugal (adaptado da folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000) (Sousa, 2012).

3.2- Características mesoscópicas

O granito de Pedras Salgadas, é um granito de grão fino a médio biotítico de cor clara. Estas características, associadas com as suas propriedades físico-mecânicas tornaram-no em uma das rochas ornamentais mais procuradas em Portugal.

As principais heterogeneidades observadas neste granito são: variações na granulometria (Figura 9), presença de filões e filonetes, *schlieren*, nódulos biotíticos e sulfuretos (normalmente associados a fraturas e diaclases) (Martins *et al.*, 2007, 2009; Sousa *et al.*, 2014; Schwindinger *et al.*, 2014; Sousa, 2010).



Figura 9 – Megacristais de feldspato potássico (escala 5 cm).

Os nódulos biotíticos apresentam dimensões compreendidas entre 5 cm e 10 cm, ultrapassando muito raramente os 20 cm, tendo por norma forma lenticular. O seu tamanho, associado à sua baixa frequência, não inviabiliza o aproveitamento ornamental deste granito (Figura 10). A distribuição espacial é aleatória, e nas visitas às pedreiras, não se verificou um aumento da sua frequência em profundidade.



Figura 10 – Nodulo biotítico com aproximadamente 8 cm de comprimento.

Os *schlieren* apresentam forma alongada, com contacto gradual com o granito. O seu tamanho é muito variável, tendo sido observados alguns com extensão superior a 3,5 metros. Estes são mais penalizantes do que os nódulos biotíticos, pois inviabilizam o aproveitamento de um volume elevado de rocha. A sua ocorrência nas pedreiras é aleatória, não se tendo observado uma maior ocorrência ou variação de tamanho em profundidade.

Os sulfuretos ocorrem principalmente como preenchimento de diaclases e falhas e não afetam o aproveitamento do granito para fins ornamentais. Estes ocorrem essencialmente nos planos de fraturas mais profundas (Figura 11).



Figura 11 – Sulfuretos em parede de uma diaclase.

Os filões e filonetes observáveis nas pedreiras, apresentam espessura variável que pode ser de alguns milímetros a centímetros (50 cm) (Figura 12). A presença destas estruturas, pode afetar o aproveitamento de grandes volumes de rocha, tal como o seu valor estético. Estes ocorrem segundo a direção NNE-SSW, sendo paralelos à falha de Penacova-Régua-Verín.



Figura 12 – Filonete milimétrico afetando a homogeneidade em um produto final.

Durante as visitas às pedreiras foram também observados fluxos biotíticos que afetam frentes de trabalho. Na Figura 13 é possível observar uma frente abandonada, pois apresenta grandes quantidades de fluxos biotíticos e zonas esbranquiçadas. Quando este tipo de heterogeneidades ocorre numa frente de trabalho o aproveitamento da rocha é afetado.



Figura 13 – Afloramento com lineações e nódulos biotíticos.

3.3- Microscopia e petrografia

O granito de Pedras Salgadas possui como minerais essenciais o quartzo (33%), os feldspatos potássicos (28%) e a plagioclase (33%). No que diz respeito às micas, é possível observar baixa concentração de biotite (5%) e muito raramente moscovite (0,7%). Os minerais secundários que compõe este granito são a apatite, alanite, turmalina, ilmenite, esfena e raramente monzanite, que correspondem a 0,1% da composição do granito (Martins *et al.*, 2007 e 2009; Sousa, 2010). Considerando a composição modal média deste granito e projetando esses valores no diagrama de Streckeisen, este é classificado como um monzogranito (Sousa, 2010).

O quartzo apresenta-se como minerais hipidiomórficos a xenomórficos, as suas dimensões estão compreendidas entre 1 e 2mm, podendo chegar a 4mm (Figura 14). Usualmente este ocorre em aglomerados, formando formas circulares na matriz do granito.

O quartzo apresenta também alguma fissuração, estando frequentemente preenchida. A fraturação observada em lâmina delgada é apenas notória nos minerais de quartzo, sendo muito raramente encontrada em feldspatos ou plagioclases.

A plagioclase é um mineral abundante na matriz deste granito, é idiomórfica a hipidiomórfica e o seu tamanho varia de 1,5mm a 4mm (Figura 15). Estes minerais apresentam minerais associados, tais como a moscovite, quartzo e outros minerais acessórios. Os minerais de plagioclases, apresentam também diferentes graus de alteração, sendo mais intensa no centro destes quando associados aos minerais atrás referidos. É possível num mesmo campo de observação, visualizar plagioclases com diferentes graus de alteração.

O feldspato potássico é idiomórfico e apresenta dimensões entre 1 a 5mm, pode apresentar inclusões de plagioclase, quartzo e biotite (Figura 16). É também possível observar a macla de Carlsbad nestes minerais.

A biotite é hipidiomórfica e apresenta pleocroísmo variável de castanho escuro a amarelo. É frequente observar minerais corroídos por inclusões radioativas, tais como zircões e também é possível observar minerais alterados. A clorite é comum na amostra analisada, resultado da alteração das biotites (Figura 17). A dimensão destes minerais não ultrapassa os 2mm (Figura 15)

A moscovite ocorre no interior de plagioclases e dispersa na matriz, estes minerais não ultrapassam 1mm. Este é um constituinte secundário do granito em estudo, sendo também frequente encontrar pequenos cristais associados às biotites (Figuras 14 e 16).

Na lâmina estudada também foi possível observar óxidos de ferro (Figura 17).

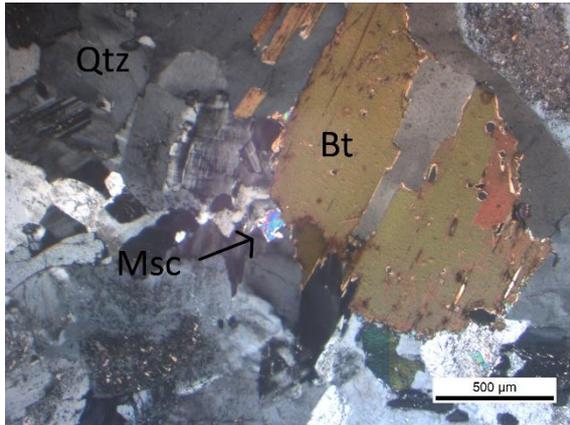


Figura 14 – Cristais de quartzo (Qtz), moscovite (Msc) e biotite com inclusões de minerais radioativos (Bt).

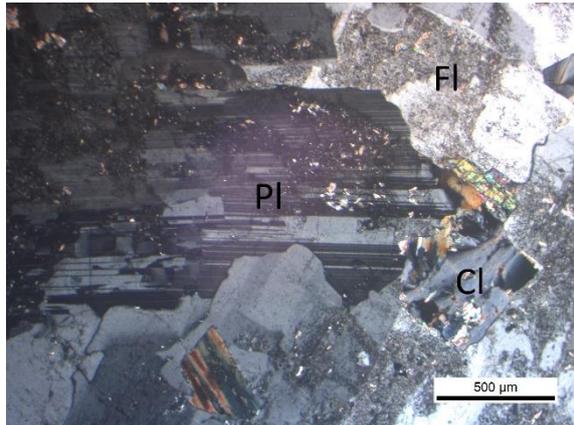


Figura 15 – Cristais de plagioclase (Pl), feldspato potássico alterado (Fl) e clorite (Cl).

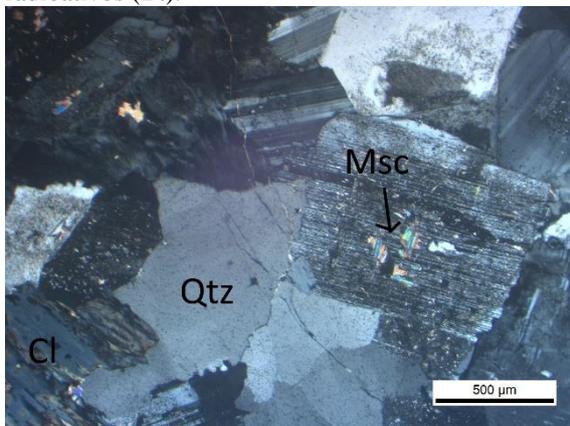


Figura 16 – Cristais de quartzo (Qtz), feldspato com inclusões de moscovite (Msc) e clorite (Cl).

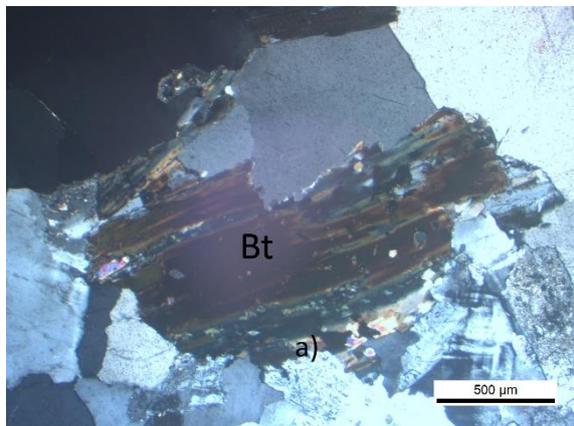


Figura 17 - Cristais de biotite alterada para clorite (Bt) e a) óxidos de ferro.

3.4- Características físico-mecânicas

O granito de Pedras Salgadas não apresenta grande alteração, sendo difícil encontrar zonas alteradas no mesmo. Assim, é de esperar que este apresente boas propriedades físico-mecânicas.

A caracterização deste granito tem sido efetuada por diferentes autores e os dados foram publicados por empresas e investigadores. Na Tabela 1 podemos observar valores disponibilizados por diferentes empresas e autores. É possível observar a variação, para alguns parâmetros medidos, dos granitos e rochas silicatadas similares segundo Carvalho *et al*, 2013.

O local de obtenção de amostragens para os ensaios é um fator determinante aquando da caracterização físico-mecânica de uma rocha, pois existem variações naturais das características intrínsecas dos granitos. Estas variações afetam de forma direta os resultados obtidos, levando a diferenças de valores entre autores e empresas.

Tabela 1 – Características físico mecânicas do granito de Pedras Salgadas (RMC - Resistência Mecânica à Compressão; RMF - Resistência Mecânica à Flexão; MVA- Massa Volúmica Aparente; PA – Porosidade Aberta; AA – Absorção de Água-pressão atmosférica; CDLT – Coeficiente de Dilatação Linear Térmica; ER – Energia de Rutura; RA – Resistência à Abrasão; RMCtg – Resistência Mecânica à Compressão-após teste de gelividade.

	Transgranitos*	António Galego**	Levantina***	LNEG****	Sousa 2005	Sousa 2013	Carvalho <i>et al.</i> 2013a)
RMC (MPa)	-	101,5	236	221,6	197	158,5	79-262
RMF (MPa)	-	16,7	15,2	14,9	-	-	3,1-29,4
MVA (Kg/m ³)	2610	2618	2620	2620	-	2645	2530-2870
PA (%)	0,7	0,56	0,6	0,8	0,94	0,76	0,1-4,2
AA (%)	0,3	0,21	0,2	0,3	-	0,29	0,1-1,7
CDLT (10 ⁻⁶ /°C)	-	-	-	9	-	-	5,9-10,7
ER (J)	-	-	11	-	-	-	4,0-11,0
RA (mm)	12	-	15,5	-	-	-	11,5-20,5
RMCtg (MPa)	-	83,8	-	204,95	-	-	-

* Transgranitos – Catálogo (Agosto de 2017)
 ** <http://www.agf-marmores.pt/produtos.htm?category=2&id=15>
 *** Levantina – Ficha técnica – Granito de Pedras Salgadas
 **** <http://rop.lneg.pt/rop/FormProduto.php>

4- Avaliação da homogeneidade textural

4.1- Tamanho do grão

As rochas apresentam variações no tamanho do grão, podendo esta variação ser mais ou menos notória. O granito em estudo apresenta megacristais de feldspato potássico, entre outros que se sobressaem na matriz da rocha, tal como, o quartzo, biotite e as plagioclases. Tendo estes aspetos em consideração e com o objetivo de identificar possíveis variações de granulometria no granito de Pedras Salgadas, procedeu-se à medição dos maiores cristais deste granito.

Esta medição, consistiu na observação de diferentes chapas originárias das pedreiras do granito de Pedras Salgadas. Para cada chapa, foi observado numa área de 40x40cm (dimensão média das peças normalmente produzidas) os 15 maiores cristais e registado o valor de comprimento e largura dos mesmos. Estes apresentam formas características, sendo comum encontrar formas retangulares para os feldspatos e formas ovais/circulares para os quartzos, biotites e plagioclases.

Para os cristais observados, os valores de comprimento e largura máximos correspondem a 4,8cm e 2,9cm respetivamente. Estes valores são referentes aos feldspatos potássicos. Os valores de comprimento e largura mínimos observados são 0,3cm e 0,2cm, respetivamente, sendo estes valores referentes às biotites. Os valores de comprimento e largura observados durante os trabalhos, são ligeiramente inferiores aos recolhidos por Sousa, 1995.

A determinação da área ocupada pelos diferentes minerais, foi determinada pela multiplicação do comprimento pela largura, para os feldspatos. Para os restantes minerais foi aplicada a fórmula que determinara a área da elipse. Na Figura 18 podemos observar a variação da área ocupada pelos minerais, por cada local das chapas estudadas. O valor mínimo corresponde a 0,50 cm², o valor máximo corresponde a 2,60 cm² e o valor médio é de 1,19 cm².

Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 podemos observar a variação da área ocupada por cada família mineral nas diferentes chapas. Na Figura 19, apresentam-se os dados de 504 medições das plagioclases. O valor mínimo corresponde a 0,39 cm², o máximo a 4,61 cm² e o valor médio a 1,05 cm².

A área mínima para as biotites foi de 0,14 cm², a máxima foi de 3,14 cm² e a média foi de 0,58 cm², para um total de 28 medições (Figura 20). Tendo em consideração que este mineral apresenta dimensões reduzidas, nem sempre foi possível incluí-la na lista dos 15 maiores

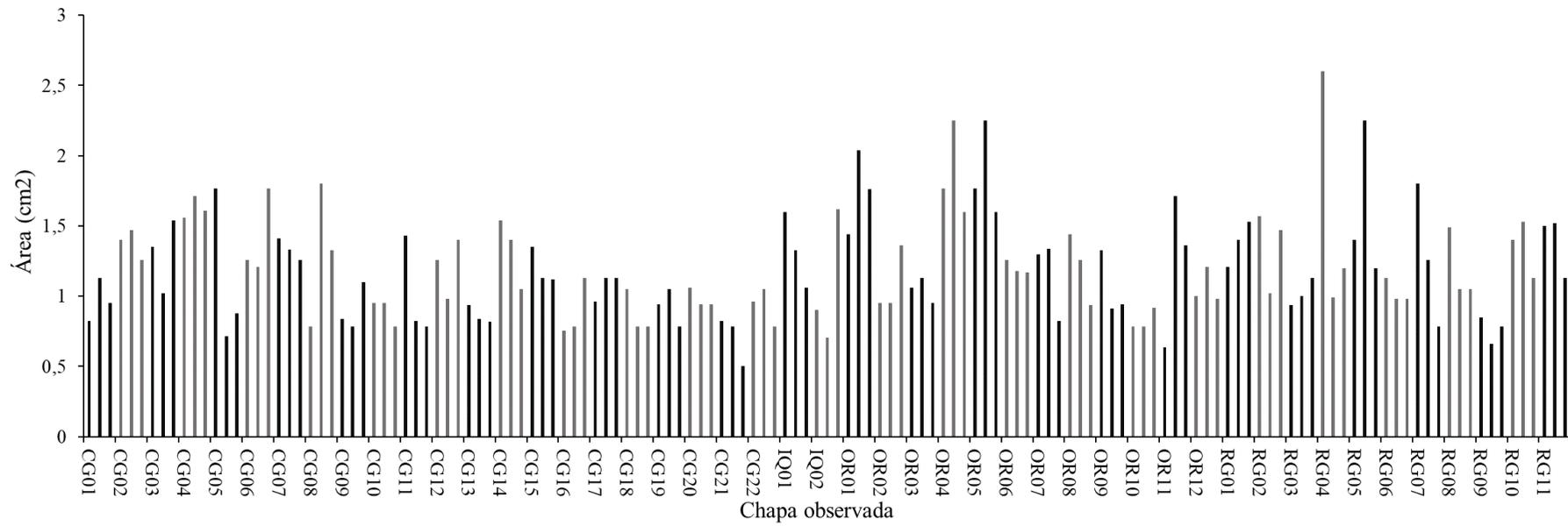
minerais observados na área. A representatividade do número de medições de cada família mineral não é significativa para a avaliação da granulometria, contudo pode afetar a cor do granito.

Na Figura 21 está representada a área ocupada pelos minerais de quartzo nas diferentes chapas. Estes apresentam como valor médio $0,68 \text{ cm}^2$, o valor mínimo observado corresponde a $0,28 \text{ cm}^2$ e o valor máximo a $1,54 \text{ cm}^2$. Foram efetuadas 588 medições para este mineral.

Para os minerais de feldspato foram recolhidas 984 medições. O valor mínimo observado foi de $0,79 \text{ cm}^2$ e o valor máximo a $4,26 \text{ cm}^2$ (Figura 22). O valor médio da área ocupada pelos feldspatos corresponde a $2,09 \text{ cm}^2$. Estes são os que apresentam maiores áreas, tal como as maiores dimensões de todos os minerais observados.

O estudo, como referido, focou-se na medição dos 15 maiores minerais, assim é perfeitamente normal que em determinadas áreas não tenham sido medidos minerais de uma dada família. Eventualmente os 15 valores medidos podem corresponder à mesma família mineral.

Estes resultados mostram que existem variações significativas, entre as diferentes chapas observadas. Também é possível observar variações dentro das próprias chapas, como é o caso das chapas CG05, RG01 e RG06 (Figura 18).



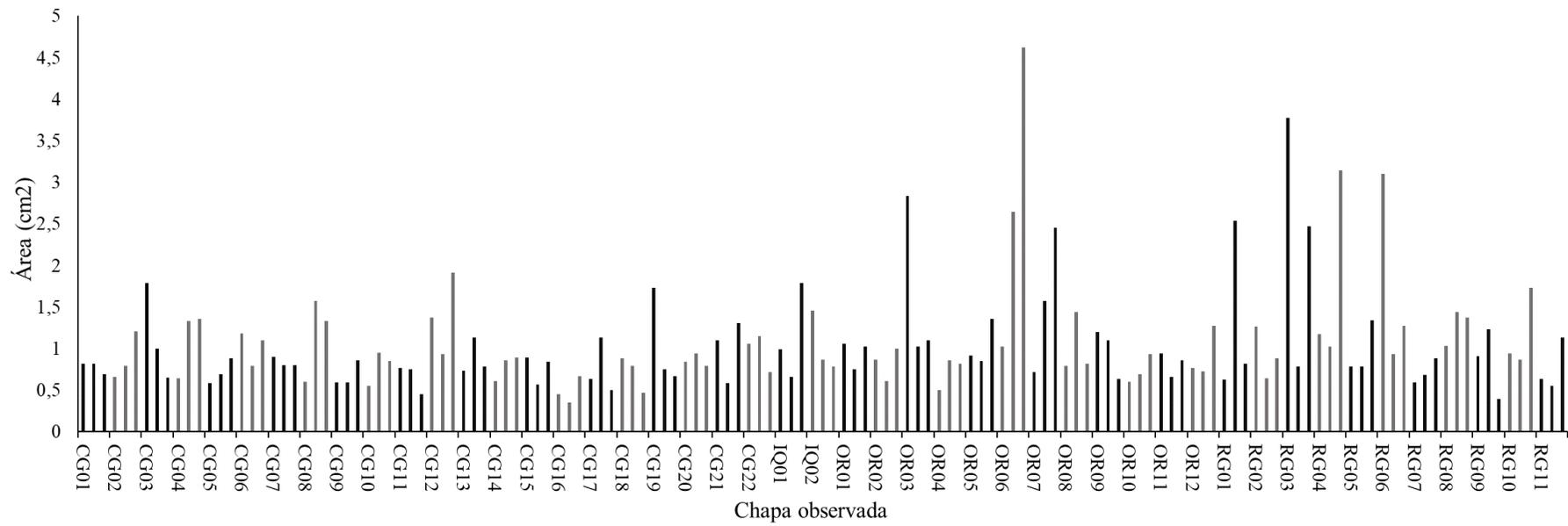


Figura 19 – Dimensão média por chapa para os minerais de Plagioclase.

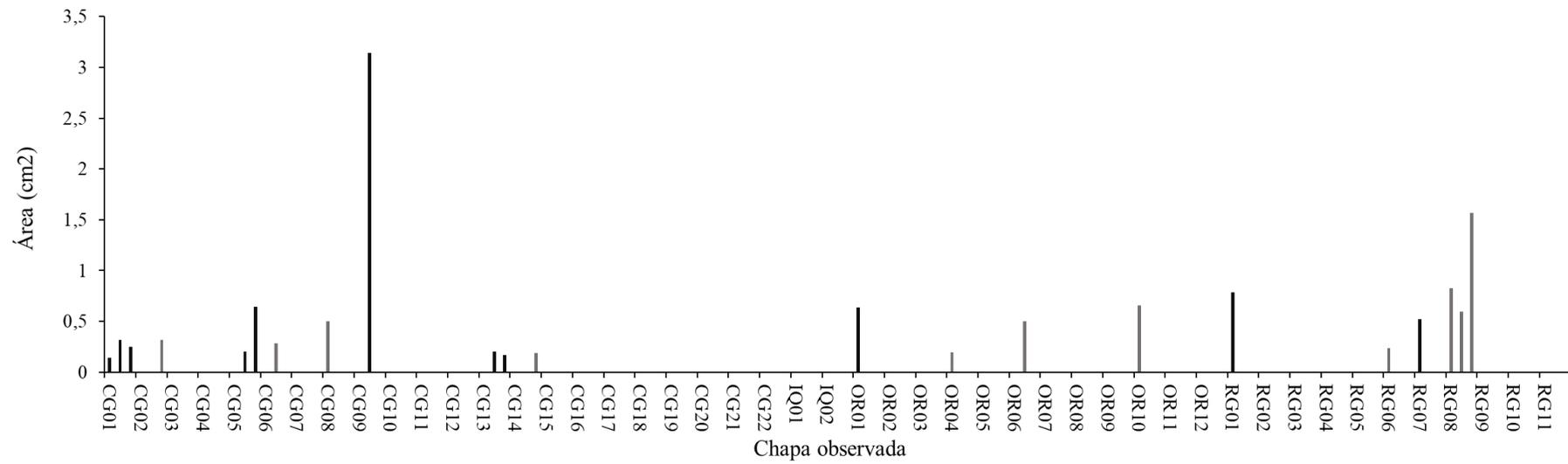


Figura 20 – Dimensão média por chapa para os minerais de Biotite.

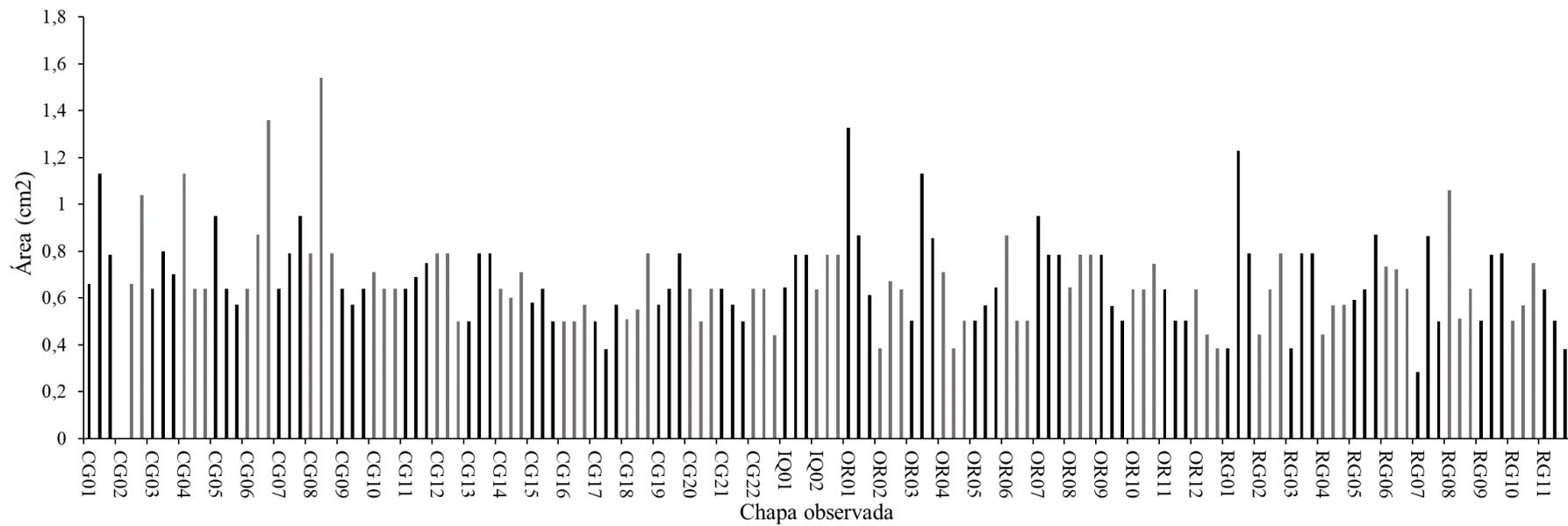


Figura 21 – Dimensão média por chapa para os minerais de Quartzo.

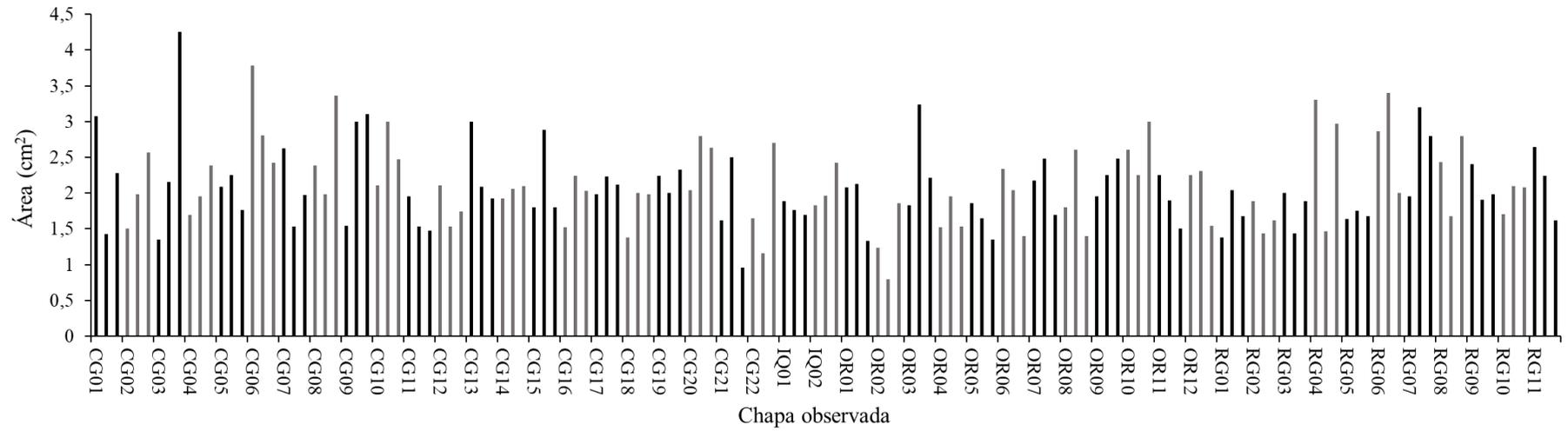


Figura 22 – Dimensão média por chapa para os minerais de Feldspato.

4.2- Caracterização da cor

O equipamento utilizado para a avaliação da cor, foi o colorímetro X-Rite (Modelo 964), com componente especular incluída e usando iluminante D65. A cor é expressa usando o sistema CIE-L*a*b*. Neste sistema, a cor é quantificada de acordo com três coordenadas cromáticas. O parâmetro L* representa a claridade ou luminosidade (L*= 0 preto; L*= 100 branco), o parâmetro a* representa o eixo do vermelho ao verde (a*>0 vermelho; a*<0 verde) e o parâmetro b* é o eixo dos amarelos ao azuis (b*>0 amarelo; b*<0 azul). A abertura utilizada foi a de 16mm. As amostras estudadas possuíam todas o mesmo acabamento superficial, neste caso o polido.

O número de medições a efetuar foi determinado após a análise de 90 medições sucessivas e acumulativas em 4 locais de diferentes chapas para o granito em estudo. Analisando a Figura 23 é possível observar que após 40 medições o valor médio para cada parâmetro cromático apresenta pequenas variações. Cada curva representa um local de medição, tendo sido medidos 4 locais diferentes do granito de Pedras Salgadas. Assim, este valor, 40, foi escolhido como o número de medições a utilizar para a caracterização da cor deste granito. Estas medições foram efetuadas em uma área com dimensão 40×40cm, distribuídas aleatoriamente e tentando evitar a sobreposição de locais já medidos.

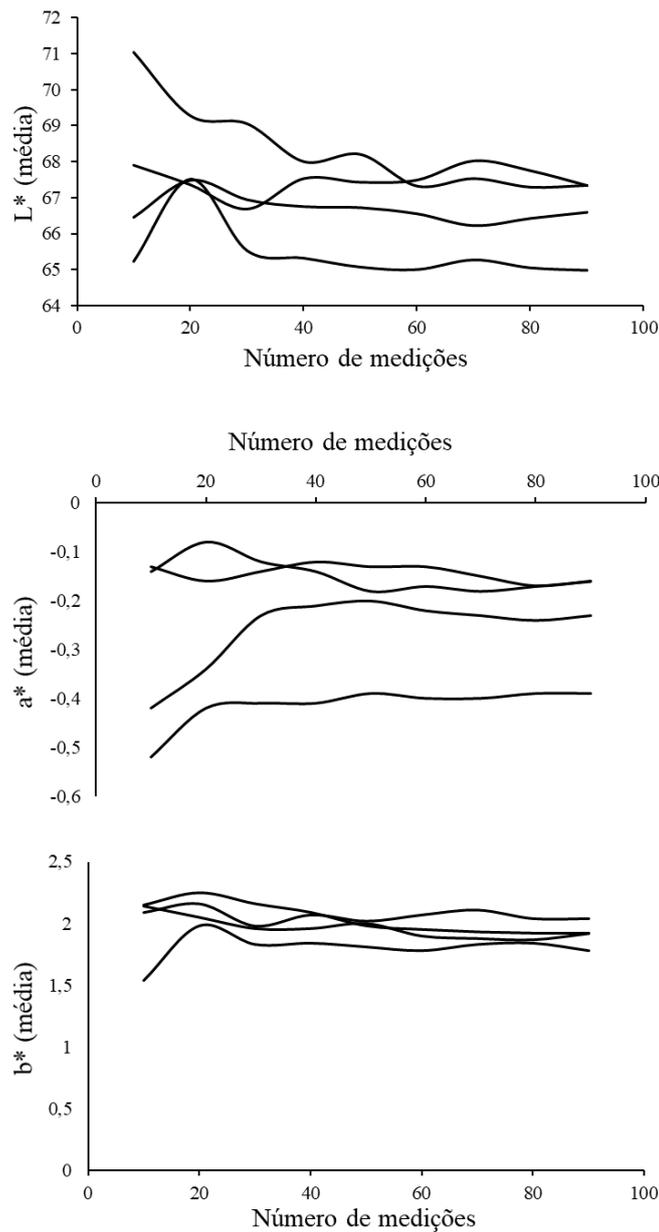


Figura 23 – Valores médios de L*, a* e b* em função do número de medições

Após as medições efetuadas no granito alvo de estudo, foram obtidos os resultados expressos nas Figuras 24, 25 e 26, respetivamente para os parâmetro L*, a* e b*. O parâmetro L* tem como valor mínimo 54, correspondendo à pedra B e como valor máximo 70,24, que corresponde à pedra A. O parâmetro a* apresenta como valor mínimo -0,75 e como valor máximo -0,03, correspondendo às pedreiras B e C respetivamente. O parâmetro b* varia de 0,63 a 2,97, correspondendo ao mínimo e máximo respetivamente. O valor mínimo corresponde à pedra B e o máximo à pedra C.

A pedra A corresponde à empresa C&G, a pedra B corresponde à empresa Oliveira Rodrigues, a pedra C corresponde à empresa Rodrigranitos e a Pedreira D

corresponde à empresa Irmãos Queirós. Estas pedreiras, tal como os locais de medição são os mesmos da avaliação textural (tamanho dos minerais).

Para os valores de L^* é possível observar uma ligeira diferença nos valores apresentados. Os valores correspondentes à pedreira A e C tendem a ser um pouco mais elevados do que os valores correspondentes às pedreiras B e D (Figura 24). Esta diferença reflete-se posteriormente aquando a determinação do valor de ΔE . Apesar de ser possível observar uma grande variabilidade nos valores dos parâmetros a^* e b^* , estes não contribuem significativamente para o valor de ΔE , visto que a sua variação não é significativa e os valores absolutos são baixos.

Note-se que o número de chapas analisadas para cada pedreira não é igual, isto deve-se ao material disponível para análise.

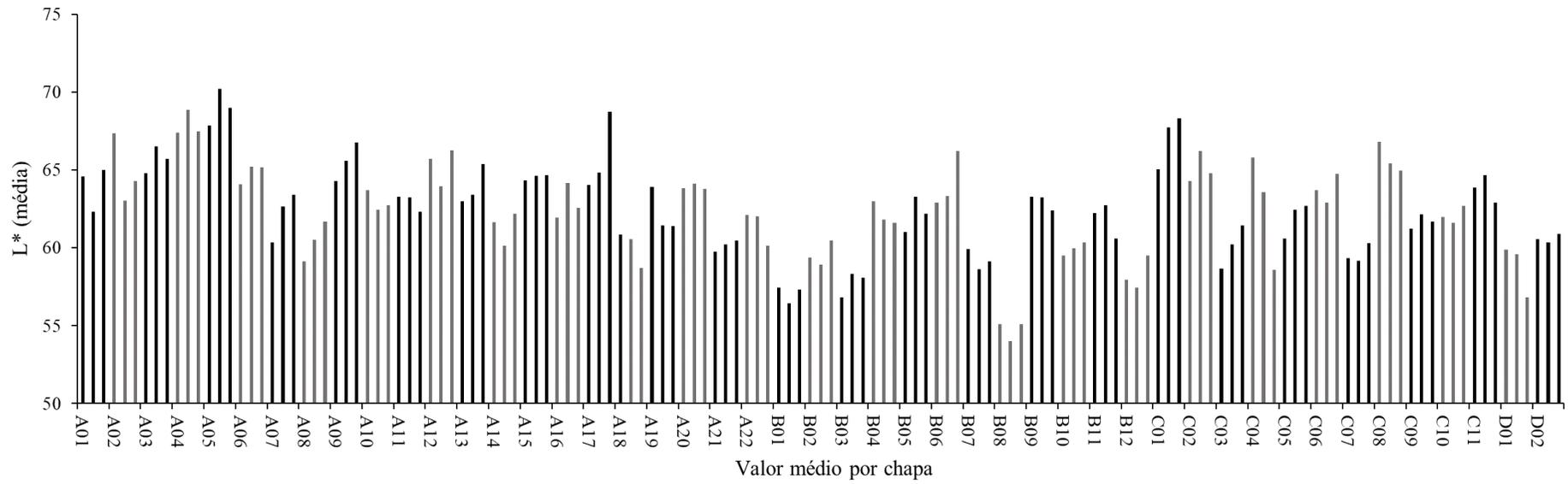


Figura 24 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor L*.

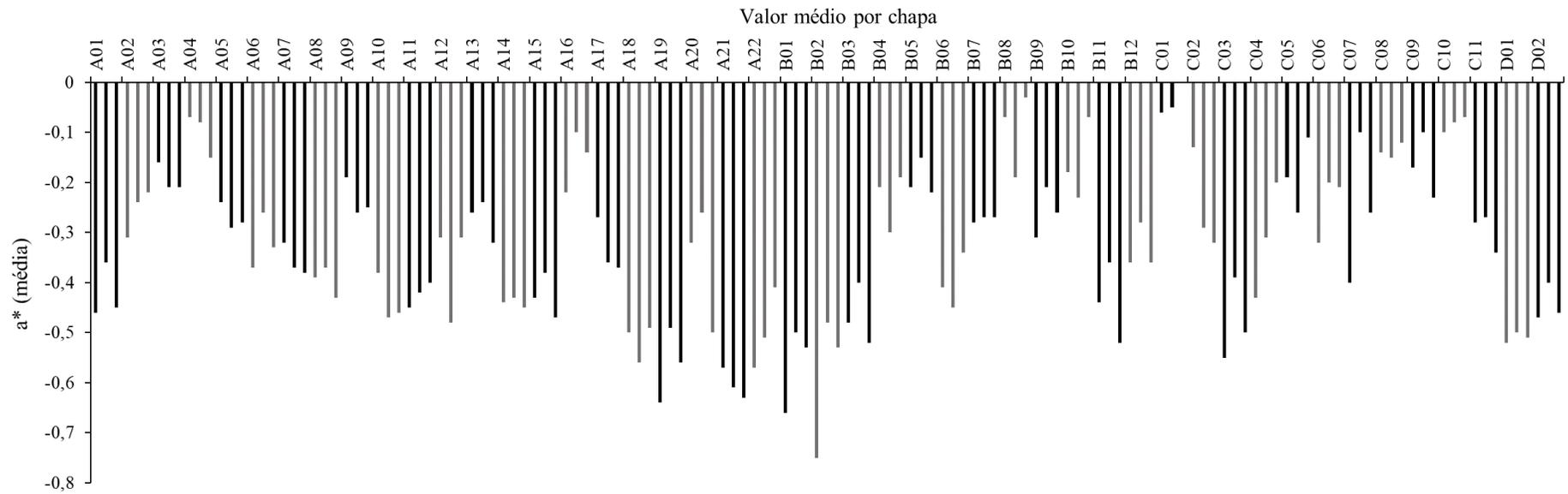


Figura 25 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor a*.

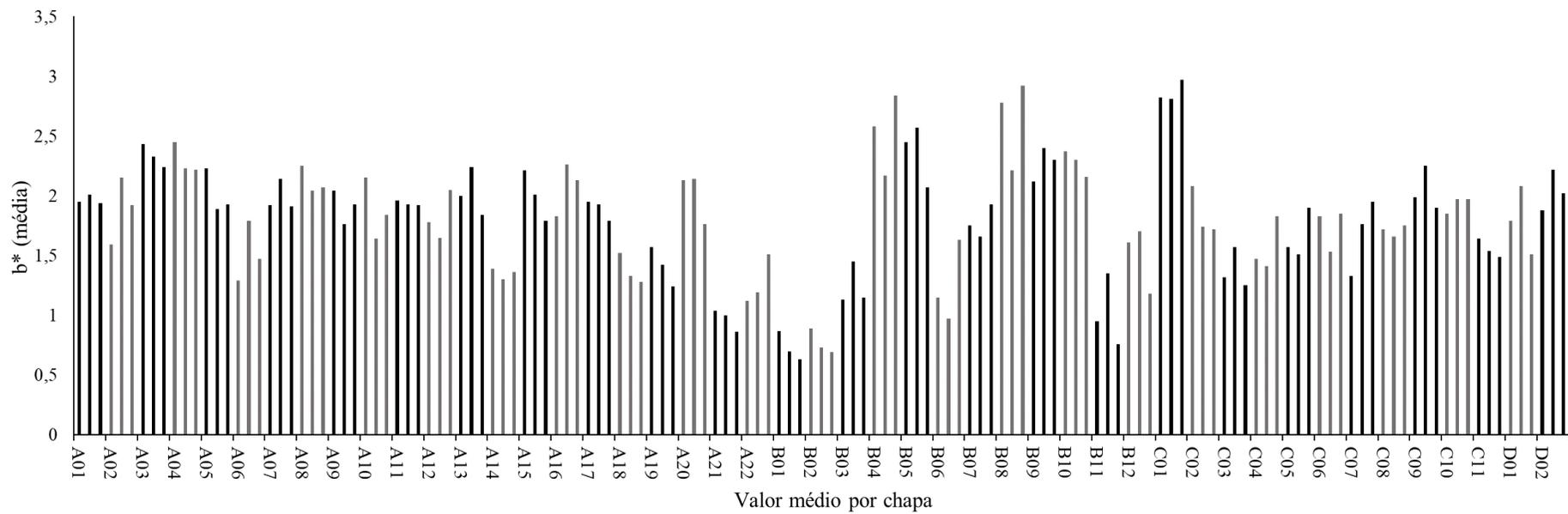


Figura 26 – Valor médio por chapa para o parâmetro de cor b*.

Neste trabalho o valor de ΔE considerado como significativo foi de 3 unidades CIELAB. Autores como Simonot e Elias (2002) consideram 2 unidades para uma observação da variação da cor pelo olho humano, já Prieto *et al.* (2009) e Tiwari *et al.* (2005) mencionam 3 unidades enquanto Pires *et al.* (2014) referem 5 unidades. Nas Tabelas em baixo estão apresentados os dados tratados comparando a variação da cor na chapa, de chapa para chapa, por bloco e por pedraira. Estão assinalados a cinzento os valores considerados significativos, ou seja, com uma variação de cor superior a 3 unidades CIELAB.

4.2.1- Variação na Chapa

4.2.1.1- Pedreira A

Tabela 2 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedraira A.

	A01-1	A01-2	A01-3		A02-1	A02-2	A02-3
A01-1	0	-	-	A02-1	0	-	-
A01-2	2,6	0	-	A02-2	9,5	0	-
A01-3	0,1	3,5	0	A02-3	4,7	0,8	0
	A03-1	A03-2	A03-3		A04-1	A04-2	A04-3
A03-1	0	-	-	A04-1	0	-	-
A03-2	2,0	0	-	A04-2	1,6	0	-
A03-3	0,5	0,3	0	A04-3	0,0	1,0	0
	A05-1	A05-2	A05-3		A06-1	A06-2	A06-3
A05-1	0	-	-	A06-1	0	-	-
A05-2	3,4	0	-	A06-2	1,3	0	-
A05-3	0,7	0,8	0	A06-3	0,6	0,1	0
	A07-1	A07-2	A07-3		A08-1	A08-2	A08-3
A07-1	0	-	-	A08-1	0	-	-
A07-2	3,1	0	-	A08-2	1,4	0	-
A07-3	4,6	0,3	0	A08-3	3,3	0,7	0
	A09-1	A09-2	A09-3		A10-1	A10-2	A10-3
A09-1	0	-	-	A10-1	0	-	-
A09-2	1,4	0	-	A10-2	1,4	0	-
A09-3	3	0,7	0	A10-3	0,5	0,1	0

Tabela 2 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira A.

	A11-1	A11-2	A11-3		A12-1	A12-2	A12-3
A11-1	0	-	-	A12-1	0	-	-
A11-2	0,5	0	-	A12-2	2,1	0	-
A11-3	0,5	0,4	0	A12-3	0,2	2,8	0

	A13-1	A13-2	A13-3		A14-1	A14-2	A14-3
A13-1	0	-	-	A14-1	0	-	-
A13-2	0,6	0	-	A14-2	1,6	0	-
A13-3	2,9	2,1	0	A14-3	0,1	2,1	0

	A15-1	A15-2	A15-3		A16-1	A16-2	A16-3
A15-1	0	-	-	A16-1	0	-	-
A15-2	0,6	0	-	A16-2	3,1	0	-
A15-3	0,2	0,0	0	A16-3	0,3	1,3	0

	A17-1	A17-2	A17-3		A18-1	A18-2	A18-3
A17-1	0	-	-	A18-1	0	-	-
A17-2	0,3	0	-	A18-2	0,6	0	-
A17-3	11,1	7,6	0	A18-3	2,8	1,8	0

	A19-1	A19-2	A19-3		A20-1	A20-2	A20-3
A19-1	0	-	-	A20-1	0	-	-
A19-2	3,5	0	-	A20-2	0,5	0	-
A19-3	3,8	0,0	0	A20-3	0,6	0,2	0

	A21-1	A21-2	A21-3		A22-1	A22-2	A22-3
A21-1	0	-	-	A22-1	0	-	-
A21-2	0,6	0	-	A22-2	0,5	0	-
A21-3	0,8	0,0	0	A22-3	2,5	1,8	0

Nesta pedreira, é possível observar a existência de variação na cor dentro das próprias chapas (Tabela 2). As chapas A01, A02, A05, A07, A08, A16, A17 e A19 apresentam valores superiores a 3 unidades CIELAB. Esta variação, ocorre principalmente nas chapas A02, A17 e A 19 devido à presença de minerais com uma cor mais esbranquiçada que ocupam uma área superficial mais elevada. Na Figura 27, podemos observar uma área com 40 X 40 cm que apresenta “manchas” com uma cor mais esbranquiçada do que a matriz envolvente.

Estes fatores levam a um aumento do valor do parâmetro L em relação às restantes medições levando a que o valor de ΔE seja maior. No que diz respeito aos restantes valores que apresentam diferenças significativas, estes correspondem a zonas onde o granito apresentava

uma cor mais escura. Estas zonas mais escuras são consequência da elevada concentração de minerais com tonalidades mais escuras, como biotites e quartzo.



Figura 27 – Variação na homogeneidade textural do granito, com a presença de manchas esbranquiçadas.

4.2.1.2- Pedreira B

Tabela 3 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira B.

	B01-1	B01-2	B01-3		B02-1	B02-2	B02-3
B01-1	0	-	-	B02-1	0	-	-
B01-2	0,6	0	-	B02-2	0,2	0	-
B01-3	0,0	0,4	0	B02-3	0,6	1,2	0

	B03-1	B03-2	B03-3		B04-1	B04-2	B04-3
B03-1	0	-	-	B04-1	0	-	-
B03-2	1,2	0	-	B04-2	0,8	0	-
B03-3	0,8	0,1	0	B04-3	1	0,3	0

	B05-1	B05-2	B05-3		B06-1	B06-2	B06-3
B05-1	0	-	-	B06-1	0	-	-
B05-2	2,6	0	-	B06-2	0,1	0	-
B05-3	0,7	0,7	0	B06-3	5,6	4,5	0

	B07-1	B07-2	B07-3		B08-1	B08-2	B08-3
B07-1	0	-	-	B08-1	0	-	-
B07-2	0,8	0	-	B08-2	0,8	0	-
B07-3	0,3	0,2	0	B08-3	0,0	0,9	0

Tabela 3 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira B.

	B09-1	B09-2	B09-3		B10-1	B10-2	B10-3
B09-1	0	-	-	B10-1	0	-	-
B09-2	0,0	0	-	B10-2	0,1	0	-
B09-3	0,4	0,4	0	B10-3	0,4	0,1	0

	B11-1	B11-2	B11-3		B12-1	B12-2	B12-3
B11-1	0	-	-	B12-1	0	-	-
B11-2	0,2	0	-	B12-2	0,1	0	-
B11-3	1,4	2,5	0	B12-3	1,3	2,2	0

A variação da cor na pedreira B é apenas notória para a chapa B6, onde os valores de ΔE são superiores a 3 (Tabela 3). Tal como no caso anterior a presença de minerais com cloração mais branca é o principal fator que afeta a cor da chapa. Os restantes valores não apresentam diferenças significativas, o que permite inferir que as chapas desta pedreira apresentam uma maior homogeneidade na cor do que as chapas na pedreira anterior. Como

4.2.1.3- Pedreira C

Tabela 4 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira C.

	C01-1	C01-2	C01-3		C02-1	C02-2	C02-3
C01-1	0	-	-	C02-1	0	-	-
C01-2	3,6	0	-	C02-2	1,9	0	-
C01-3	5,3	0,2	0	C02-3	0,2	1,0	0

	C03-1	C03-2	C03-3		C04-1	C04-2	C04-3
C03-1	0	-	-	C04-1	0	-	-
C03-2	1,3	0	-	C04-2	2,5	0	-
C03-3	3,9	0,8	0	C04-3	26,2	12,5	0

	C05-1	C05-2	C05-3		C06-1	C06-2	C06-3
C05-1	0	-	-	C06-1	0	-	-
C05-2	1,8	0	-	C06-2	0,4	0	-
C05-3	2,3	0,1	0	C06-3	0,5	1,8	0

	C07-1	C07-2	C07-3		C08-1	C08-2	C08-3
C07-1	0	-	-	C08-1	0	-	-
C07-2	0,2	0	-	C08-2	0,9	0	-
C07-3	0,7	0,7	0	C08-3	1,6	0,1	0

Tabela 4 (continuação) – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira C.

	C09-1	C09-2	C09-3		C10-1	C10-2	C10-3
C09-1	0	-	-	C10-1	0	-	-
C09-2	0,5	0	-	C10-2	0,1	0	-
C09-3	0,1	0,2	0	C10-3	0,3	0,6	0

	C11-1	C11-2	C11-3
C11-1	0	-	-
C11-2	0,3	0	-
C11-3	0,5	1,5	0

No que diz respeito às chapas da pedreira C, é possível observar que as chapas C01, C03 e C04, apresentam valores de ΔE superiores a 3 (Tabela 4). Sendo que a chapa C04 é a que apresenta uma maior diferença na cor, apresentando valores superiores a 10 unidades CIELAB. Esta chapa, apresentava variações na textura e cor tendo sido observada uma descoloração, na chapa. Nesta chapa observa-se uma evolução de uma cor mais acinzentada para uma cor mais esbranquiçada, com a presença de megacristais de plagioclase e feldspatos. Estes minerais conferem uma cor mais esbranquiçada ao granito, levando a que o valor de L^* seja elevado.

4.2.1.4- Pedreira D

Tabela 5 – Variação cromática nas chapas provenientes da pedreira D.

	D01-1	D01-2	D01-3		D02-1	D02-2	D02-3
D01-1	0	-	-	D02-1	0	-	-
D01-2	0,1	0	-	D02-2	0,1	0	-
D01-3	4,8	4	0	D02-3	0,1	0,2	0

Para a pedreira D é possível observar variações da cor significativas na chapa D01, refletindo a concentração de minerais mais escuros na zona medida na chapa (Tabela 5).

Das chapas observadas de cada pedreira, em pelo menos uma há variação significativa na cor. Esta variação é influenciada pela presença dos minerais, que levam a valores mais elevados do parâmetro L^* , quando apresentam cores mais esbranquiçadas e a valores mais baixos na presença de cores mais escuras.

Normalmente, não seria de se esperar uma elevada variação dentro das próprias chapas, visto que como referido anteriormente, este granito apresenta uma cor e textura homogêneas.

Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de, mesmo em granitos considerados homogêneos, haver a necessidade de controlo de qualidade, evitando-se a constituição de lotes muito heterógenos.

4.2.2- Variação de chapa para chapa

A determinação da variação cromática entre chapas foi determinada após o cálculo do valor médio entre os três valores obtidos para cada chapa. Neste ponto é possível observar a variação cromática de chapas para a mesma pedreira e entre pedreiras diferentes.

4.2.2.1- Pedreira A

A pedreira A apresenta diferentes cores para as chapas que a integram, estando estas variações expressas na Tabela 6. Podemos verificar que 47,6% dos valores são superiores a 3 unidades CIELAB, sendo o valor máximo 39,1 (valor correspondente à relação entre as chapas A05 e A21) e o valor mínimo 0,0 (valor correspondente à relação entre as chapas A14 e A19).

Os valores observados permitem agrupar as diferentes chapas em três grupos: chapas que apresentam similaridade com cinco ou menos chapas; chapas que apresentam similaridade entre seis e catorze chapas; chapas que apresentam similaridade com mais de quinze chapas. No primeiro grupo podemos incluir as chapas A04, A05 e A21. Destas a chapa A05 apenas apresenta um valor de ΔE inferior a 3 unidades CIELAB quando comparada com a chapa A04. A chapa A05 corresponde ao valor máximo para o parâmetro L medido nesta pedreira e a chapa A21 corresponde ao valor mínimo. No segundo grupo estão incluídas as chapas A01- A03, A06- A09, A11, A12, A14-A19 e A22. No terceiro grupo estão incluídas as chapas A10, A13 e A20. A chapa A13 é a que apresenta maior similaridade com as restantes.

Tabela 6 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira A.

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22
A01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A02	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A03	0,8	1,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A04	4,3	5,2	1,6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A05	9,7	11,0	5,4	1,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A06	0,3	0,5	0,5	3,1	7,4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A07	1,9	1,4	4,9	11,9	20,2	3,3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A08	8,4	7,2	13,8	24,6	36,1	11,1	2,3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A09	0,5	0,8	0,1	1,9	5,8	0,2	4,4	13,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	1,7	1,2	4,6	11,4	19,5	3,0	0,0	2,6	4,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A11	0,9	0,6	3,3	9,3	16,7	2,0	0,2	3,7	2,8	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12	0,7	1,0	0,2	1,7	5,4	0,2	4,8	13,7	0,0	4,4	3,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	0,7	0,4	2,8	8,5	15,7	1,7	0,3	4,2	2,4	0,2	0,0	2,7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A14	4,5	3,6	8,8	17,5	27,0	6,1	0,6	0,9	7,9	0,7	1,4	8,3	1,7	0	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	0,0	0,1	0,7	4,3	9,6	0,3	2,0	8,5	0,5	1,7	1,0	0,6	0,8	4,6	0	-	-	-	-	-	-	-
A16	2,1	1,5	5,0	12,1	20,6	3,6	0,0	2,2	4,6	0,1	0,3	5,0	0,3	0,8	2,1	0	-	-	-	-	-	-
A17	0,0	0,2	0,5	3,6	8,7	0,2	2,4	9,4	0,3	2,2	1,3	0,4	1,0	5,2	0,0	2,6	0	-	-	-	-	-
A18	8,3	7,1	13,9	24,5	35,7	10,6	2,3	0,3	12,8	2,5	3,7	13,4	4,2	0,6	8,4	2,4	9,3	0	-	-	-	-
A19	5,1	4,2	9,6	18,7	28,6	6,9	0,8	0,7	8,7	0,9	1,7	9,2	2,1	0,0	5,2	1,0	5,9	0,4	0	-	-	-
A20	0,3	0,1	1,9	6,8	13,4	1,1	0,7	5,5	1,6	0,6	0,2	1,9	0,1	2,6	0,3	0,8	0,5	5,6	3,1	0	-	-
A21	10,1	8,9	16,3	27,5	39,1	12,5	3,4	0,6	15,0	3,6	5,0	15,6	5,6	1,1	10,3	3,6	11,2	0,1	0,9	7,2	0	-
A22	3,6	2,9	7,6	15,7	24,7	5,0	0,5	1,5	6,7	0,5	1,0	7,1	1,3	0,1	3,7	0,7	4,3	1,0	0,2	2,1	1,7	0

4.2.2.2- Pedreira B

Na pedreira B, o valor de ΔE para as chapas é, em mais de 60% dos casos superior a 3 unidades CIELAB (Tabela 7). A chapa que apresenta menor afinidade com as restantes é a B08, não tendo correspondência com chapas para a mesma pedreira nem com as restantes pedreiras.

Nesta pedreira a chapa que apresenta maior afinidade com as restantes é a chapa B10, sendo que o valor de ΔE é inferior a 3 quando comparada com 6 chapas diferentes. As chapas B02-B05, B07 e B12, são semelhantes a pelo menos 5 chapas e a B01, B06, B09 e B11 são semelhantes a pelo menos 4 chapas.

Tabela 7 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira B.

	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12
B01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B02	2,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B03	0,4	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B04	11,9	4,7	8,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
B05	13,3	5,4	9,4	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-
B06	18,0	7,8	13,8	2,1	1,5	0	-	-	-	-	-	-
B07	2,2	0,6	0,8	4,0	5,0	9,0	0	-	-	-	-	-
B08	4,8	11,5	5,8	22,7	25,2	35,2	8,6	0	-	-	-	-
B09	18,7	8,6	14,0	1,0	0,6	0,7	8,6	33,2	0	-	-	-
B10	4,8	1,5	2,5	1,8	2,5	6,3	0,5	12,0	5,3	0	-	-
B11	12,1	4,1	8,8	1,4	1,2	0,6	5,2	27,3	1,4	3,5	0	-
B12	0,6	1,4	0,1	8,0	9,3	14,4	0,7	4,8	14,1	2,3	9,4	0

4.2.2.3- Pedreira C

Na pedreira C cerca de 49,1% dos valores são superiores a 3 unidades CIELAB, sendo possível observar para as diferentes chapas valores superiores a 30 unidades CIELAB (Tabela 8).

A chapa C01 não apresenta qualquer similaridade com as restantes chapas para a mesma pedreira, apresentando uma cor mais clara do que as restantes chapas avaliadas. As chapas que apresentam maior similaridade com as restantes são C04-C06, C09 e C11, sendo semelhantes

a pelo menos 7 chapas diferentes. As chapas C02, C03, C08 e C10 são semelhantes a pelo menos 4 chapas, sendo que a chapa C07 é apenas semelhante a duas chapas.

Tabela 8 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira C.

	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11
C01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C02	4,9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C03	29,5	10,6	0	-	-	-	-	-	-	-	-
C04	9,6	0,8	5,6	0	-	-	-	-	-	-	-
C05	14,7	2,8	2,6	0,6	0	-	-	-	-	-	-
C06	8,7	0,6	6,2	0,1	0,8	0	-	-	-	-	-
C07	35,8	14,9	0,5	9,0	4,9	9,5	0	-	-	-	-
C08	3,3	0,2	13,7	1,8	4,4	1,5	18,5	0	-	-	-
C09	18,7	4,9	1,3	2,0	0,4	2,1	2,7	7,1	0	-	-
C10	17,1	4,1	1,8	1,5	0,2	1,5	3,4	6,1	0,0	0	-
C11	8,3	0,5	6,7	0,0	1,0	0,1	10,3	1,2	2,5	2,0	0

4.2.2.4- Pedreira D

Para a pedreira D não são observadas variações cromáticas entre chapas (Tabela 9). Para esta pedreira apenas foram medidas 2 chapas, o que não é um valor significativo. A amostragem é muito baixa para inferir se existe ou não variações na pedreira.

Tabela 9 – Variação cromática entre chapas provenientes da pedreira A.

	D01	D02
D01	0	-
D02	0,5	0

Quando comparados os valores da cor das diferentes chapas para a mesma pedreira observa-se que estas apresentam diferenças significativas. Um fator que poderá afetar a cor, é o plano de corte dos blocos. Durante o levantamento de dados, operadores das diferentes pedreiras referem que a cor do granito é afetada pelo levante, correr e contra da rocha. Contudo, como as chapas analisadas não apresentavam o sentido de corte, nem foi possível rastrear o mesmo, não se obtém informação necessária que suporte essa hipótese.

4.2.3- Variação nos blocos

Durante os trabalhos foi possível obter valores de chapas originárias de um mesmo bloco. Os blocos BL01 e BL02 são provenientes da pedra A e os blocos BL03 e BL04 são provenientes da pedra B. No caso do BL01 as chapas que o integram são a A04 e A09 e para o BL02 são as chapas A08 e A10. Os blocos provenientes da pedra B, integram as chapas B04, B05 e B09 no caso do BL03 e as chapas B01, B02 e B03 no caso do BL04. Na Tabela 10 observa-se a variação cromática entre os diferentes blocos para as mesmas pedreiras, é possível observar que existe uma grande variação cromática entre os blocos analisados.

Tabela 10 – Variação cromática entre blocos.

	BL01	BL02		BL03	BL04
BL01	0	-	BL03	0	-
BL02	12,7	0	BL04	10,6	0

4.2.4- Variação entre pedra

Os valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* para as diferentes pedreiras estão representados na Tabela 11. Estes valores são semelhantes aos obtidos anteriormente por Sousa e Gonçalves (2012), embora os autores não refiram a origem do material.

Pela análise da Tabela seguinte podemos observar que o valor de ΔE para a relação entre as pedreiras A×C e D×B é inferior a 3, logo presume-se que estas não apresentem diferenças significativas entre elas. No caso da relação entre A×B; A×D; B×C e D×C observamos que o valor destas é superior a 3, logo a variação da cor é notória (Tabela 11). Comparando estes valores com o da Tabela anterior, podemos observar que as pedreiras B e D apresentam uma cor mais escura do que as pedreiras A e C.

Tabela 11 – Valores médios de L^* , a^* e b^* para as diferentes pedreiras.

Parâmetro da cor	A	B	C	D
L (média)	64,24	59,92	62,9	60,12
a (média)	-0,32	-0,30	-0,20	-0,49
b (média)	1,95	1,75	1,75	1,95

Tabela 12 – Variação cromática entre as diferentes pedreiras.

	A	B	C	D
A	0	-	-	-
B	4	0	-	-
C	0,6	3,7	0	-
D	4	0,3	3,5	0

Na Figura 28, é possível observar a variação cromática entre granito de diferentes pedreiras. Observam-se duas placas com cores distintas: a placa à esquerda é proveniente de pedreiras que possuem material mais escuro e a que se encontra à direita é proveniente de pedreiras com material mais claro.

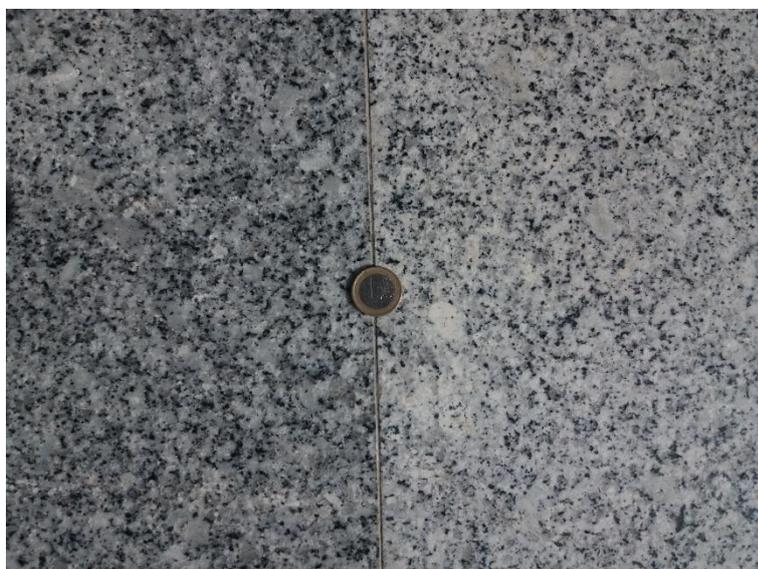


Figura 28 – Variação cromática de material proveniente de duas pedreiras diferentes, (granito de Pedras Salgadas).

Tal como observado na Figura 28 e através dos resultados obtidos, existe de facto uma variação na cor do granito de Pedras Salgadas. Nesta imagem o principal fator que parece causar a variação cromática é a percentagem de biotite. Tal como referido anteriormente, este mineral faz parte do grupo de minerais com cor mais escura que levam à obtenção de valores mais baixos para o parâmetro L^* .

Tendo em consideração as conclusões atrás obtidas, é possível minimizar o impacto visual durante a aplicação deste granito. A maneira mais simples de o fazer é a utilização de material com maior afinidade visual, que corresponderá às pedreiras A×C ou B×D. Contudo, é

de se considerar a variação observada entre as chapas de cada pedreira. Esta, para alguns dos resultados é bastante significativa, visto que foram obtidos valores superiores a 10 unidades CIELAB. Assim, recomenda-se uma avaliação detalhada da variação cromática sempre que as obras o justifiquem.

5-Fraturação e blocometria

5.1-Avaliação da fraturação

O levantamento da fraturação, efetuado durante os trabalhos de campo, foi realizado em 3 pedreiras em laboração e num local virgem. A caracterização da fraturação, espaçamento e índice volumétrico encontra-se descrita abaixo.

Os locais estudados encontram-se em Pedras Salgadas no concelho de Vila Pouca de Aguiar. Estas pedreiras, atualmente em laboração, são os principais produtores regionais de granito cinzento de Pedras Salgadas para fins ornamentais. Como referido, a exploração deste granito atingiu o seu pico de exploração na década de 1990, tendo o número de pedreiras diminuído deste então. Esta diminuição, consequência do aparecimento de novos produtos nos mercados e diminuição de locais propícios a exploração, resulta no pequeno número de pedreiras em atividade.

A procura de novos locais leva ao estudo e caracterização da fraturação das áreas virgens. Os resultados obtidos para estes novos locais, quando comparados com os das pedreiras já existentes, permitem inferir se são propícios à instalação de novas explorações. Foi estudado um novo local, tendo sido feita uma caracterização da fraturação, espaçamento entre fraturas e índice volumétrico.

Os valores referentes às pedreiras e ao local virgem estudado seguem-se a baixo.

5.1.1-Pedreiras

5.1.1.1- Estudo da direção de fraturação

O estudo da direção, nas diferentes pedreiras foi efetuado nos locais demarcados na Figura 29. Os valores de fraturação obtidos encontram-se projetados no diagrama de rosetas, Figura 30. É possível observar duas famílias principais, N20-30E e N70W a E-W. A primeira família é paralela à fraturação regional (Falha de Vila Real) e a segunda é perpendicular a esta (Sousa e Pires, 1998).



Figura 29 - Fotografia aérea da Zona de Exploração de Pedras Salgadas, com localização das pedreiras estudadas (1- Sabroso de Aguiar-área virgem; 2- C&G-Importação e exportação de rochas ornamentais, S. A.; 3-Oliveira Rodrigues-Granitos de Pedras Salgadas, Lda.; 4- Irmãos Queiroz, Lda. (Google Earth).

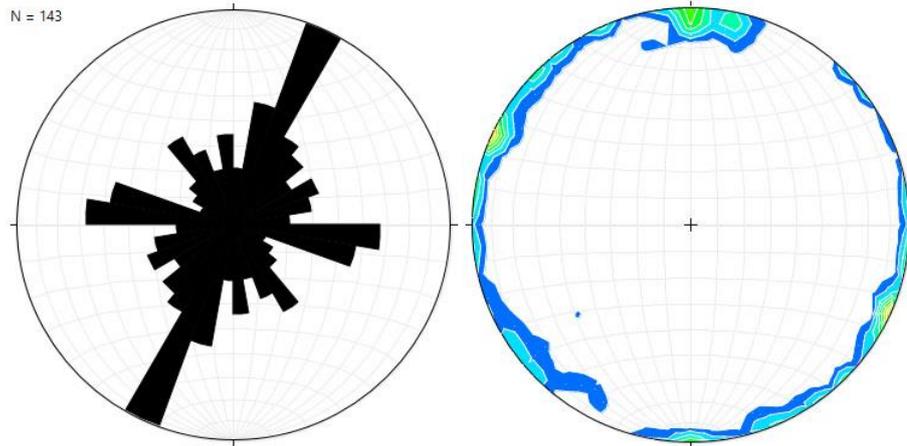


Figura 30 - Diagrama de rosetas do total das fraturas medidas nas pedreiras em estudo (n = 143) e respetivo diagrama de densidades.

Na Figura 31 podemos observar as medições efetuadas nas diferentes pedreiras. Observa-se que as principais famílias de fraturação correspondem a N10-30E, N70-90W e N40-50E, nas pedreiras 2, 3 e 4, respetivamente. Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos anteriormente (Sousa e Pires, 1998; Sousa, 2007; Moreira, 1999), para o caso da pedreira 1, enquanto nos restantes casos há alguma discrepância.

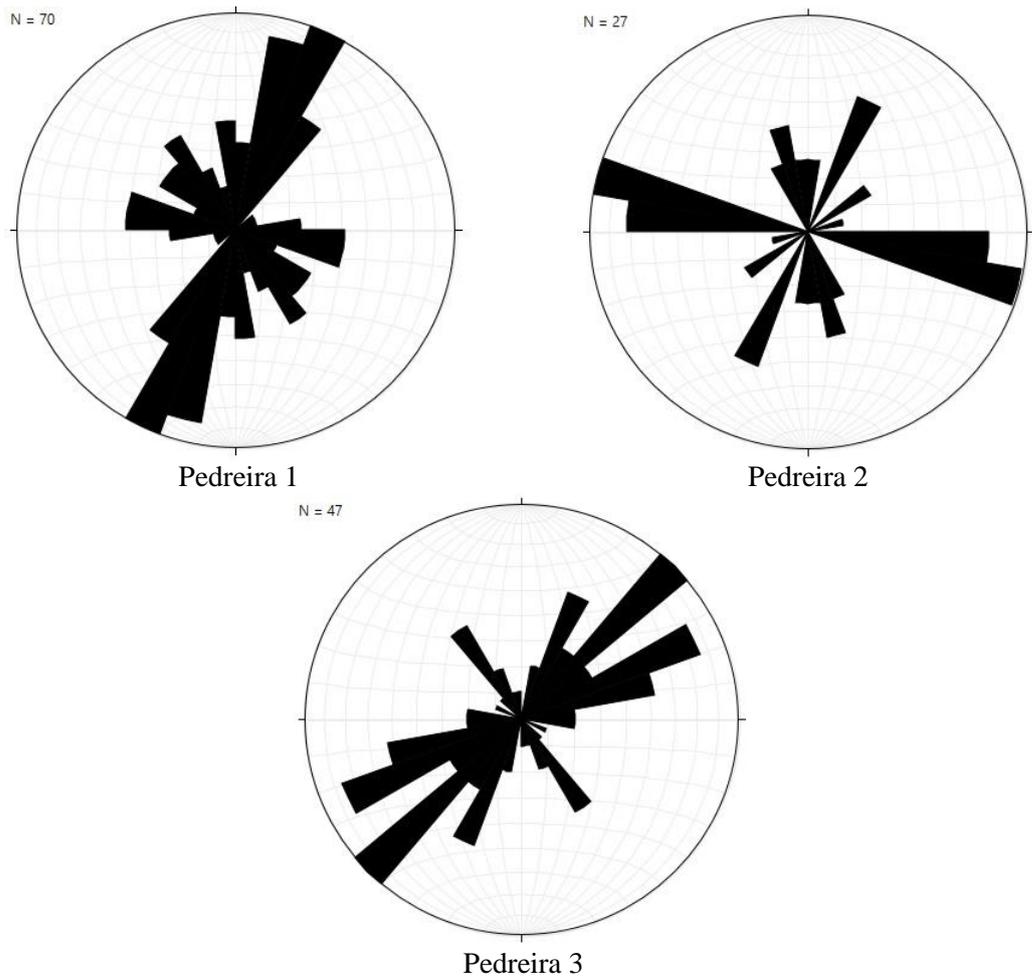


Figura 31 – Diagrama de rosetas para cada pedreira em estudo.

5.1.1.2- Estudo espaçamento e índice volumétrico

Os espaçamentos obtidos para as fraturas medidas nas pedreiras encontram-se na Figura 32. Foram efetuadas um total de 44 medições, com a classe 0-1,5 metros a apresentar a frequência mais elevada (Figura 26).

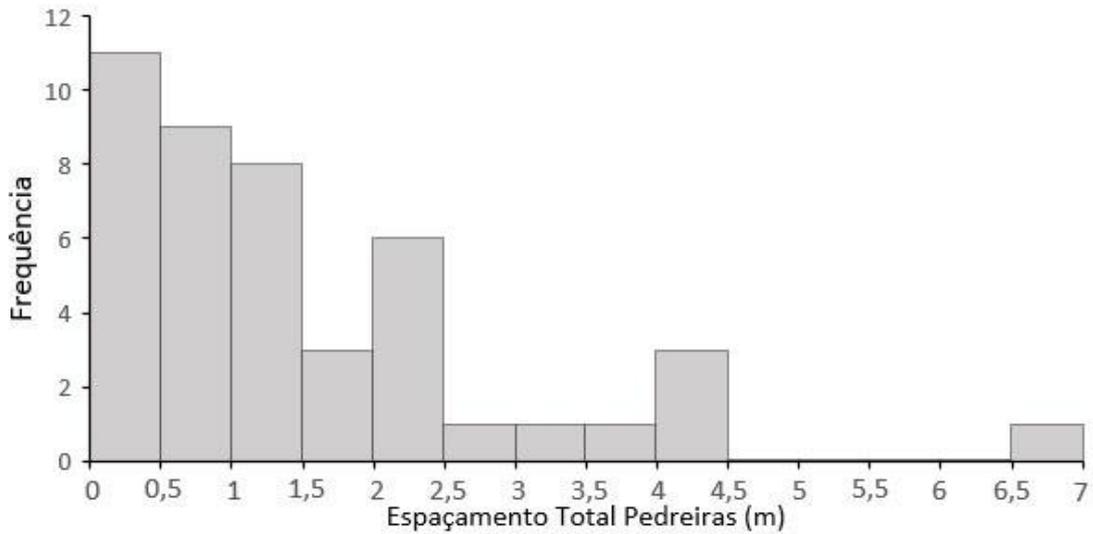


Figura 32 – Histograma dos espaçamentos total das pedreiras.

Em todas as pedreiras é possível observar que os valores se encontram mais concentrados à esquerda da média (Figura 33). Assim, são mais frequentes classes com espaçamentos mais baixos, diminuindo o número de espaçamentos maiores.

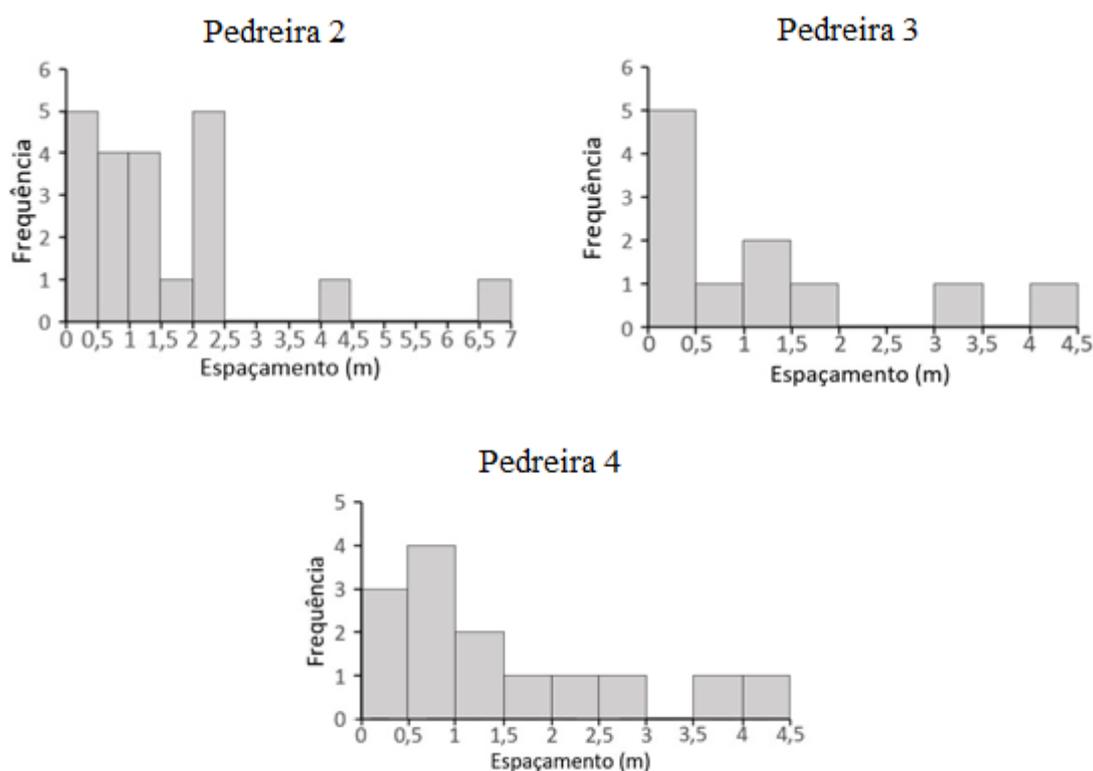


Figura 33 – Histogramas de espaçamentos para as pedreiras 1 a 3.

Na Tabela 13 encontram-se expressos os valores máximos, mínimos e médios dos espaçamentos medidos, assim respetivo o número. Foram observados um total de 44 espaçamentos, sendo que o valor mínimo corresponde a 0,2m (Pedreira 2) e o valor máximo a 4,4m (Pedreira 4). O valor médio corresponde a 1,6m, semelhante aos resultados obtidos por Sousa e Pires (1998) e Sousa (2007).

Tabela 13 – Resultados globais dos espaçamentos para as pedreiras observadas.

Pedreira	n	Média (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
2	20	1,7	0,2	6,9
3	10	1,5	0,4	4,3
4	13	1,7	0,5	4,4

Na Tabela 14, está apresentado o estudo do espaçamento médio para cada família em cada pedreira, que permitem obter o valor de J_v para cada local. O J_v varia entre 1,1 (Pedreira 2) e 2,0 (Pedreira 3), sendo o valor médio de 1,5. Segundo Sousa (2007), o valor médio de J_v

obtido para as pedreiras do granito de Pedras Salgadas é de aproximadamente 1,5 idêntico ao valor agora obtido. Contudo, deve-se ter em consideração que o número mínimo de espaçamentos agora obtidos é muito baixo. Considerando a caracterização de Garcia (1996), esta área apresenta potencialidade para fornecer blocos grandes com aptidão comercial, daí se encontrar uma maior densidade de pedreiras nesta área do plutão de Pedras Salgadas.

Tabela 14 – Resultados dos espaçamentos médios e do índice de Jv para as pedreiras estudadas.

Pedreira	Família de Fraturação	n	Espaçamento médio	Jv
2	N10°-30°E	13	1,4	1,1
	N40°-60°W	7	2,4	
3	N10°W-30°E	2	2,6	2,0
	N20°-30°W	2	1,4	
	N70°-90°W	6	1,1	
4	N30°-40°E	5	2,7	1,5
	N60°-80°E	7	0,9	
TOTAL		42	1,8	1,5

5.1.2- Sabroso de Aguiar

A área virgem estudada encontra-se também na área da reserva do granito de Pedras Salgadas (Figura 29). Neste local observa-se um afloramento granítico, com cobertura vegetal significativa o que dificultou a obtenção de dados, tendo sido feito o levantamento apenas nos locais sem cobertura vegetal. Apesar disto, a caracterização da direção das fraturas foi feita segundo dois métodos. O primeiro método foi o tradicional, fazendo-se o levantamento da fraturação com uma bússola nos afloramentos. O segundo método consistiu na identificação das fraturas visíveis sobre um ortomosaico georreferenciado, com resolução melhor que 5cm por pixel, obtido a partir de imagens aéreas recolhidas por uma aeronave não tripulada. As fraturas foram identificadas utilizando o programa ArcMap (ArcGIS Desktop) (Figura 34). O comprimento direção médio das fraturas identificadas foi determinado através do uso de ferramentas deste programa.

5.1.2.1- Famílias de fraturas

O diagrama de rosetas obtido com os dados calculados no ArcMap teve em consideração a relação do comprimento das fraturas relacionado com a direção e não a relação do número com a direção (como é habitual). Observam-se 2 famílias de fraturas principais, a primeira com direção N10W-N10E e a segunda com direção N50-70W (Figura 35).

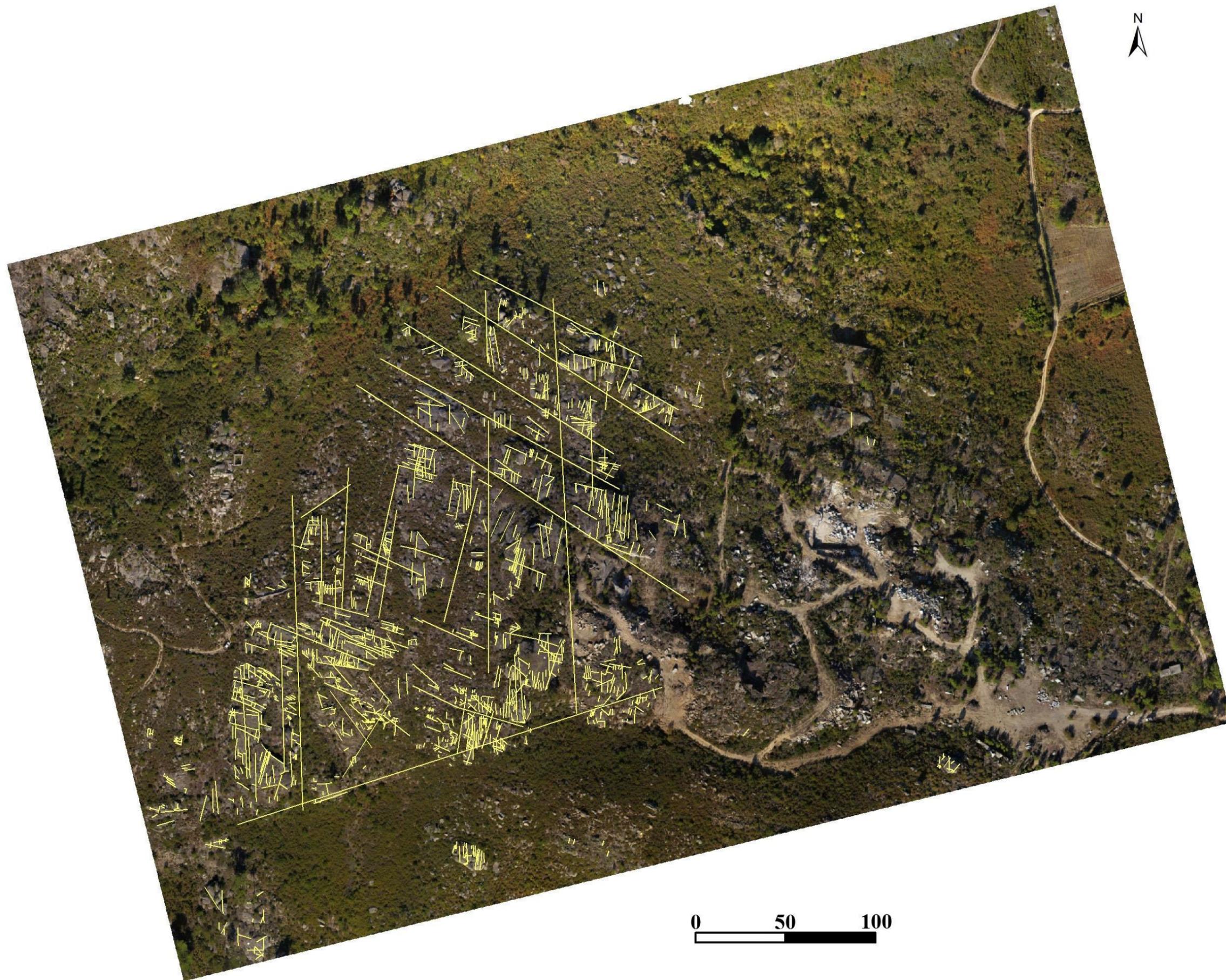


Figura 34- Vectorização da fraturação da área de Sabroso de Aguiar. Imagem obtida por aeronave não tripulada.

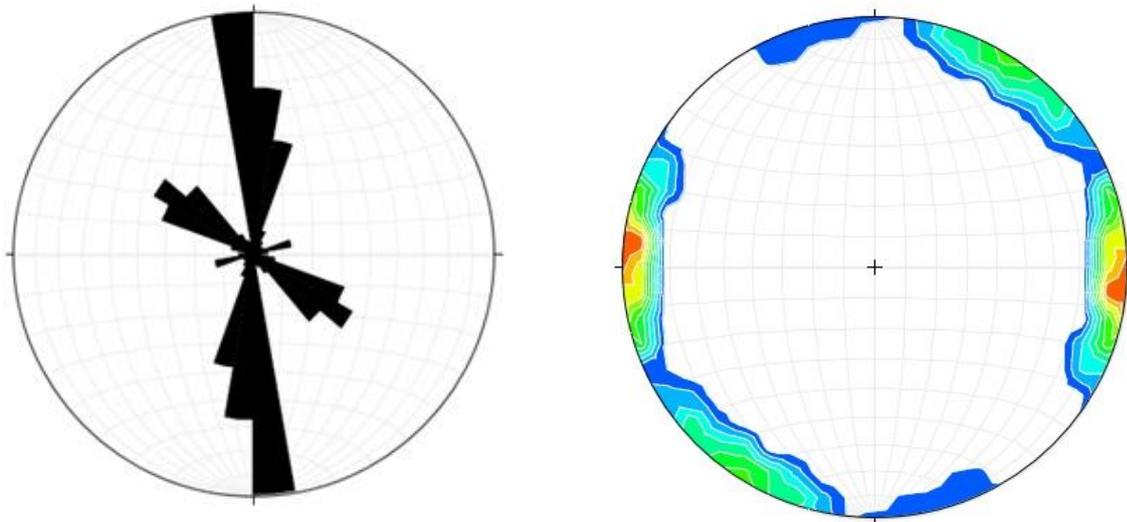


Figura 35 - Diagrama de rosetas para a área de Sabroso de Aguiar (n = 1279), considerando o comprimento das fraturas e respetivo diagrama de densidades (com inclinação de 90°).

Os dados recolhidos no campo encontram-se representados no diagrama de rosetas, Figura 36. Podemos observar que foram medidas 315 fraturas, sendo que a família que tem maior representatividade é a N10W-N20E, apresentado também uma outra família, com direção N50-90W. Estudos levados a cabo por Sousa e Pires (1998) identificam famílias de fraturas com uma direção próxima à da fraturação regional. Esta fraturação caracteriza-se essencialmente pela presença de 3 famílias de fraturas, N10-30E, N60-80E e N40-50W (Sousa e Pires, 1998). Moreira (1999) considera, nos seus trabalhos, 5 principais famílias de fraturação, N10E, N-S, E-W, N30W e N75E, sendo estas descritas por ordem decrescente de importância.

Um outro aspeto a considerar é a significância das famílias de fraturas. Sousa e Pires (1998) identificam a família N10-30E, paralela à Falha de Vila Real, como a que apresenta maior significância, pois apresentam grande extensão e frequência, contrariamente às outras famílias, que são menos extensas e apresentam menor frequência.

Considerando os valores atrás referidos, é possível observar alguma disparidade entre os valores recolhidos e os dados de Sousa e Pires (1998) e pelo contrário existe alguma correspondência quando comparados com Moreira (1999).

No presente trabalho podemos observar que a principal família de fraturação, N10W-N20E é paralela ao sistema de fraturação regional. Esta família é a que apresenta maior importância na área em estudo, sendo paralela à falha de Vila Real.

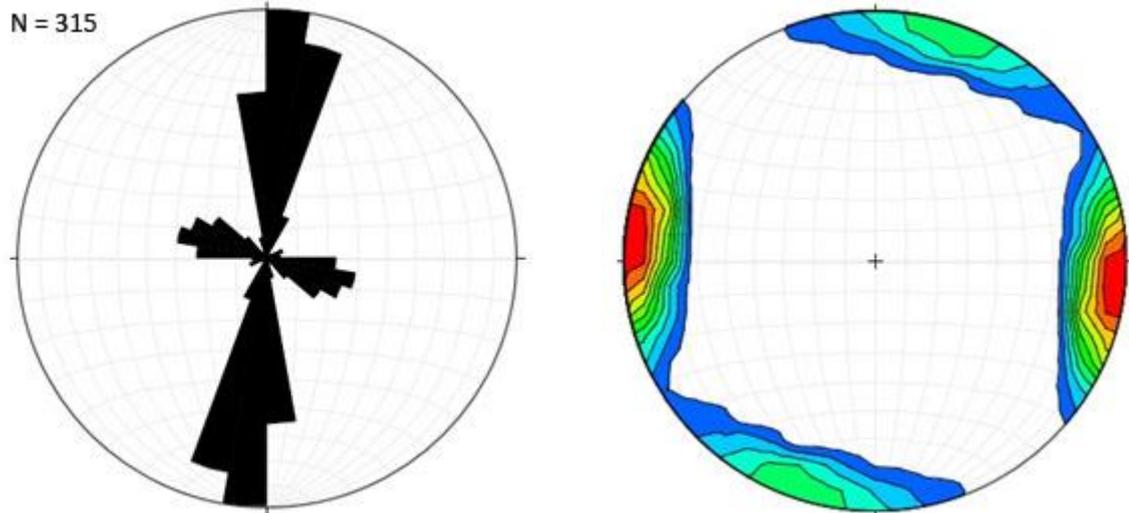


Figura 36 – Diagrama de rosetas do total das direções de fratura medidas na área de Sabroso de Aguiar (n = 315) e respetivo diagrama de densidades.

Como referido, a cobertura vegetal ocultava parte do afloramento, sendo que foram estudados pequenos locais do mesmo. Os diagramas de rosetas para cada um destes encontram-se nas Figuras 37 e 38. Pela observação destas rosetas podemos observar o seguinte: em todos os locais, com a exceção do local 7, é possível visualizar a influência das fraturas com direção N10W-20E (Figura 37). No local 7 a família que apresenta maior significância é a N60-80W, contudo a família N0-20E também assume um papel preponderante.

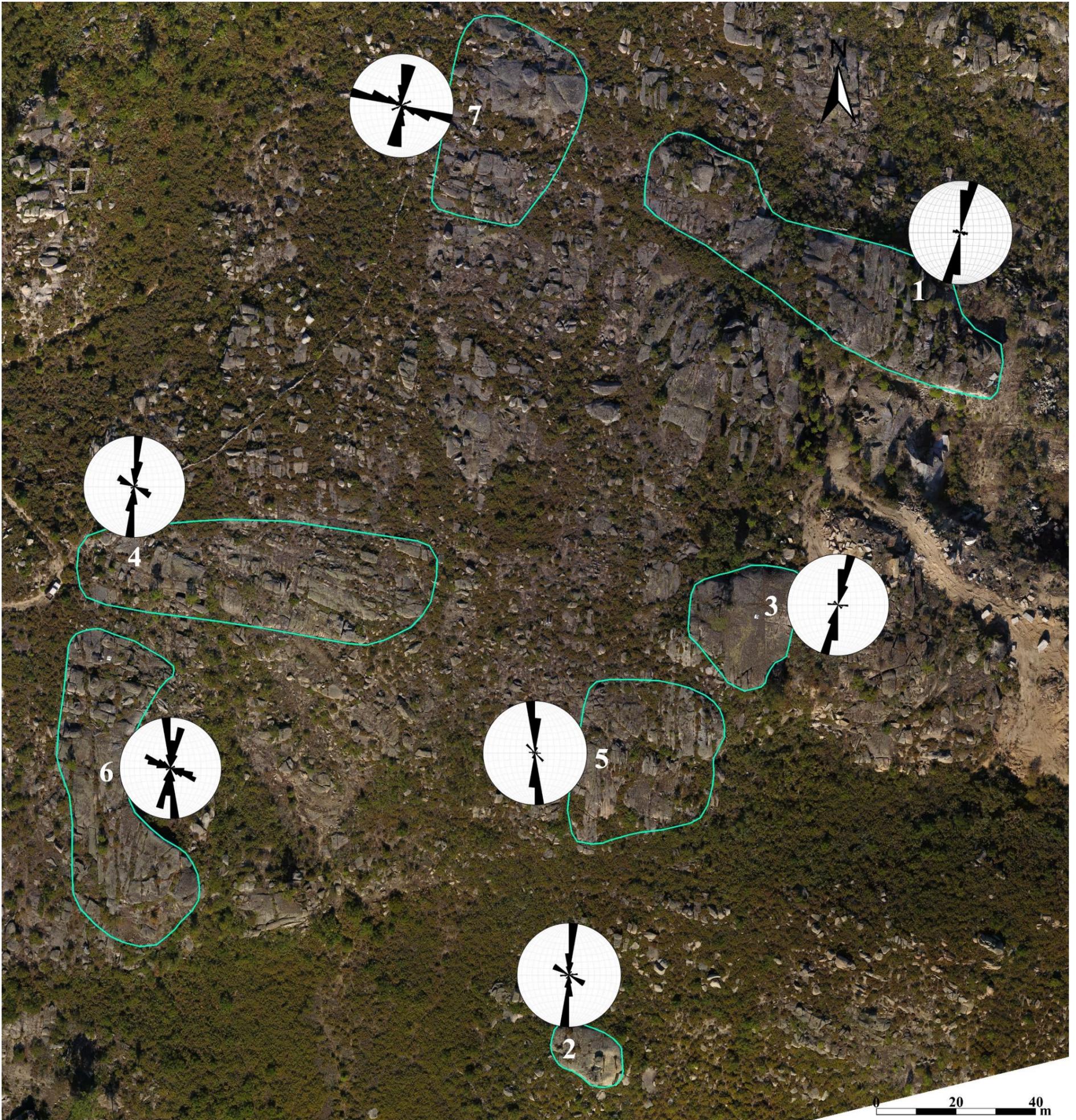
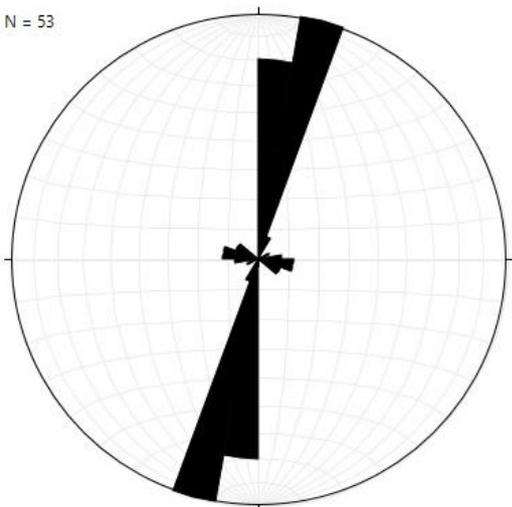


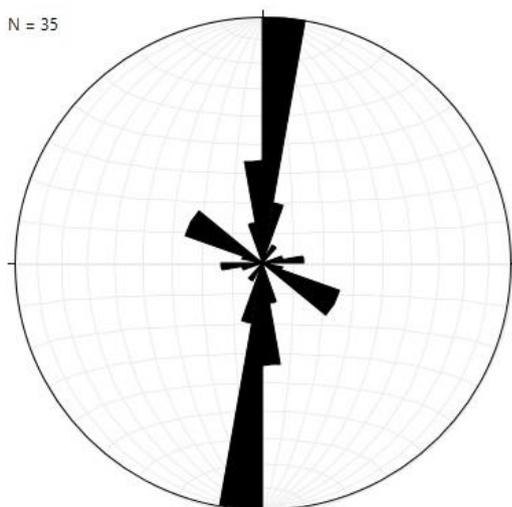
Figura 37- Locais das medições decampo assinaladas com o respetivo diagrama de rosetas na área de Sabroso de Aguiar. Imagem obtida por aeronave não tripulada.

N = 53



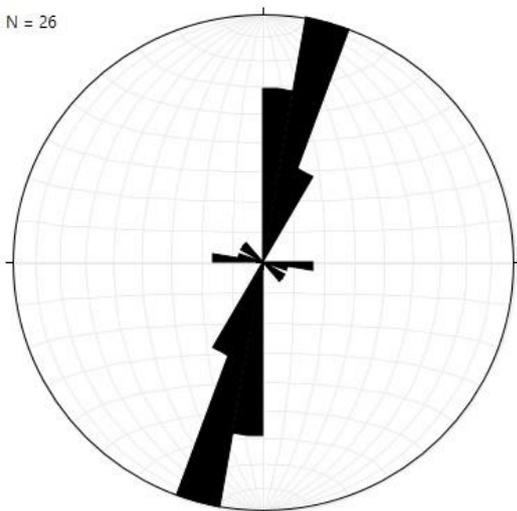
Local 1

N = 35



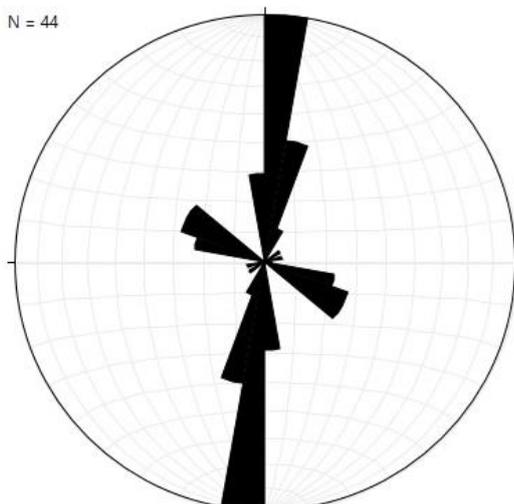
Local 2

N = 26



Local 3

N = 44



Local 4

Figura 38 – Diagrama de rosetas para os locais de amostragem 1 a 4.

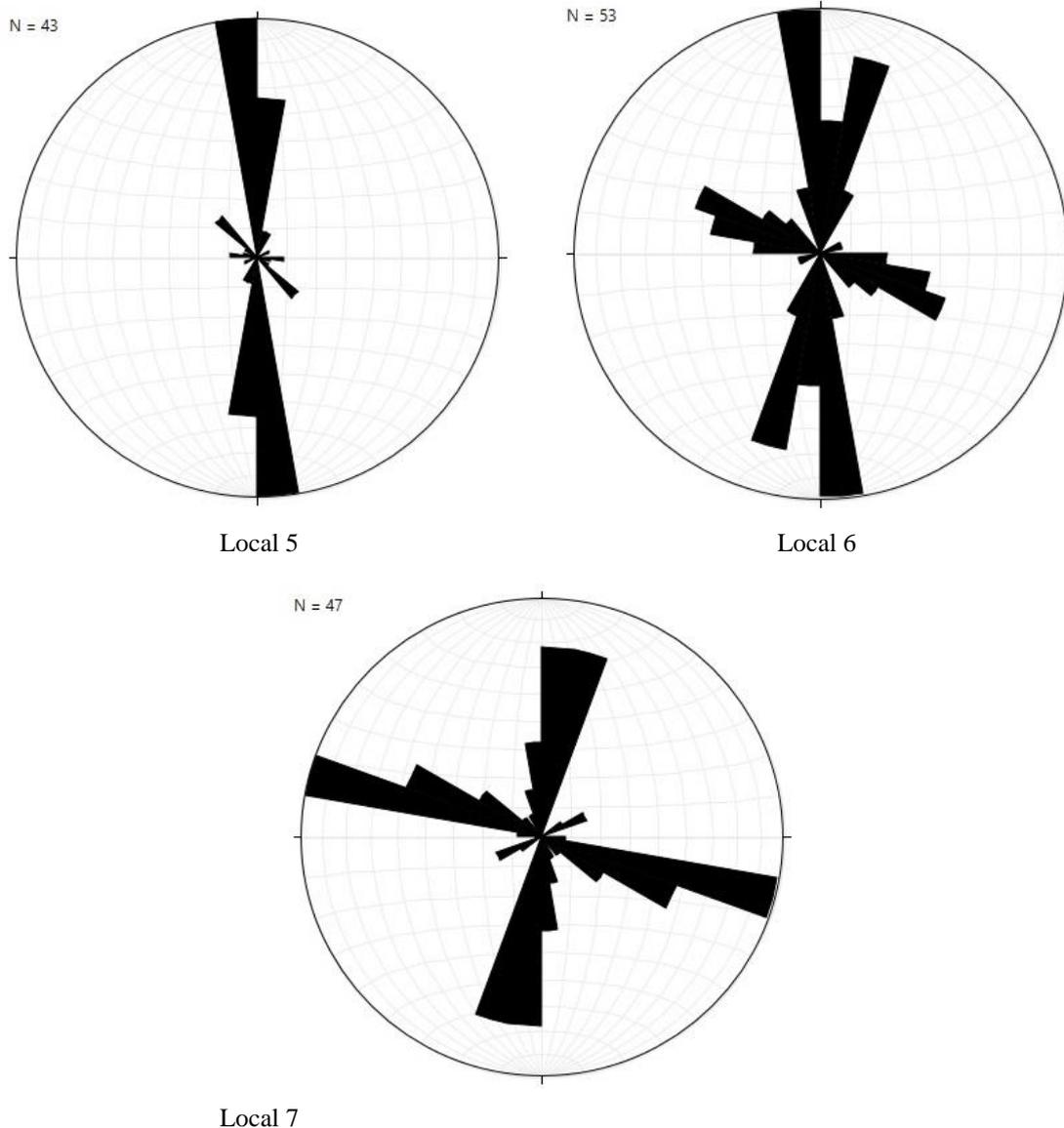


Figura 38 (continuação) – Diagrama de rosetas para os locais de amostragem 5 a 7.

Os valores obtidos sobre o ortomosaico e os recolhidos no campo, não apresentam diferenças significativas, permitindo inferir que este método é viável para o estudo de locais com difícil acesso. Este método, permite também obter informação acerca da inclinação das fraturas, isto porque para além do ortomosaico, obtém-se uma nuvem densa de pontos, sobre a qual se pode identificar planos em termo tridimensionais (direção e pendor).

5.1.2.2 – Estudo do espaçamento e índice volumétrico

A caracterização do espaçamento apenas foi feita para os valores recolhidos no campo. Na Figura abaixo estão representados todos os valores de espaçamento recolhidos. Foram efetuados um total de 220 medições, sendo que as classes mais frequentes correspondem ao intervalo de 0 a 1,5 metros (Figura 39).

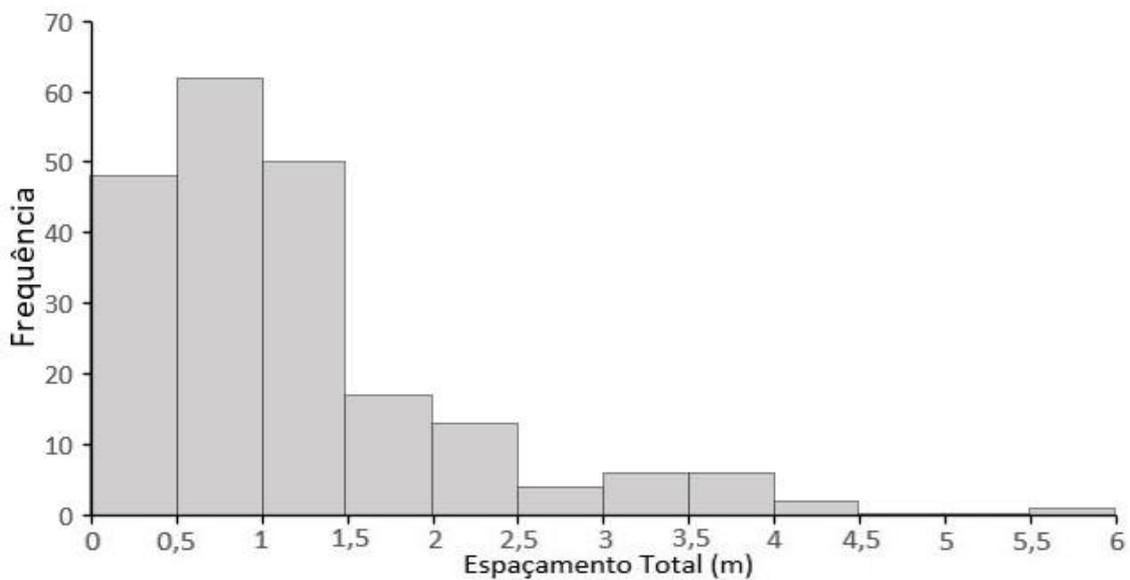


Figura 39 – Histograma dos espaçamentos total da zona de Sabroso de Aguiar.

Na Figura 40, apresentam-se os histogramas para cada local tendo em consideração todos os espaçamentos e famílias de fraturas presentes.

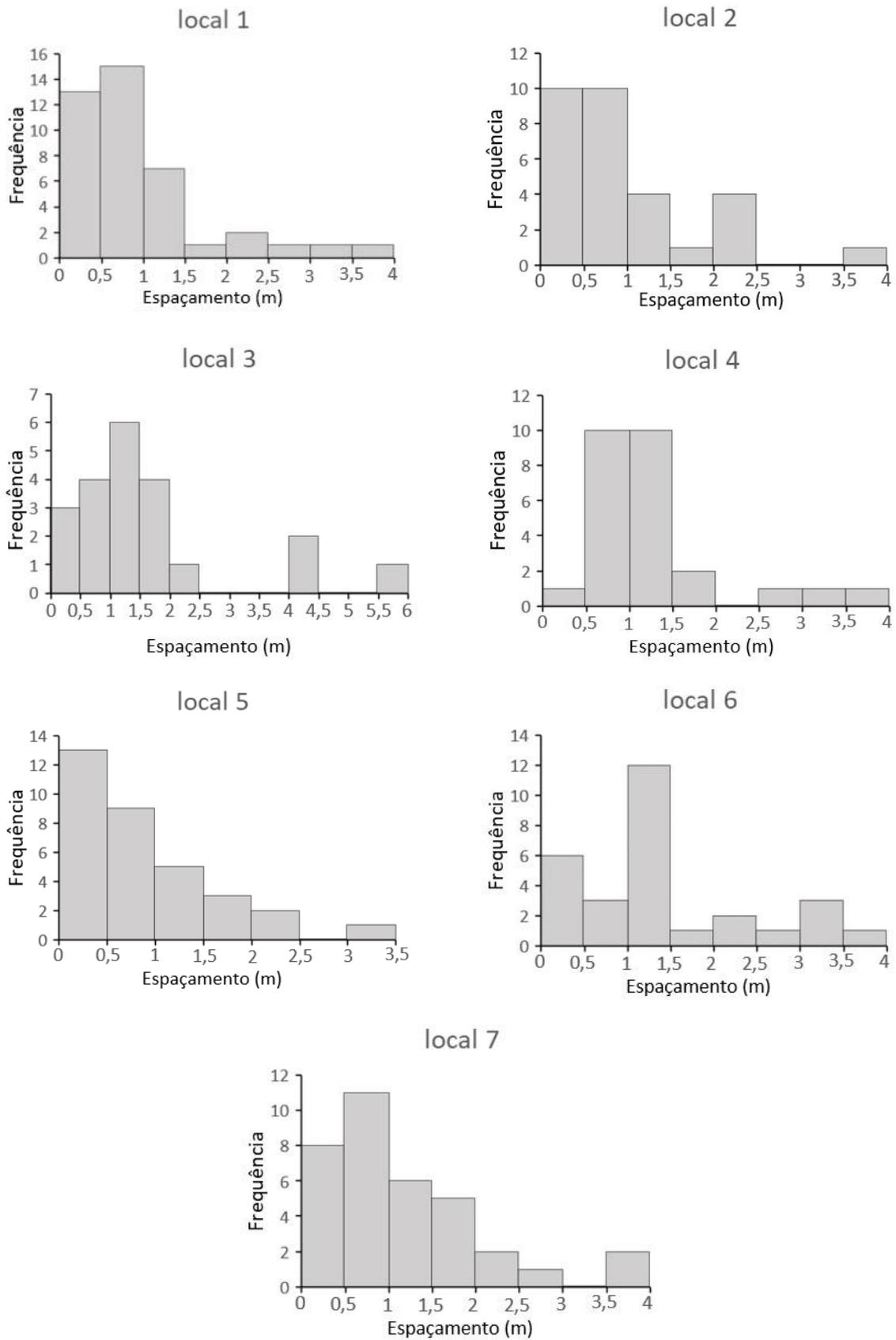


Figura 40 – Histogramas dos espaçamentos para os locais de amostragem 1 a 7.

Destes histogramas podemos concluir que os valores de espaçamento se encontram mais concentrados à esquerda da média. Observa-se também que, todos os locais, com a exceção do local 6, são frequente as classes com espaçamentos mais baixos. Estes valores vão ao encontro dos obtidos nas pedreiras do granito de Pedras Salgadas e dos referidos na bibliografia (Sousa e Pires (1998); Moreira (1999)). É necessário ter em consideração que a obtenção dos dados foi efetuada à superfície, onde a fraturação é mais intensa e com menor espaçamento entre si.

Para cada local foram calculados os valores do espaçamento médio, mínimo e máximo (Tabela 15).

Tabela 15 – Resultados globais dos espaçamentos obtidos nos locais estudados.

Local	n	Média (m)	Mínimo	Máximo
1	40	1,1	0,2	3,9
2	29	1,1	0,3	4
3	21	1,8	0,5	5,8
4	25	1,3	0,6	3,6
5	32	1	0,3	3,2
6	28	1,5	0,2	3,8
7	34	1,3	0,3	3,8

Comparando o número de fraturas com o número de espaçamentos obtidos, podemos observar uma pequena discrepância, sendo que foram observadas 315 fraturas e apenas 220 espaçamentos. Esta diferença de valores deve-se ao facto de nem sempre ser possível efetuar medições entre fraturas da mesma família (pode estar coberto por solo ou material vegetal) e à presença de fraturas aleatórias que não permitem a medição de espaçamentos.

No que diz respeito às características dos espaçamentos, podemos observar que o número destes é menor no local 3, mas apresenta o valor maior de espaçamento médio. Este valor resulta do facto de existir uma menor densidade de fraturação e existirem condicionantes que não permitiram a obtenção de mais dados.

O espaçamento médio das fraturas é de 1,3 m, variando de 1 m (local 5) a 1,8 m (local 3). O espaçamento mínimo foi de 0,2 m, nos locais 2 e 6 e o espaçamento máximo foi de 5,8 m, no local 3.

A média obtida para o local em estudo (1,3 m) é baixa comparando com os valores obtidos por Sousa e Pires (1998), Sousa (2007) e com os resultados obtidos para as pedreiras no presente trabalho, 1,59 m, 1,50 m e 1,60 m respetivamente, para o granito de Pedras Salgadas. Esta diferença deve-se ao facto de os valores obtidos no presente trabalho corresponderem a uma zona mais superficial, onde o granito se encontra mais fraturado e alterado e nos trabalhos realizados pelos autores atrás referidos ter sido feito em pedreiras (onde o material está menos alterado e apresenta menor densidade de fraturação)

Na Tabela 16 apresenta-se os valores do espaçamento médio para cada família em cada local, que permitem obter o valor de J_v . O J_v varia entre 0,9 (local 3) e 2,0 (local 2), sendo o valor médio de 1,5. Segundo Sousa (2007) o J_v apresenta um valor médio de aproximadamente 1,5, para as pedreiras de granito de Pedras Salgadas, similar ao valor obtido no presente trabalho, quer para as pedreiras estudadas quer para a área virgem.

Tabela 16 – Resultados dos espaçamentos médios e do índice de J_v para os locais estudados.

Local	Família de Fraturação	n	Espaçamento médio	J_v
1	N0°-20°E	32	0,8	1,9
	N60°-85°W	8	1,5	
2	N16°W-14°E	20	0,9	2,0
	N56°-78°W	9	1,1	
3	N4°-26°E	19	1,5	0,9
	N74°-86°W	2	4,3	
4	N0°-14°E	15	1,2	1,5
	N52°-78°W	10	1,4	
5	N10°W-22°E	28	0,8	1,7
	N46°-82°W	4	2,1	
6	N22°W-18°E	20	1,4	1,3
	N55°-70°W	8	1,9	
7	N16°W-16°E	15	1,4	1,5
	N60°-80°W	19	1,2	
GLOBAL		209	1,3	1,5

Considerando a caracterização de Garcia (1996), esta área apresenta potencialidade para fornecer blocos grandes com aptidão comercial.

5.2-Modelação da fraturação

5.2.1- 3D-Block Expert

Para a determinação dos blocos *in situ*, foi utilizado o programa 3D-Block Expert (Nikolayew *et al.* 2007; Mosch *et al.* 2011). Este permite a modelação das fraturas numa frente de trabalho, possibilitando obter informações acerca da forma, tamanho e volume dos blocos *in situ* (Mosch *et al.* 2011). Devido à facilidade de introduzir os dados necessários à projeção e os resultados poderem ser obtidos rapidamente, a sua utilização pode ser feita antes da exploração de uma frente de trabalho sem que cause transtorno e demoras nas operações a efetuar.

Para a aplicação do programa 3D BlockExpert é necessário a definição de um ponto origem, a partir do qual são medidas as dimensões do bloco a explorar (X, Y e Z). Este bloco deve possuir a forma de um paralelepípedo, pois caso contrário os valores obtidos não corresponderão ao volume real do mesmo. Os dados referentes às fraturas devem ser obtidos nas faces deste bloco através de três pontos referenciados num sistema de coordenadas (Mosch *et al.* 2011) (Figura 41). Os três pontos medidos, em pelo menos dois planos diferentes, definem um plano que aparece como uma linha com continuidade nas várias faces. Esta característica pode originar erros na determinação do volume a explorar, pois não há a distinção entre fraturas irregulares ou descontínuas e fraturas contínuas.

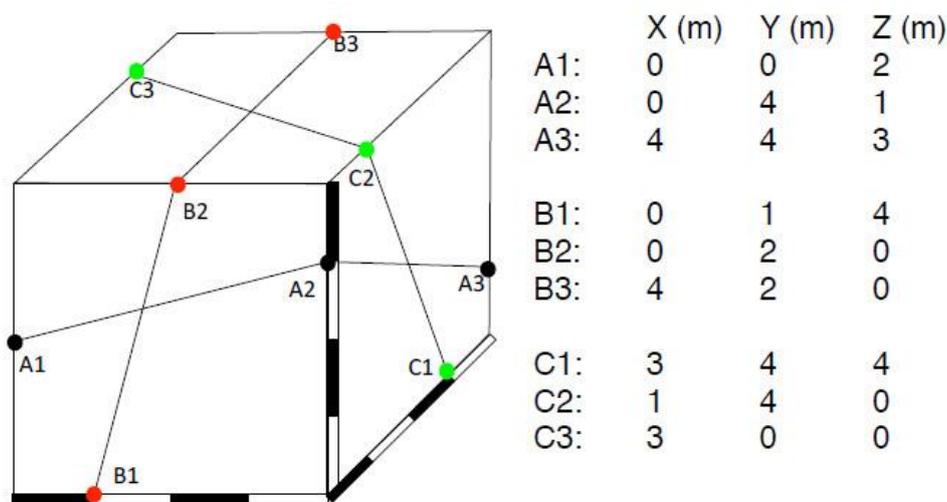


Figura 41 - Exemplo de aquisição de dados por meio de 3 pontos (em cada caso uma coordenada X, Y e Z) para a descrição de um nível no sistema de coordenadas (conforme Mosch S., 2011).

O 3D blockExpert, com a opção “Sections” permite obter uma imagem bidimensional em qualquer uma das direções espaciais do bloco. É assim possível determinar em qualquer direção a distribuição, forma e tamanho dos blocos *in situ*. A opção “Difference” permite ao utilizador definir a espessura desejada para a bancada a tombar/cortar. Esta opção sobrepõe duas imagens e o volume de material que é afetado por fraturas aparece no layout final a preto. Estas manchas, que correspondem a material que não pode ser explorado, é considerado rejeito. Finalmente, com a opção “Optimization”, foram definidos os blocos possíveis a explorar, para posterior transformação.

As pedreiras utilizadas neste estudo pertencem à empresa C&G- Importação e Exportação de Rochas Ornamentais, S.A. (pedreira A), tendo sido medidas 7 frentes de trabalho e à empresa Irmãos Queiroz, Lda. (pedreira B), sendo medidas 2 frentes de trabalho.

Para cada modelação apresenta-se também o número de blocos com 10m^3 originários a partir dos poliedros definidos pela fraturação natural. Neste cálculo não se considera a forma dos poliedros, apenas o volume.

5.2.1.1- Frente A01

As dimensões do bloco A01 são $9,5\text{m} \times 7,55\text{m} \times 9,4\text{m}$ (X, Y, Z, respetivamente). As fraturas observadas no bloco caracterizado ocupam cerca de 11% do volume total a explorar. Definiram-se planos de corte paralelos ao plano YZ, resultando na subdivisão do bloco de maior dimensão em fatias com uma espessura de aproximadamente 3m.

Antes de ser efetuado o corte das bancadas é necessário ter em consideração as fraturas pré-existentes. Estas condicionam, como referido, o aproveitamento geral da frente a explorar. Neste caso os planos de corte podem ser definidos segundo os planos XZ ou YZ. Dada a limitação de espaço disponível optou-se por tombar as bancadas paralelamente ao plano YZ, pois não existe espaço suficiente para trabalhar no plano XZ.

Atendendo a todos estes fatores, foi feito o estudo do bloco inicial, para bancadas com uma espessura de 3 metros, segundo o plano YZ. Foi possível projetar 17 blocos, correspondendo a um aproveitamento de 15,26% ($102,9\text{m}^3$). O tamanho dos blocos foi: $3 \times 2 \times 1,2\text{m}$ (7 blocos); $3 \times 1 \times 1\text{m}$ (4 blocos); $3 \times 2 \times 1,5\text{m}$ (2 blocos); $3 \times 1,5 \times 1\text{m}$ (2 blocos) e $3 \times 1,5 \times 1,5\text{m}$ (2 blocos) (Figura 42).

Os valores reais obtidos pelos operadores de pedreira correspondem a um aproveitamento de apenas 8,33%, correspondendo esta percentagem a 8 blocos que ocupam um volume total de 56,17m³.

Nesta frente de trabalho foram identificados filões/filonetes. Apesar de não serem fraturas, correspondem a um ponto de fraqueza e influenciam o valor estético do material. Assim, aquando da exploração todo o material próximo e afetado por estes foi rejeitado. Outro aspeto a referir é o facto de os poliedros definidos pelas fraturas nem sempre permitem a obtenção de blocos com dimensões comerciais apesar de possuírem um volume elevados, devido à sua forma muito irregular. Esta situação é comum e verifica-se nos casos seguintes.

Não tendo em consideração a forma dos poliedros definidos pelas fraturas e apenas considerando o tamanho dos mesmos, é possível a obtenção de 58 blocos com 10m³. Este valor corresponderia a um aproveitamento de 69,87%.

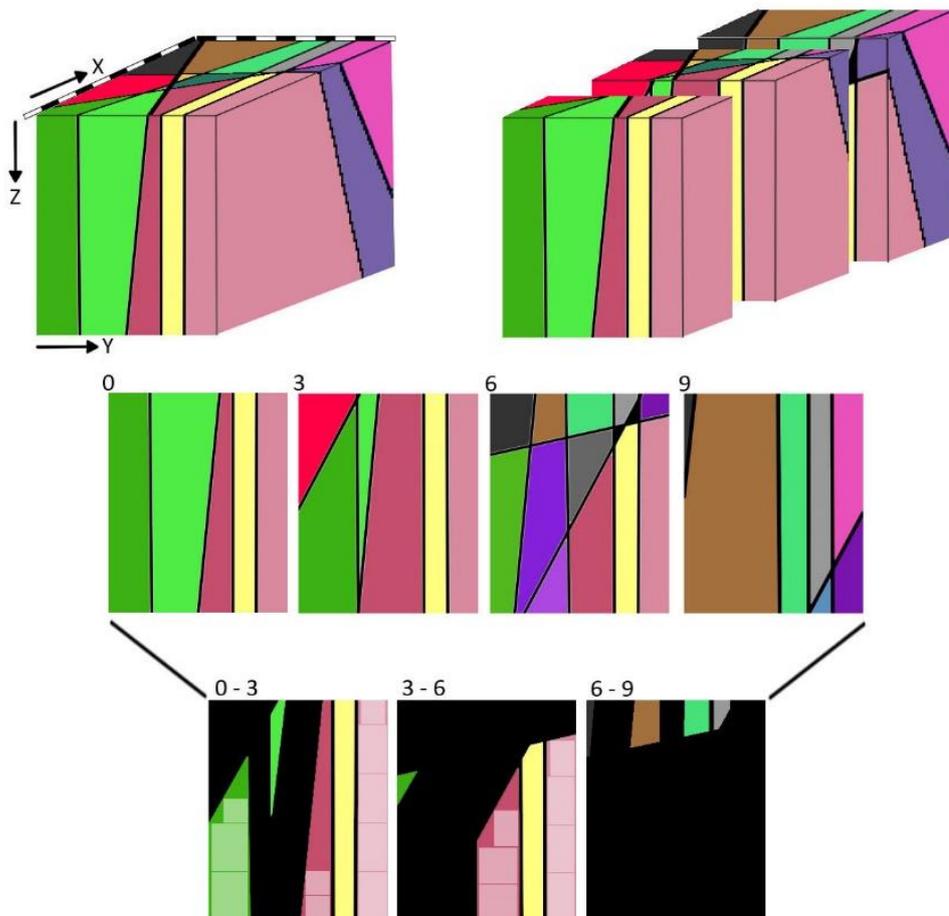


Figura 42 – Modelação da frente de trabalho A01, correspondente à pedra C&G, com as seguintes dimensões: 9,5m×7,55m×9,4m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ.

5.2.1.2- Frente A02

As dimensões do bloco A02 são: 9,5m×7,50m×9,4m (X, Y, Z, respetivamente), correspondendo a um volume total de 669,75m³. No bloco foram observadas 2 fraturas que ocupam 2,2% do volume total. O cálculo de blocos possíveis de serem extraídos foi determinado em dois planos diferentes do bloco principal. Esta análise foi feita segundo os planos XZ e YZ.

Otimizando o plano YZ, foi possível obter 29 blocos com as seguintes dimensões: 3×1,9×1,6m (20 blocos); 3×1,9×1,4m (3 blocos) e 3×1×1m (6 blocos). Estes correspondem a um aproveitamento de 33,5% (224,34m³). O plano XZ permite obter 74 blocos com as seguintes dimensões: 3,25×1,9×1,6m (20 blocos); 3,25×1,9×1,4m (5 blocos); 3,25×1×1m (5 blocos); 2,25×1,9×1,6m (18 blocos); 2,25×1,9×1,4m (2 blocos); 2,25×1×1m (4 blocos); 2×1,9×1,6m (19 blocos) e 2×1,9×1,3m (1 bloco) (Figura 43). Estes correspondem a 521,63m³, sendo o aproveitamento de 77,88%.

O volume total extraído na pedreira corresponde a 45,38% (303,9m³) do volume do bloco inicial, tendo sido extraídos um total de 44 blocos. Apesar de o plano usado (XZ) para tombar as bancadas ter sido o mesmo, observa-se uma grande diferença nos valores. Esta diferença deve-se ao facto de considerarmos que os blocos definidos pelas fraturas correspondem a rocha intacta, o que nem sempre acontece. Durante a subdivisão dos blocos maiores são por vezes evidenciadas fraturas ocultas (não consideradas na modelação) que afetam o aproveitamento do granito. Um outro fator que afeta o aproveitamento durante a subdivisão dos blocos, é a presença de muitos planos que definem uma geometria complexa. Quando os blocos apresentam forma muito irregular, o número de cortes para se obter um bloco aceitável é elevado, tornando-se um trabalho dispendioso. Quando isto acontece, usualmente o material é aproveitado para outros fins e não para a obtenção de blocos comerciais.

O volume máximo possível de ser extraído, no caso de a fraturação idealmente coincidir com os planos de corte, seria de 65 blocos com 10m³ cada. Este valor corresponderia a um aproveitamento de 97,05%.

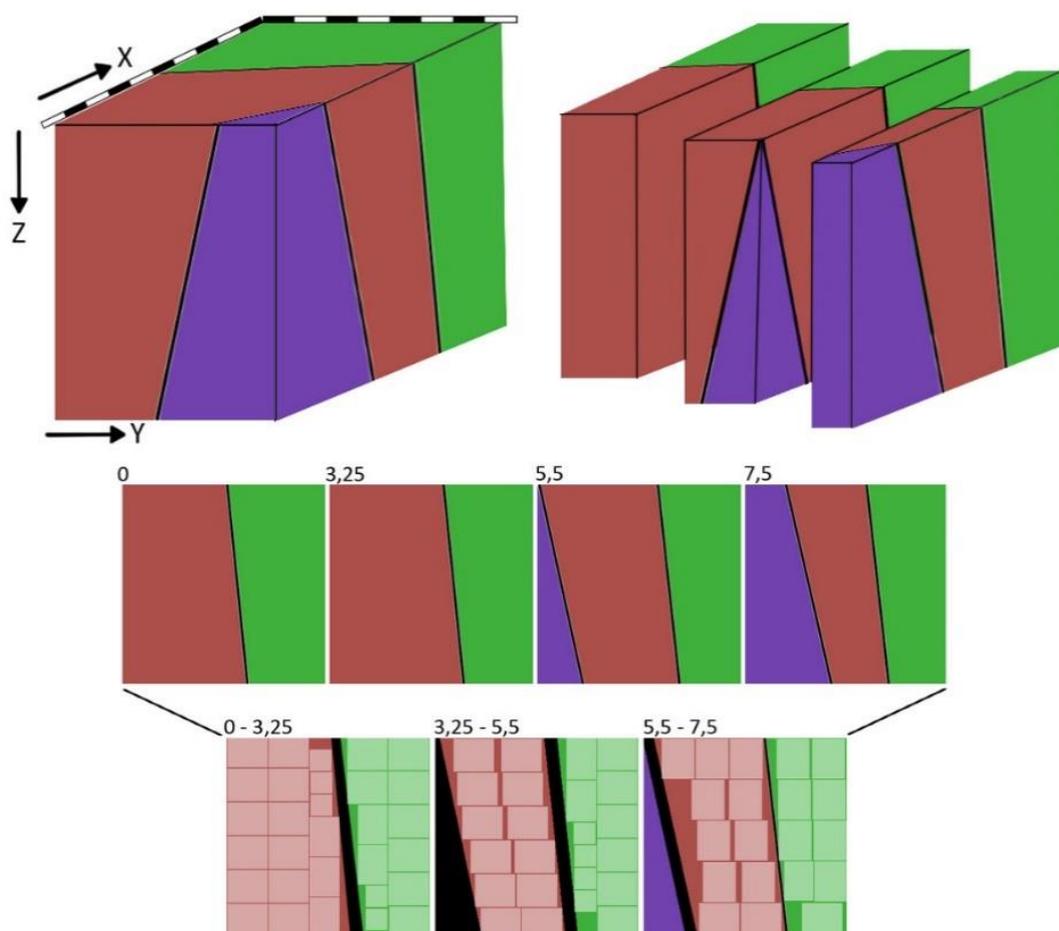


Figura 43 – Modelação da frente de trabalho A02, correspondente à pedra C&G, com as seguintes dimensões: 9,5m×7,50m×9,4m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ.

5.2.1.3- Frente A03

O bloco A03 possui $7,8\text{m}\times 6,50\text{m}\times 9,6\text{m}$ (X, Y, Z, respetivamente), correspondendo a um volume total de $486,72\text{m}^3$. As fraturas ocupam 2,4% de todo o volume a explorar. Tal como no caso anterior, foram considerados ambos os planos, XZ e YZ, para o estudo do aproveitamento teórico.

No plano YZ foi possível determinar um total de 31 blocos, com as seguintes dimensões: $3\times 2\times 1,65\text{m}$ (24 blocos) e $3\times 2\times 1,3$ (7 blocos). Estes blocos ocupam um volume de $292,2\text{m}^3$ correspondendo a um aproveitamento de 60%. O plano XZ permite obter 33 blocos, com as seguintes dimensões: $3\times 2\times 1,65\text{m}$ (21 blocos); $3\times 2,5\times 1,65\text{m}$ (10 blocos); $3\times 2,5\times 1,4\text{m}$ (2 blocos) e apresentam um volume de $331,65\text{m}^3$, sendo o aproveitamento de 68,14% (Figura 44).

Nas operações de lavra realizadas na pedreira, o plano escolhido para servir de frente de exploração foi o XZ. Foram obtidos 44 blocos que ocupam um volume de $305,7\text{m}^3$, correspondendo a 62,8% do volume do bloco inicial. Comparando os valores reais com os obtidos, podemos observar que o volume e o aproveitamento são semelhantes, mas o número de blocos é diferente. Isto deve-se ao facto de os blocos projetados possuírem dimensões mais elevadas do que os realmente obtidos.

O volume total definido pelos poliedros gerados, permite a obtenção de 47 blocos com 10m^3 cada. Este valor corresponderia a um aproveitamento de 96,56%.

Durante os trabalhos na pedreira nem sempre é possível aproveitar na integridade o bloco inicial. Quando se modela o aproveitamento, não se tem em consideração que as bancadas ao tombarem podem partir ou lascar. Estes aspetos influenciam os trabalhos quando se está a fazer o esquadreamento das bancadas tombadas, obrigando os operários a definirem os blocos a extrair com o material disponível.

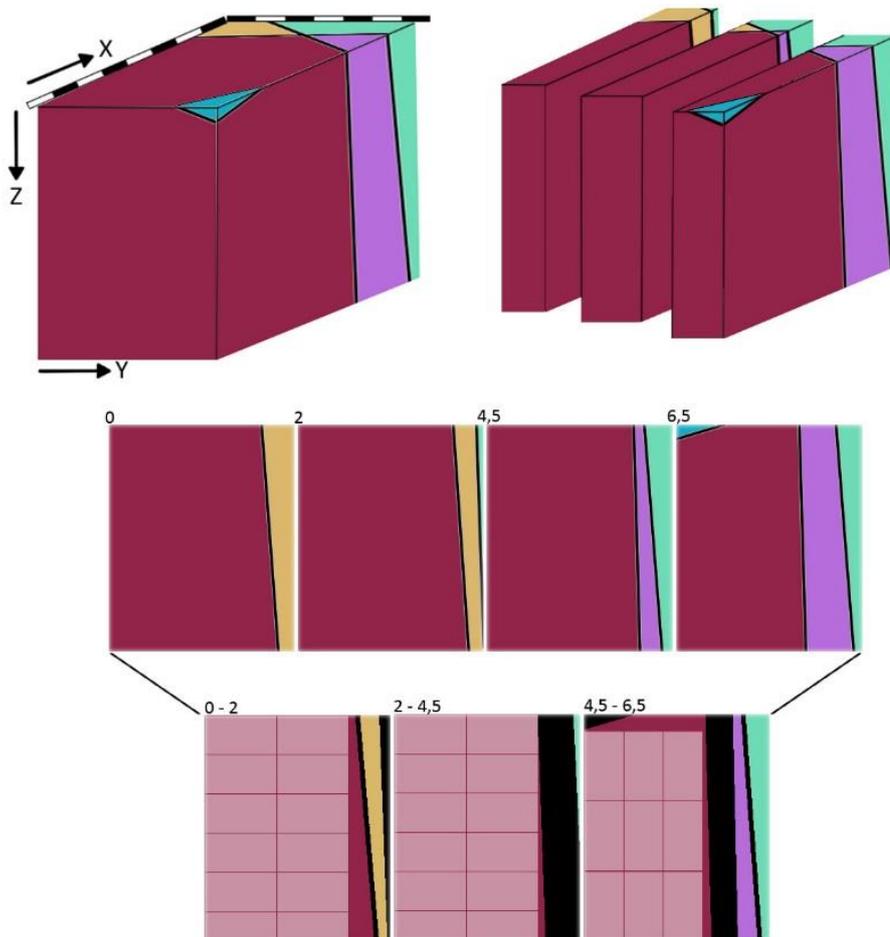


Figura 44 – Modelação da frente de trabalho A02, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 7,8m×6,50m×9,6m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.

5.2.1.4- Frente A04

O bloco A04 possui $14,5\text{m} \times 7,50\text{m} \times 9,7\text{m}$ (X, Y, Z, respetivamente), correspondendo a um volume total de $1054,88\text{m}^3$ (Figura 45). As fraturas observadas ocupam 3,2% de todo o volume a explorar. Neste caso e atendendo à direção das fraturas, foi feita uma abordagem diferente. Para o plano YZ a primeira fatia foi definida usando a primeira fratura paralela ao plano XZ (correspondendo a 1,9m de espessura), a segunda, terceira e quartas fatias apresentam uma espessura de 3m, 3m e 4,6m, respetivamente. A última, não apresenta condições de ser explorada para blocos e é considerada totalmente como rejeito.

Executando o corte paralelamente ao plano YZ foi possível projetar 77 blocos com as seguintes dimensões: $3,2 \times 1,9 \times 1,6\text{m}$ (12 blocos); $3,2 \times 1,9 \times 1,2\text{m}$ (3 blocos); $3 \times 2 \times 1,65$ (48 blocos); $3 \times 2 \times 0,9\text{m}$ (8 blocos); $3 \times 1,5 \times 1,5\text{m}$ (2 blocos); $3 \times 2 \times 1,4\text{m}$ (2 blocos) e $3 \times 1,5 \times 1\text{m}$ (2 blocos). Estes correspondem a um volume de $696,32\text{m}^3$, cerca de 66% do volume total. O plano XZ permitiu obter um total de 78 blocos, com as seguintes dimensões: $3,2 \times 1,9 \times 1,6\text{m}$ (72 blocos); $3,2 \times 1,9 \times 1,2\text{m}$ (4 blocos) e $3,2 \times 1,9 \times 1\text{m}$ (2 blocos) (Figura 45). Estes correspondem a 70,32% ($741,76\text{m}^3$) do volume a explorar. Neste plano, como as bancadas apresentavam uma espessura muito elevada, cada bloco representado na Figura, corresponde na realidade a 2 blocos.

Os valores reais obtidos, correspondem a um aproveitamento de 46,28% ($488,16\text{m}^3$), tendo sido explorados 66 blocos. Estas diferenças de valor ocorrem, pois é fácil projetar blocos com dimensões ideais no programa, mas a realidade é quase sempre diferente devido às razões atrás apontadas.

Os poliedros definidos no programa que apresentam um volume superior a 10m^3 , permitem obter 102 blocos com 10m^3 . Este valor teórico corresponderia a um aproveitamento de 96,69%.

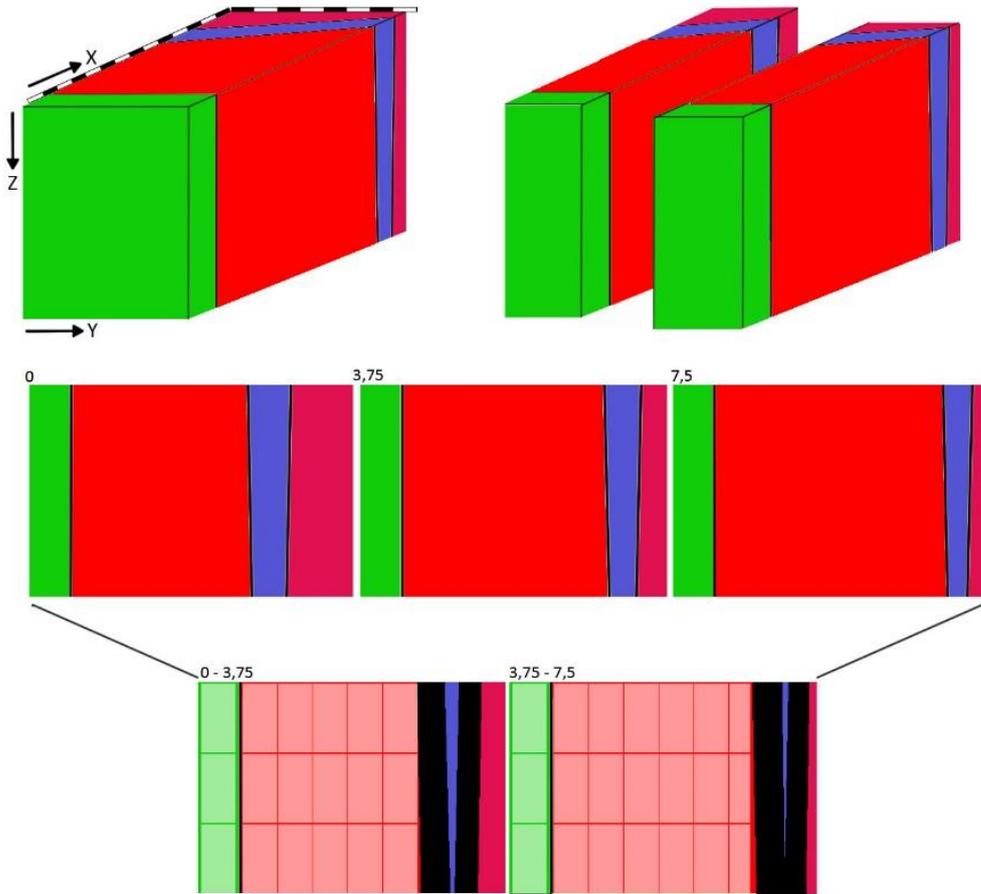
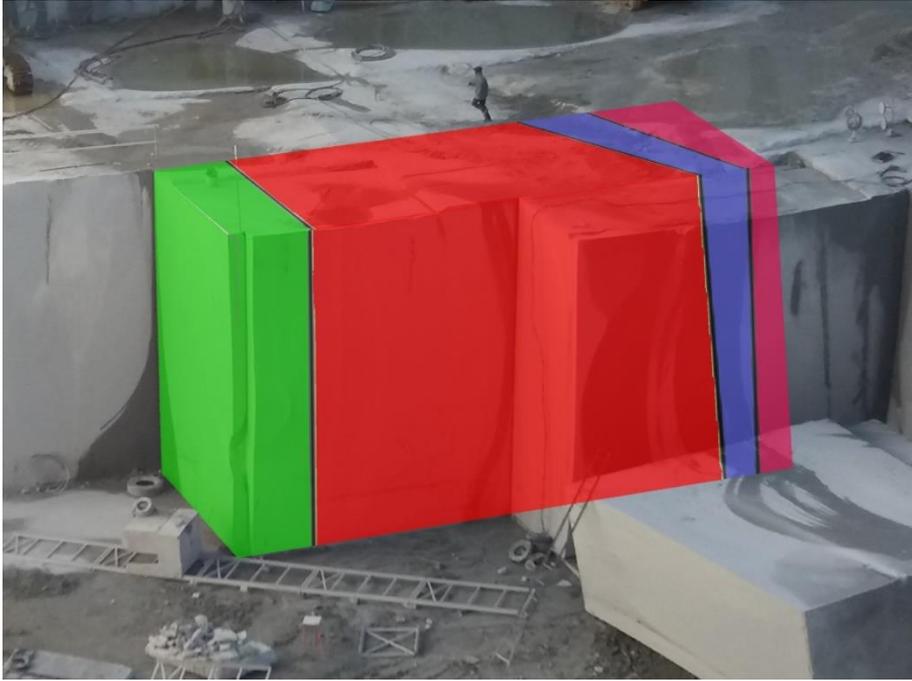


Figura 45 – Modelação da frente de trabalho A04, correspondente à pedra C&G, com as seguintes dimensões: 14,5m×7,50m×9,7m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.

5.2.1.5- Frente A05

O bloco A05 possui $8,4\text{m} \times 5,3\text{m} \times 9,3\text{m}$ (X, Y, Z, respectivamente), correspondendo a um volume total de $414,04\text{m}^3$. As fraturas observadas ocupam aproximadamente 4,8% de todo o volume a explorar.

Segundo o plano XZ foi possível obter 33 blocos com as seguintes dimensões: $2,65 \times 1,9 \times 1,6\text{m}$ (19 blocos) e $2,65 \times 1 \times 1\text{m}$ (14 blocos). Estes blocos ocupam um volume de $190,16\text{m}^3$, correspondendo a 45,93% do bloco inicial (Figura 46).

Na pedreira foram obtidos 12 blocos, com um volume de $90,92\text{m}^3$, cerca de 21,96% do bloco inicial. Este valor é inferior ao projetado no programa 3D-Block Expert, pois foram considerados blocos com apenas $2,65\text{m}^3$. Este tipo de blocos raramente é explorado, pois não é economicamente viável para o tipo de rocha em estudo. Contudo o volume de material daí resultante pode ser submetido a transformação na pedreira, sendo aproveitado para a produção de peças menores, como cubo, lancil, etc.

Não considerando a forma dos poliedros definidos pelas fraturas e apenas considerando o volume dos mesmos, é possível a obtenção de 37 blocos com 10m^3 cada. Este valor corresponderia a um aproveitamento de 89,36%.

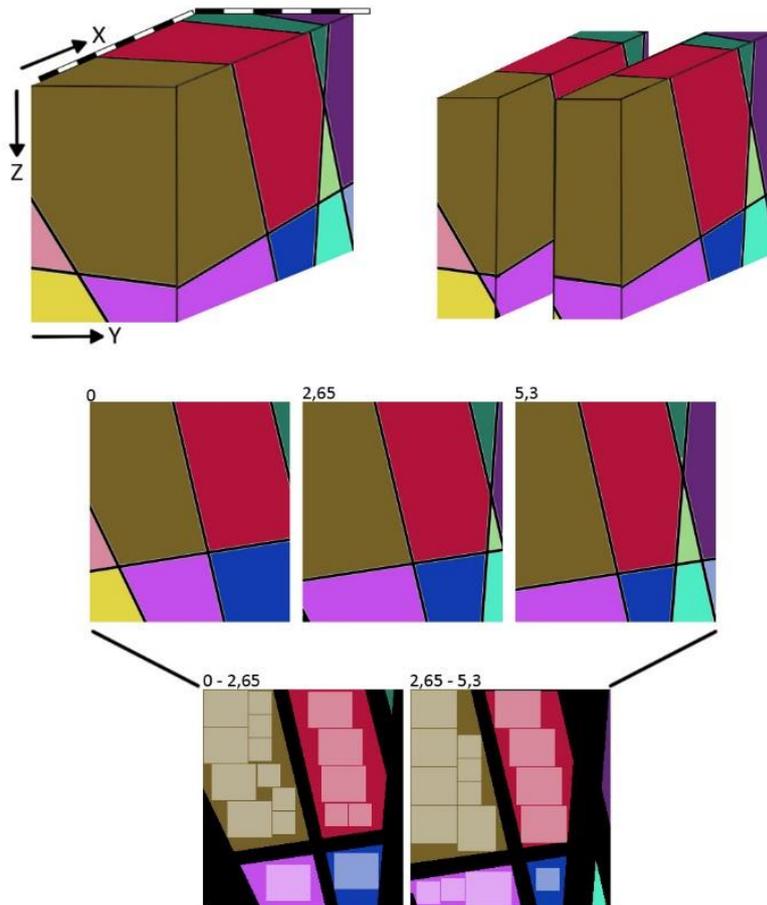
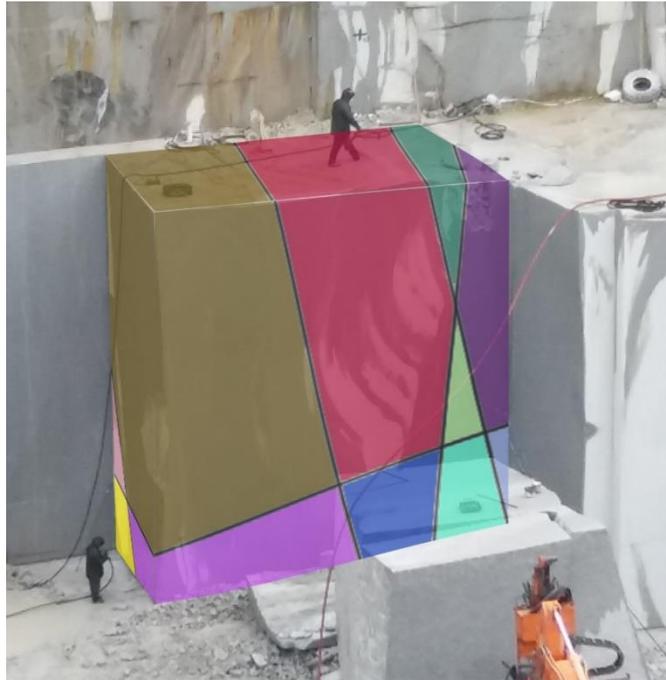


Figura 46 – Modelação da frente de trabalho A05, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 8,4m×5,3m×9,3m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.

5.2.1.6- Frente A06

O bloco A06 possui $9,3\text{m}\times 7,90\text{m}\times 9,6\text{m}$ (X, Y, Z, respetivamente), correspondendo a um volume total de $705,3\text{m}^3$. As fraturas observadas ocupam 3,8% de todo o volume a explorar.

A determinação teórica do número de blocos possível de extrair foi feita segundo o plano YZ. Foram projetados 41 blocos, com as seguintes dimensões: $3\times 2\times 1\text{m}$ (1 bloco); $3\times 1,9\times 1,6\text{m}$ (33 blocos); $3\times 1,5\times 1,5\text{m}$ (2 blocos) e $3\times 1\times 1\text{m}$ (5 blocos) (Figura 47). Estes blocos correspondem a um volume de $335,46\text{m}^3$, o que corresponde a um aproveitamento de 47,56% do bloco inicial (Figura 47).

Na pedreira foram extraídos 28 blocos, que correspondem a 26,69% do bloco inicial ($188,22\text{m}^3$). Se observarmos as imagens obtidas, prevê-se que a última bancada tombada possua um aproveitamento próximo dos 100%. Contudo, ao tombar a fatia, grande parte do volume explorável ficou inutilizado devido à presença de uma fratura. Este tipo de fraturas, apesar de não muito frequentes, não são observáveis na frente de trabalho e, como tal, não são consideradas na modelação.

O rendimento teórico máximo para blocos com 10m^3 seria de 95%, correspondendo a 67 blocos.

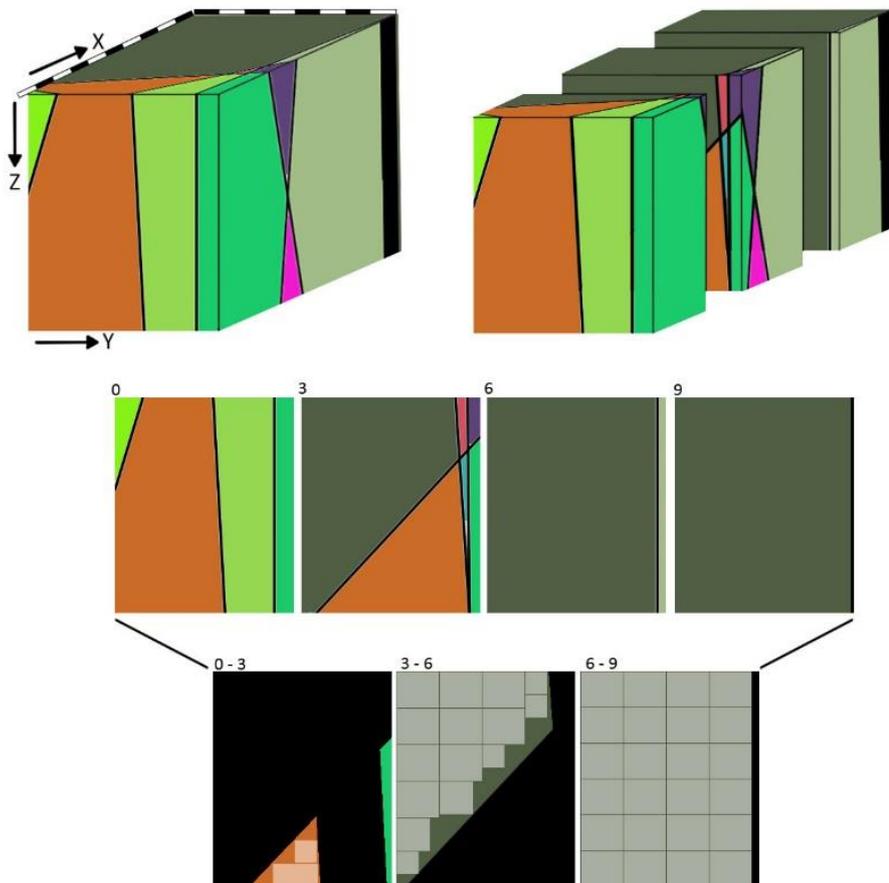
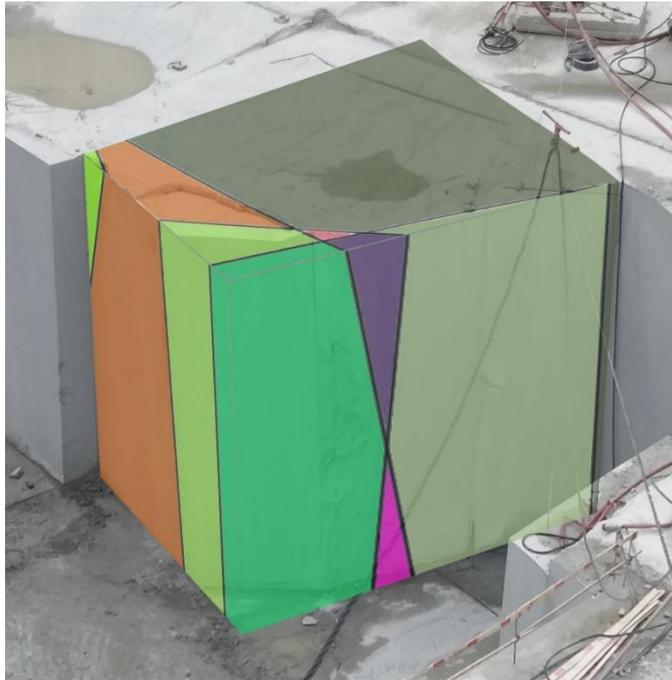


Figura 47 – Modelação da frente de trabalho A06, correspondente à pedreira C&G, com as seguintes dimensões: 9,3m×7,90m×9,6m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ.

5.2.1.7- Frente A07

O bloco A07 possui $8,7\text{m}\times 9,5\text{m}\times 10\text{m}$ (X, Y, Z, respectivamente), correspondendo a um volume total de $826,5\text{m}^3$. No bloco as fraturas observadas ocupam cerca de 2,6% de todo o volume a explorar.

Foram definidas duas frentes de trabalho possíveis, uma paralela ao plano XZ e outra paralela ao plano YZ. Segundo o plano YZ foi possível projetar 52 blocos com um volume de $411,74\text{m}^3$, sendo possível aproveitar 49,82% do material. Estes blocos apresentam as seguintes dimensões: $3\times 1,8\times 1,6\text{m}$ (37 blocos); $3\times 2\times 1\text{m}$ (2 blocos); $3\times 1,15\times 1,5\text{m}$ (1 bloco); $3\times 1\times 1\text{m}$ (1 bloco); $2,7\times 1,8\times 1,6$ (8 blocos) e $2,7\times 1\times 1\text{m}$ (1 bloco). Considerando o plano XZ, é possível projetar 40 blocos, tendo um volume total de $324,6\text{m}^3$, correspondendo a um aproveitamento de 39,27%. As suas dimensões são: $3,2\times 1,8\times 1,6$ (20 blocos); $3,2\times 1\times 1$ (6 blocos); $3,1\times 1,8\times 1,6$ (12 blocos) e $3,1\times 1,5\times 1,5$ (2 blocos) (Figura 48).

Na pedreira, o aproveitamento foi de 33%, correspondendo a $272,8\text{m}^3$, tendo extraídos 37 blocos com volumes que variam de $3,6\text{m}^3$ a 10m^3 . O sentido de exploração desta frente de trabalho foi segundo o plano XZ e comparando estes valores reais com os teóricos observa-se que a diferença não é acentuada. Contudo, se o sentido de exploração tivesse sido efetuado paralelamente ao plano YZ, era possível obter blocos com dimensões mais elevadas e em maior número.

Não tendo em consideração a forma dos poliedros definidos pelas fraturas e apenas considerando o tamanho dos mesmos, é possível a obtenção de 79 blocos com 10m^3 cada. Este valor corresponderia a um aproveitamento de 95,58%.

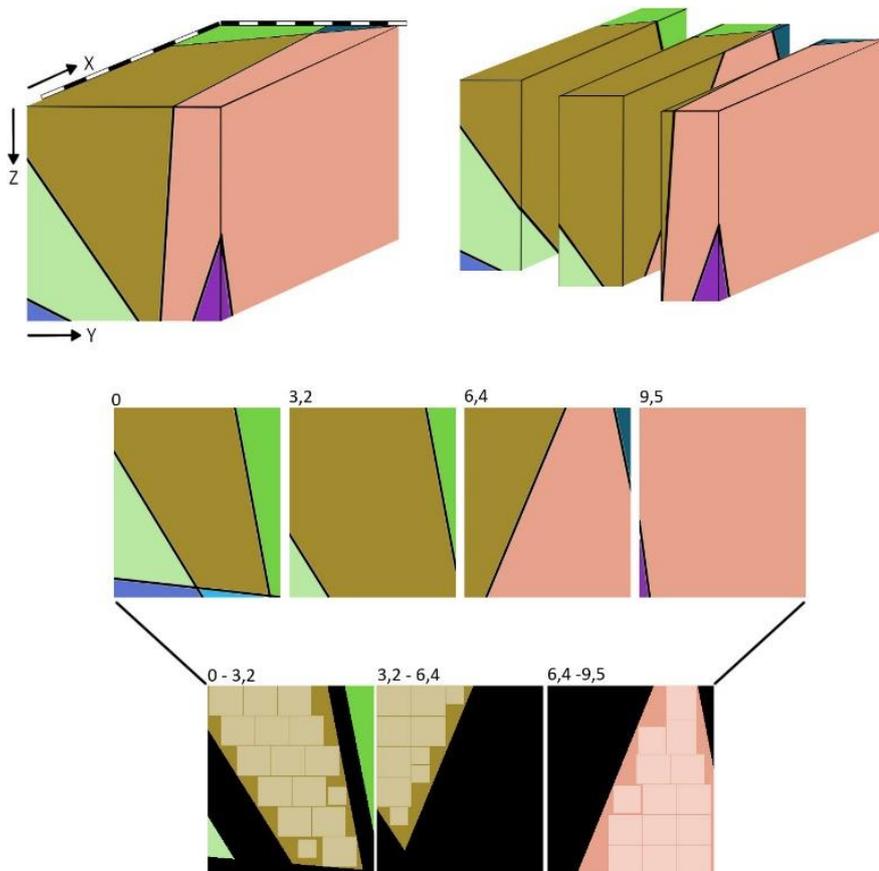
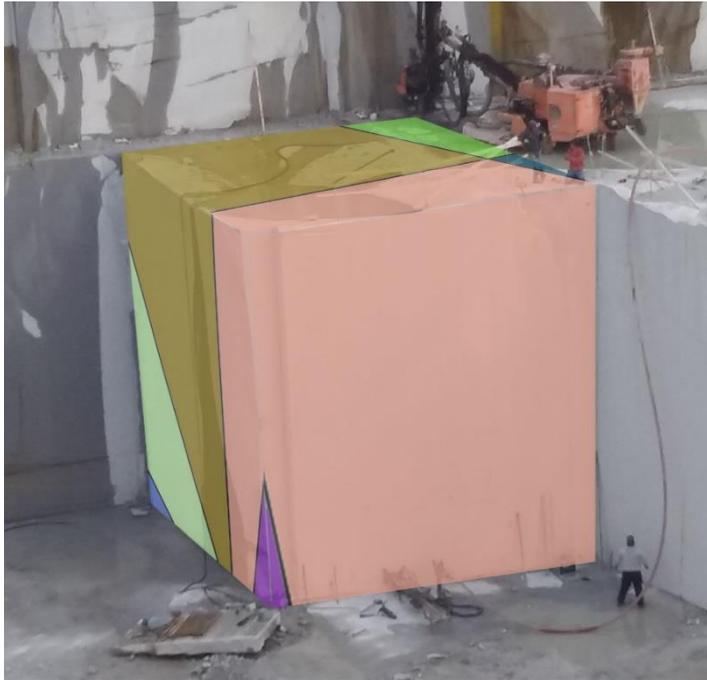


Figura 48 – Modelação da frente de trabalho A07, correspondente à pedra C&G, com as seguintes dimensões: 8,7m×9,5m×10m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.

5.2.1.8- Frente B01

O bloco B01 possui $8\text{m}\times 13,7\text{m}\times 9,7\text{m}$ (X, Y, Z, respetivamente), correspondendo a um volume total de $1063,12\text{m}^3$. As fraturas observadas ocupam cerca de 4,8% de todo o volume a explorar.

A frente de trabalho definida é paralela ao plano YZ. Segundo este plano é possível projetar 82 blocos com um volume de $671,10\text{m}^3$, sendo possível aproveitar 63,1% do material. Estes blocos apresentam as seguintes dimensões: $3\times 2\times 1,6\text{m}$ (22 blocos); $3\times 2\times 1\text{m}$ (8 blocos); $2,6\times 2\times 2\text{m}$ (2 blocos); $3\times 2\times 1,4\text{m}$ (4 blocos); $2\times 1,6\times 1,6$ (3 blocos); $3\times 2,2\times 1,6\text{m}$ (11 blocos); $3\times 2,2\times 1\text{m}$ (4 blocos); $2,6\times 2,2\times 2\text{m}$ (1 bloco); $3\times 2,2\times 1,4\text{m}$ (2 blocos); $2,2\times 1,6\times 1,6$ (2 blocos); $3\times 1,8\times 1,6\text{m}$ (12 blocos); $3\times 1,8\times 1\text{m}$ (4 blocos); $2,6\times 1,8\times 2\text{m}$ (1 bloco); $3\times 1,8\times 1,4\text{m}$ (2 blocos) e $1,8\times 1,6\times 1,6$ (4 blocos) (Figura 49).

O volume dos poliedros definidos pelas fraturas permite a obtenção de 100 blocos com 10m^3 cada, correspondendo a um aproveitamento de 94,1%.

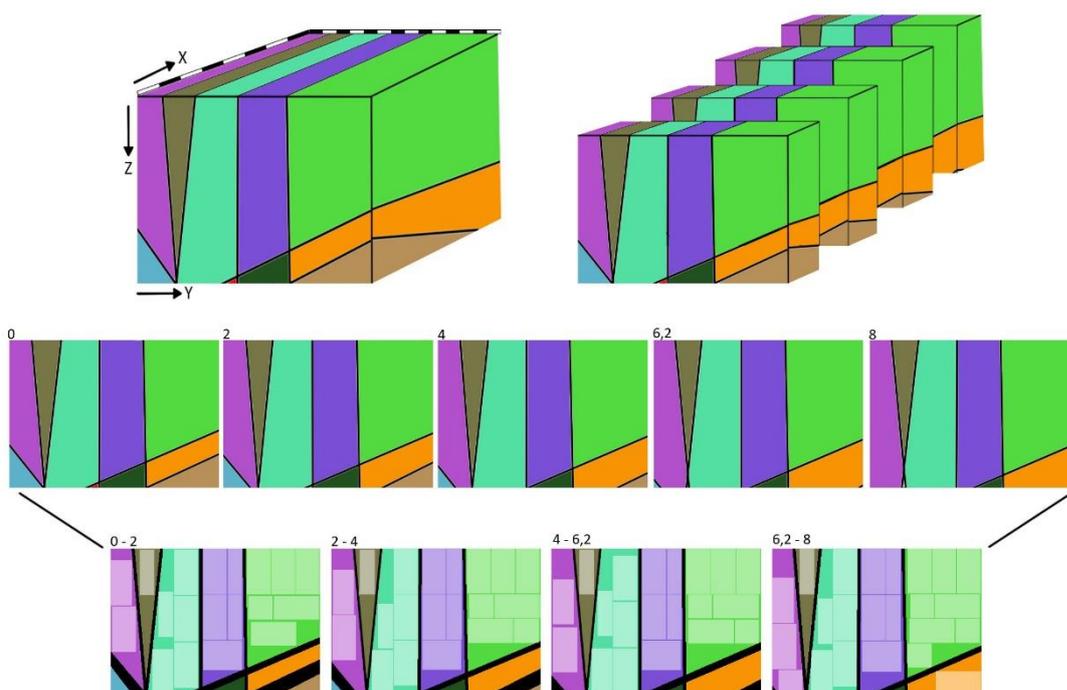
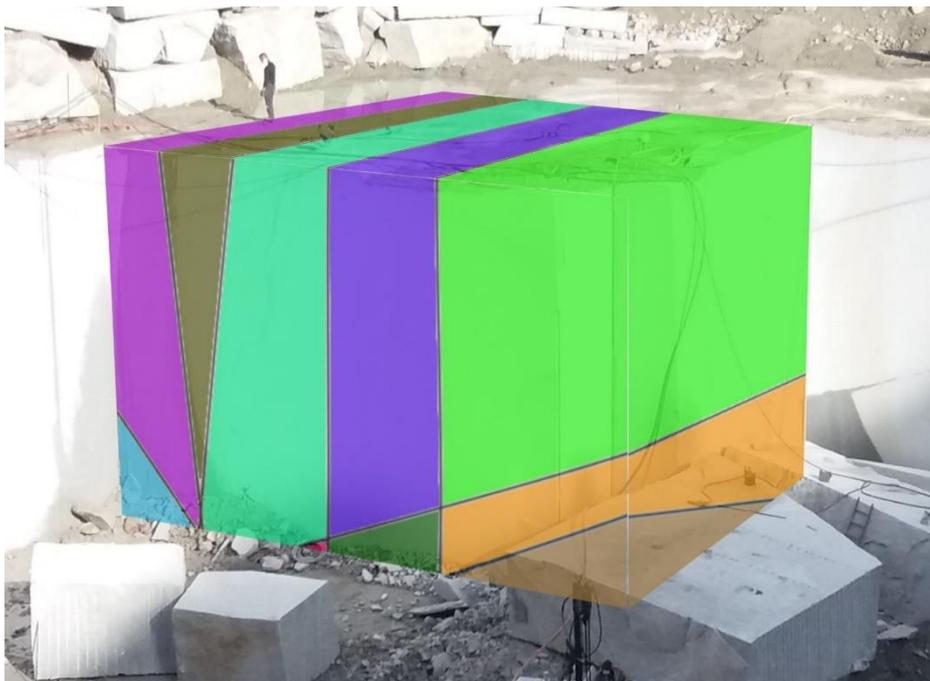


Figura 49 – Modelação da frente de trabalho B01, correspondente à pedreira Irmãos Queirós, com as seguintes dimensões: $8\text{m} \times 13,7\text{m} \times 9,7\text{m}$ (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano XZ.

5.2.1.9- Frente B02

O bloco B02 possui $2,3\text{m}\times 8,25\text{m}\times 9,7\text{m}$ (X, Y, Z, respectivamente), correspondendo a um volume total de $184,1\text{m}^3$. As fraturas observadas ocupam cerca de 4,8% de todo o volume a explorar.

A frente de trabalho para o cálculo teórico do número de blocos possíveis de extrair foi definida segundo o plano YZ. Segundo este plano foi possível projetar 14 blocos com um volume de $89,1\text{m}^3$, sendo possível aproveitar 48,4% do material. Estes blocos apresentam as seguintes dimensões: $2,3\times 1,9\times 1,6\text{m}$ (9 blocos); $2,3\times 1,9\times 1,3\text{m}$ (2 blocos); $2,3\times 1,3\times 1,3\text{m}$ (2 blocos) (Figura 50).

Os poliedros gerados pelo programa permitem a obtenção de 13 blocos com 10m^3 cada, isto se a forma dos mesmos não for tida em consideração. Este volume permite um aproveitamento de 70,6% do total da bancada.

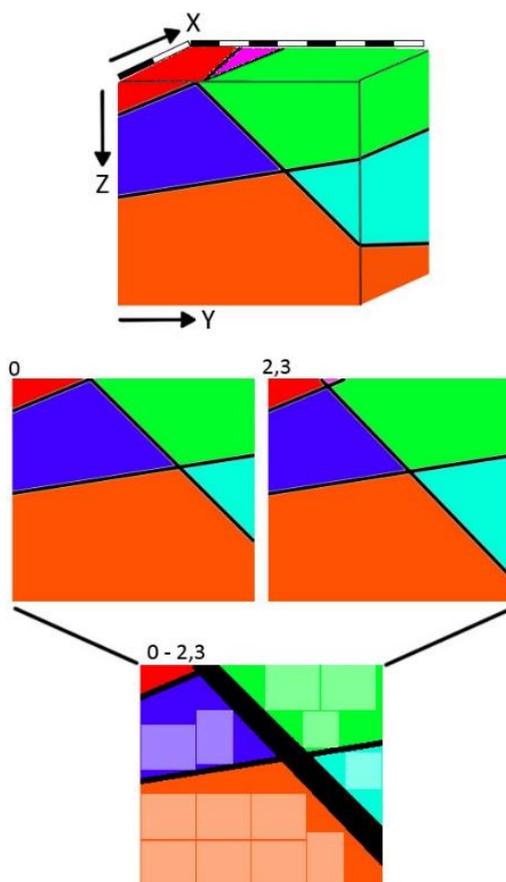
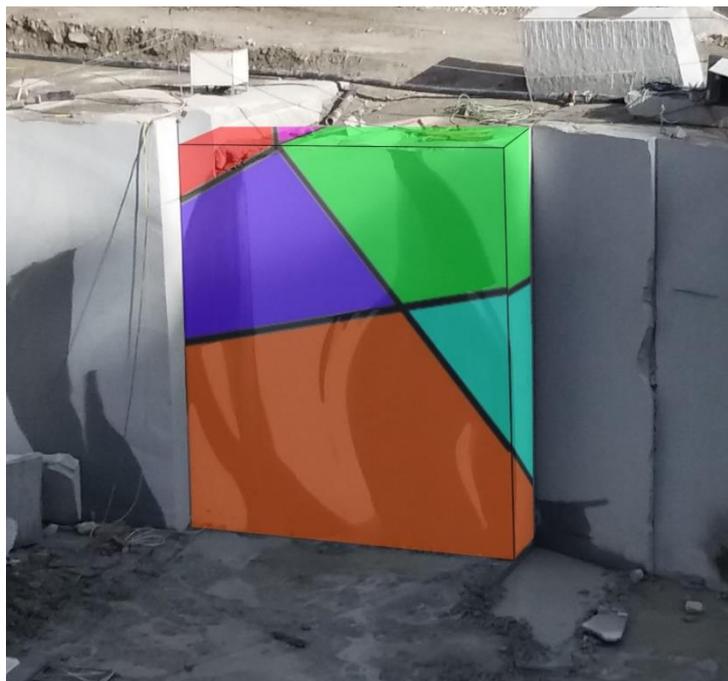


Figura 50 – Modelação da frente de trabalho B02, correspondente à pedreira Irmãos Queirós, com as seguintes dimensões: 2,3m×8,25m×9,7m (segundo os eixos X, Y, Z, respetivamente). O sentido de exploração definido foi segundo o plano YZ.

5.3- Comparação entre rendimento calculado e rendimento real

Neste ponto pretende-se avaliar uma relação entre o rendimento calculado e o rendimento real. Para tal, foi considerado o volume calculado no ponto 5.2 e o volume real disponibilizado pelos técnicos responsáveis pelas pedreiras estudadas. As dimensões dos blocos utilizados na determinação teórica do rendimento são próximas às dimensões utilizadas na pedreira, de modo a ser possível comparar os dois rendimentos.

Os blocos comerciais apresentam diferentes designações de acordo com o seu volume. Normalmente são divididos em 3 categorias, blocos de primeira qualidade quando o seu volume é superior a 7m^3 , blocos de segunda qualidade quando o volume se encontra compreendido entre 5 e 7m^3 e blocos de terceira qualidade, quando o volume é inferior a 5m^3 .

No período de estudo, foram extraídos 239 blocos na pedreira A. Estes correspondem a $1705,87\text{m}^3$, com um rendimento de 35,3%. Destes blocos apenas 140 possuem o volume necessário para serem considerados como blocos de 1ª qualidade, 73 blocos são de 2ª qualidade e os restantes 27 são de 3ª qualidade.

Para a mesma pedreira (A) a modelação permitiu calcular 225 blocos de 1ª qualidade, 7 de 2ª qualidade e 38 de 3ª qualidade. Estes blocos correspondem a um aproveitamento de 45,83%, sendo possível a exploração de $2214,1\text{m}^3$. Deve referir-se que dos 225 blocos de primeira qualidade, 169 correspondem a volumes compreendidos entre 9 e 10m^3 .

Considerando apenas o volume dos poliedros é possível a extração de 455 blocos com volume de 10m^3 cada, correspondendo a um volume total de 4550m^3 . Este volume permitiria um aproveitamento de 94,2% do volume total explorado.

Na Tabela 17 encontra-se expresso os volumes máximo, calculado e real para as diferentes frentes de exploração. A diferença entre os valores era expectável, tendo em consideração os aspetos referidos anteriormente, que afetam o rendimento das pedreiras.

No que refere à comparação entre o volume calculado e o real, estes apresentam algumas diferenças como resultado dos critérios de exploração. Durante o esquadrejamento das fatias tombadas é necessário ter em consideração a forma dos poliedros definidos entre as fraturas e o plano de corte e a posição e número de cortes a efetuar de modo a obter o máximo de blocos com dimensão desejada. Assim, quando são requeridos muitos cortes para a obtenção de um

bloco, os operadores das pedreiras optam por “descartar” estes poliedros. Isto acontece quando o rendimento da pedreira é elevado, verificando-se o contrário quando o mesmo é baixo, pois quanto maior for o número de cortes mais dispendiosa se torna a exploração.

Tabela 17 – Volume máximo, calculado e real das frentes de pedreiras observadas.

Pedreira	Volume (m ³)		
	Máximo	Calculado	Real
A01	580	102,9	56,02
A02	650	224,3	303,9
A03	470	292,2	305,7
A04	1020	696,3	488,2
A05	310	190,2	90,9
A06	670	335,5	188,2
A07	790	411,7	272,8
B01	1000	671,1	-
B02	130	89,1	-

A projeção dos valores da Tabela 17 num gráfico de dispersão (Figura 51), permite verificar se existe alguma relação entre o volume calculado e o volume real. Apesar de se observar uma diferença entre os valores, é possível estabelecer uma relação entre ambos. O valor de r^2 é válido para uma significância de 5% (Guimarães e Cabral, 2007). Com mais dados esta relação será mais robusta e poderá assim, permitir uma aproximação ao volume real com base no volume calculado. Para tal, a recolha de dados futuros devem incluir outras pedreiras para além das do granito de Pedras Salgadas.

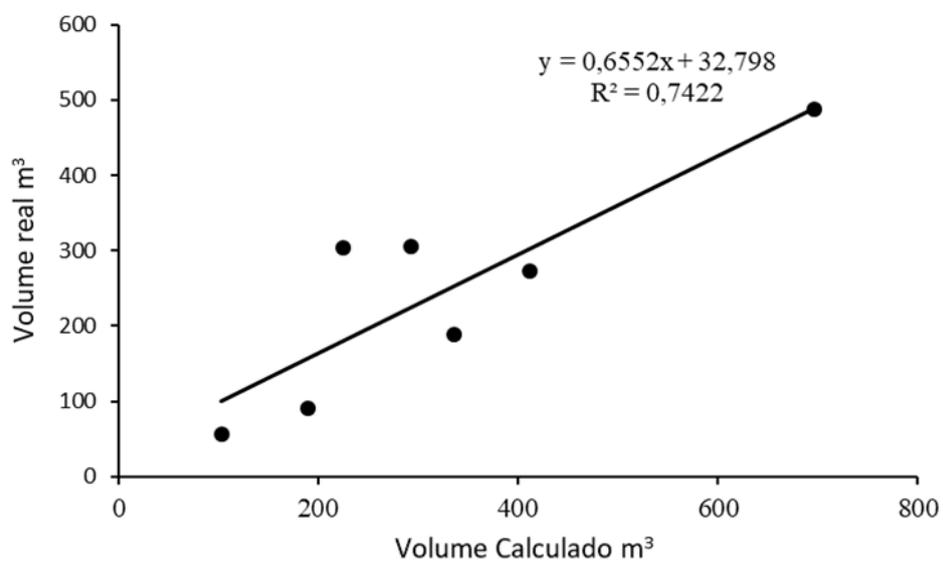


Figura 51- Gráfico de dispersão dos valores Calculado×Real das pedreiras analisadas.

6-Coloração

O granito de Pedras Salgadas distingue-se pelas suas características únicas no mercado de rocha ornamental, contudo o surgimento de variedades semelhantes levou a que o seu mercado diminuísse. Portugal, possui uma grande variedade de rochas ornamentais, quer de mármore e calcários, contudo os granitos são maioritariamente de cor acinzentada e azulada, existindo pequenas reservas de variedades com tonalidades rosa e amareladas.

A criação de um novo acabamento superficial que permita a mudança da cor do granito abre portas a novos mercados, podendo combater o declínio da procura observado para o granito de Pedras Salgadas. A coloração de rochas, ou utilização de técnicas que alterem o aspeto estético destas, tem sido estudado por diferentes autores, tais como Sousa (2012) que utiliza pigmentos inorgânicos para coloração de granitos, Pereira (2009) que utiliza pigmentos orgânicos e inorgânicos para pigmentação de mármore e granitos e Wang *et al* (2004) que utiliza técnicas que permitem a oxidação do ferro presente em mármore.

6.1-Corante

No presente trabalho o corante utilizado para a coloração do granito foi o óxido de ferro, proveniente da oxidação de limalha de ferro. Este material, juntamente com areia siliciosa, permite obter a mistura necessária à realização dos ensaios. A utilização da areia é importante, pois facilita a remoção da limalha de ferro após finalizar os ensaios, permite economizar limalha de ferro, também facilita a penetração de água e previne a formação de incrustações de óxido de ferro na superfície que se pretende colorir. O solvente a utilizar deve permitir a dispersão de outra substância no seu meio, tendo-se optado pela utilização de água. Trata-se de um solvente inorgânico, de alta polaridade e propriedades de adesão e coesão.

O óxido de ferro foi misturado homogeneamente com areia siliciosa, segundo as seguintes proporções 1/4 óxido de ferro – 3/4 areia siliciosa; 1/2 óxido de ferro – 1/2 areia siliciosa e 3/4 óxido de ferro – 1/4 areia siliciosa (estas proporções correspondem a volumes). As amostras de granito possuíam as seguintes dimensões; 7,5×7,5cm.

O procedimento consiste em cobrir a área que se deseja colorir com uma camada fina de material (<1mm), distribuída homogeneamente (Figura 52). As superfícies foram mantidas húmidas por aspersão de água.



Figura 52 – Granito de Pedras Salgadas sem óxido de ferro (esquerda) e com uma camada de óxido de ferro e areia (direita).

A coloração das amostras é condicionada por vários fatores, tais como: tempo, temperatura, humidade, área que se pretende colorir, estado de oxidação da limalha de ferro e relação óxido de ferro/areia. Para o caso em estudo a limalha de ferro utilizada foi inicialmente oxidada. O processo de oxidação da limalha de ferro consistiu na utilização de água e exposição ao ar. Estas condições levam à oxidação da limalha de ferro, obtendo-se assim o óxido de ferro utilizado no presente trabalho.

As amostras onde se utilizou 3 partes de ferro e 1 de areia mostram uma camada de óxido espessa e escura, enquanto nas amostras onde foi utilizado 1 parte de óxido de ferro e 3 partes de areia a camada de óxido era fina. As amostras cobertas com partes iguais de óxido de ferro e areia, mostram uma camada fina de óxido de ferro. O aspeto estético das amostras é condicionado pela homogeneidade da distribuição do óxido e da areia, pois se a misturada não for homogénea a coloração apresenta padrões, falhas de coloração e incrustações de óxidos.

6.2- Influência das condições ambientais

Inicialmente foi feito um estudo preliminar com a duração de 5 dias, para a identificação do melhor modo de oxidação e fixação do óxido nas amostras. Foi feita uma análise com amostras submersas e amostras que eram borrifadas com água. O resultado obtido desta análise provou que quando as amostras são submersas a oxidação é menor e a fixação do óxido é mínima, sendo mais intensa nas bordaduras da amostra (Figura 53). Nos trabalhos levados a cabo por Pereira (2009), este também não obteve resultados para amostras submergidas em óxidos de ferro. Assim, os ensaios com amostras submersas foram descartados no estudo.



Figura 53 – Amostra de granito de Pedras Salgadas após 5 dias submersa (dimensão 7,5×7,5cm).

No que diz respeito às amostras borrifadas foram considerados dois métodos, o primeiro incluía a utilização de uma estufa, de modo a controlar a temperatura e humidade e o segundo método que consistia em colocar as amostras ao ar livre.

Para os ensaios realizados em estufa com temperatura e humidade controladas, a oxidação foi morosa e reduzida, produzindo colorações ténues. Os valores de temperatura variaram dos 20°C aos 70°C, em períodos de 4 horas, tentando-se manter a humidade a um valor constante, próximo de 90%. Este processo apresenta um problema, no caso de uma aplicação industrial pois a coloração de grandes peças requereria estufas com dimensões elevadas.

No que diz respeito aos ensaios realizados ao ar livre, estes são condicionados pelas condições naturais de temperatura e humidade, variáveis de acordo com os locais e a estação do ano. Contudo, este método é o que proporciona melhores resultados, originando superfícies com coloração homogénea e notória.

Na Figura 54 é possível observar a variação da coloração ao final de 1, 2 e 5 dias, sob estas condições ambientais de verão. As amostras que estejam expostas ao óxido de ferro durante períodos de tempo mais elevado apresentam uma patina de óxido mais espessa e escura. Da esquerda para a direita observamos, a amostra correspondente a 1 dia, 2 dias e 5 dias.



Figura 54 – Amostras coloridas com óxido de ferro, 1 dias (esquerda), 2 dias (centro) e 5 dias (direita).

As amostras devem ser borrifadas sempre que a limalha de ferro e a areia estejam secos. No entanto, não devem secar totalmente para que o óxido adira à superfície da rocha. Os resultados provenientes destes ensaios demonstraram maior eficiência durante o verão, quando as amostras secam mais rapidamente, as temperaturas são mais elevadas e a humidade do ar é menor.

Estes ensaios foram realizados em amostra com dois acabamentos diferentes, serrado e amaciado. Em ambos os acabamentos, o óxido de ferro aderiu à superfície do granito demonstrando bons resultados. Na Figura 55 podemos observar duas amostras submetidas à mesma proporção de óxido de ferro/areia e com o mesmo tempo de oxidação, sendo à esquerda uma amostra com o acabamento amaciado e à direita serrado.



Figura 55 – Amostras de granito de Pedras Salgadas, amaciado à esquerda e serrado à direita após 2 dias.

Este processo pode também ser aplicado a outras rochas granitoides e durante os trabalhos foram realizados ensaios no granito Cinza Telões e no granito Branco Micaela (nomes comerciais). Na Figura 56 estão representados os três granitos submetidos ao processo de coloração para um período de 2 dias com proporção de óxido de ferro/areia ($\frac{1}{2}$). Destes, as variedades Cinza Telões e Branco Micaela são as que apresentam uma coloração mais escura e uma distribuição da coloração mais heterogénea.



Figura 56 – Amostras de granito de Pedras Salgadas (esquerda), Cinza Telões (centro) e Branco Micaela (Direita), com tempo de coloração de dois dias.

Na Tabela, estão expressos o tempo de coloração e as características da coloração obtida para as várias variantes avaliadas. Nota-se que se obteve coloração em todos os métodos, contudo quando as amostras são submersas, a coloração não é significativa. As amostras que foram tratadas com uma percentagem mais elevada de óxido de ferro, ou sujeitas a um período de tempo mais elevado, apresentam uma coloração mais intensa e heterogénea (incrustações de

óxido de ferro), enquanto as que foram tratadas com menor percentagem de óxido de ferro, ou sujeitas a um menor tempo de ensaio, apresentavam uma coloração mais ténue e homogénea.

Tabela 18 – Ensaio pigmentação do granito de Pedras Salgadas (a relação de corante/areia está expressa em volume).

Tempo (dias)	Corante	condições ambientais	Obtenção de coloração	Características da patina de óxido
5	3/4 óxido de ferro	submerso	Sim	Zonas periféricas da amostra
5	1/2 óxido de ferro	submerso	Sim	Zonas periféricas da amostra
5	1/4 óxido de ferro	submerso	Sim	Zonas periféricas da amostra
5	3/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Espessa com coloração intensa e heterogénea
5	1/2 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Espessa com coloração intensa e heterogénea
5	1/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Espessa com coloração intensa e heterogénea
2	3/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Fina com coloração intensa e homogénea
2	1/2 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Fina com coloração média e homogénea
2	1/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Fina com coloração baixa e heterogénea
1	3/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Manchas coloridas, mas com distribuição homogénea
1	1/2 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Pequenas manchas coloridas, mas com distribuição homogénea
1	1/4 óxido de ferro	Borrifado	Sim	Pequenas manchas coloridas, mas com distribuição homogénea

7- Conclusões

A avaliação da homogeneidade textural do granito de Pedras Salgadas foi efetuada, através da caracterização dos maiores minerais observados em placas polidas. Dos minerais estudados, os que apresentam maiores dimensões são os feldspatos potássicos, sendo estes os principais responsáveis pela heterogeneidades textural do granito. Estes resultados vão ao encontro com os trabalhos anteriormente realizados (Sousa, 1995). Outras heterogeneidades identificadas, tais como nódulos biotíticos, filões, *schlieren* e outras estruturas não afetam globalmente o rendimento da pedra, visto que ocorrem localmente. A dispersão destas heterogeneidades nas pedreiras é aleatória, não tendo sido encontradas evidências do seu aumento em profundidade.

Para o granito analisado é possível observar, a olho nu, variação cromática de pedra para pedra e até mesmo na própria pedra. Esta variação é notória quando o valor de ΔE é superior a 3 unidades CIELAB. Considerando os valores obtidos, foi possível identificar quais as pedreiras que apresentaram uma coloração mais escura e as que apresentaram coloração mais clara. Assim, as pedreiras A e C são as que apresentam o granito com cor mais clara, distinguindo-se das pedreiras B e D, cujo granito possui cor mais escura. O parâmetro L^* é o que mais contribui para esta variação cromática, apresentando o valor mínimo 54,00 na pedra B e o valor máximo 70,24 na pedra A. Os valores médios dos parâmetros L^* , a^* e b^* , obtidos nas pedreiras estudadas, encontram-se dentro dos intervalos de valores obtidos por Sousa e Gonçalves (2012).

No decorrer do trabalho procedeu-se à identificação das principais famílias de fraturas em duas situações distintas: pedreiras em atividade e um local virgem. Nas pedreiras foram identificadas duas principais famílias de fraturas, N20-30E e N70-80W. A primeira família é paralela à Falha Penacova-Régua-Verim, ambas as famílias se encontram dentro dos valores obtidos por Sousa e Pires (1998) e Moreira (1999). O espaçamento médio entre fraturas para estas pedreiras é de 1,6m e o índice volumétrico é de 1,5, indo de encontro com os resultados obtidos por Sousa e Pires (1998) e Sousa (2007). Considerando a caracterização de Garcia (1996), compreende-se a presença de pedreiras nestes locais, visto que apresentam potencialidade para fornecer blocos grandes com aptidão comercial.

Na área de Sabroso de Aguiar (área virgem) o levantamento da fraturação foi efetuado no campo e sobre um ortomosaico obtido a partir de imagens aéreas recolhidas com uma

aeronave não tripulada. Ambos os casos permitiram a caracterização da fraturação da área virgem, apresentando valores idênticos para as famílias de fraturas. Sobre o ortomosaico obtiveram-se 2 famílias de fraturas com direção N10W-N10E e N50-70W. Os dados referentes aos trabalhos de campo, permitiram a projeção de 2 famílias de fraturas com direção N10W-N20E e N50-90W. Estas famílias apresentam similaridade com os dados obtidos para as pedreiras e com os dados da bibliografia (Sousa e Pires (1998); Moreira (1999)). Nesta área o espaçamento médio é de 1,5m e o índice volumétrico é de 1,5. Tendo em consideração a caracterização de Garcia (1996), esta área apresenta potencialidade para fornecer blocos grande com aptidão comercial.

O programa 3D-BlockExpert demonstra ser uma ferramenta útil no auxílio na exploração de rocha ornamental. Com a sua aplicação, na pedreira C&G, foi inferido um aproveitamento teórico de 45,8%, superior ao aproveitamento real (35,3%) verificado na pedreira. A utilização do programa 3D-BlockExpert permitiu a projeção de 225 blocos de primeira qualidade, sendo este valor superior aos 140 blocos obtidos na realidade. A presença de fraturas não observáveis na frente de trabalho, é o principal fator que contribui para estas diferenças, limitando o volume de rocha passível de explorar. A relação entre o volume real extraído e o volume teórico projetado é dado pela seguinte equação: $Y = 0,6552X + 32,798$. Contudo, a definição desta relação carece de mais dados, sendo necessário recolher mais informação para reduzir o erro associado.

Para a investigação sobre a coloração do granito foi utilizada uma mistura de óxido de ferro e areia siliciosa, que se mostrou eficaz na alteração da cor superficial do granito. O solvente utilizado foi a água, pois não apresenta perigo para o meio ambiente nem custos acrescidos no seu tratamento. O corante utilizado mostrou-se eficaz quando aplicado em pequenas áreas, originando superfícies com coloração homogénea em curtos períodos de tempo. Este processo também se mostrou eficaz noutras rochas granitoides, tais como o granito Cinza Telões e o granito Branco Micaela. A continuação deste estudo e a obtenção das condições ideais que permitam a coloração de grandes áreas de forma sustentável e eficaz, poderá vir a ser uma mais-valia para a criação de novos produtos com diferentes intensidades de oxidação.

Este trabalho necessita de continuação, nomeadamente nos pontos referentes à blocometria e coloração. A obtenção de mais dados no que diz respeito à blocometria, permitirá uma aproximação ao volume real com base no volume calculado. Na coloração, deve-se tentar

optimizar o tempo necessário para obter uma coloração homogénea, visto que as empresas devem ter uma resposta rápida às necessidades do consumidor.

8- Referências Bibliográficas

- Aal, A., A., Shoukry, H., Sayed, M., A., Ghramh, H., A. (2018). Physical characteristics of heat-dissipating smart marble at Al Masjid Al-Haram, Makkah City, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 11:159.
- Alade, S., M., Muriana, O., B., Olayink., H., J. (2012). Modified volumetric joint count to check for suitability of granite outcrops for dimension stone production. *Engineering Science and Technology*, 7 (5), 646-660.
- Alejano, L., R., Castro-Filgueira, U., Pérez-Rey, I., & Arzúa, J. (2017). Stability analysis of an over-tilted slope in a granite quarry: the role of joint spacing. *Procedia Engineering*, 191, 402-409. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.197.
- Almeida, N., Branco, F., Brito, J., Santos, J., R. (2007). High-performance concrete with recycled stone slurry. *Cement and Concrete Research*, 37, 210-220. DOI: 10.1016/j.cemconres.2006.11.003
- Amaral, P., M., Fernandes, J., C., Pires, V., Rosa, L., G. (2014). Ornamental Stones. 10.1007/978-3-319-08236-3_9
- Arenas, r., Fernández. R., D., Pascual, F., J., R., Martínez, S., S., Parra, L., M., M., Matas, J., González del Tánago, J., Jiménez-Díaz, A., Fuenlabrada, J., M., Andonaegui, P., Garcia-Casco, A. (2016). The Galicia-Ossa-Morena Zone: Proposal for a new zone of the Iberian Massif. Variscan implications. *Tectonophysics*, 681, 135-143.
- Bezerra, F. D. (2017). Rochas ornamentais: novas perspectivas de investimento. Banco do Nordeste.
- Buyer, A. & Schubert, W. (2017). Calculation the spacing of discontinuities from 3D point clouds. *Procedia Engineering*, 191, 270-278. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.181.
- Cann, J. H. (2012). Physical weathering of slate gravestones in a Mediterranean climate. *Australian Journal of Earth Sciences*, 59, 1021-1032.
- Carvalho, J., M., F., Lisboa, J., V., Moura, A., C., Carvalho, C., I., Sousa, L., M., O., Leite, M., M. (2013a). Evaluation of the Portuguese Ornamental Stone Resources. *Key Engineering Materials*, 548, 3-9.

- Carvalho, J., M., F., Carvalho, C., I., Lisboa, J., V., Moura, A., C., & Leite, M., M. (2013b). Portuguese ornamental stones. *GEONOVAS*, 26, 15-22.
- Carvalho, J., Lopes, C., Mateus, A., Martins, L., Goulão, M. (2018). Planning de future exploitation of ornamental stone in Portugal using a weighed multi-dimensional approach. *Resources Policy*, 59, 298-317. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.08.001
- Catarino, J., Henriques, J., Maia, A. (2015). Eco-efficiency in Portuguese companies of marble sector. *International Journal of Sustainable Engineering*, 9, 35-46. DOI: 10.1080/19397038.2015.1050479
- Chouhan, H., S., Kalla, P., Nagar, R., Gautam, P., K., Arora, A., N. (2018). Investigating use of limestone slurry waste as fine aggregate in mortar. *Environment, Development and Sustainability*, 1-23. DOI: 10.1007/s10668-018-0286-9
- Custódio, S., Dias, N., A., Carrilho, F., Góngora, E., Rio, I., Marreira, C., Morais, I., Alves, P., Matias, L. (2015). Earthquakes in western Iberia: improving the understanding of lithospheric deformation in a slowly deforming region. *Geophysical Journal International*, 302, 127-145.
- Dias, R., Ribeiro, A., Romão, J., Coke, C. e Moreira, N. (2016). A reviewing the arcuate structure in the iberian variscides; constraints and genetical models. *Tectonophysics*, 681, 170-194. Doi: 10.1016/j.tecto.2016.04.011.
- Egesi, D. & Tse, C., A. (2011). Dimension stone: Exploration, evaluation and exploitation in southwest parts of Oban Massif Southeastern Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 3 (4), 115-122.
- Elci, H. e Turk, N. (2014). Block Volume Estimation from the Discontinuity Spacing Measurements of Mesozoic Limestone Quarries, Karaburun Peninsula, Turkey. Hindawi Publishing Corporation, Article ID 363572. *The Scientific World Journal*, Volume 2014.
- Elmouttie, M. K., & Poropat, G. V. (2012). A method to Estimate in situ size distribution. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45, 401-407. DOI: 10.1007/s00603-011-0175-0.
- Elkarmoty, M., Colla, C., Gabrielli, E., Kasmaeeyazdi, S., Tinti, F., Bonduà, S. & Bruno, R. (2017). Mapping and modelling fractures using ground penetrating radar for ornamental

- stone assessment and recovery optimization: Two case studies. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 63-76. DOI: 10.17794/rgn.2017.4.7
- Elkarmoty, M., Tinti, F., Kasmaeeyazdi, S., Bonduà, S., Bruno, R. (2018). 3D modelling of discontinuities using GPR in a commercial size ornamental limestone block. *Construction and Building Materials*, 166, 81-86. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.091
- Er, S., Tugřul, A. (2016). Correlation of physico-mechanical properties of granitic rocks with cerchar abrasivity index in Turkey. *Measurement*, 91, 114-123. DIO: 10.1016/j.measurement.2016.05.034
- Fernández, R., D., Arenas, R., Pereira, M., F., Sánchez-Martínez, S., Albert, R., Parra, L.-M., M., Pascual, F.-J., R., Matas, J. (2016). Tectonic evolution of Variscan Iberia: Gondwana-Laurassia collision revisited. *Earth-Science Reviews*, 162, 269-292.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Perez-Monserrat, E., Varas, M., J. (2010). Characterisation of monzogranitic batholiths as a supply source for heritage construction in the northwest of Madrid. *Engineering Geology*, 115, 149-157.
- Freire-Lista, D., M., Fort, R., Varas-Muriel, M., J. (2015). Freeze-thaw fracturing in building granites. *Cold Regions Science and Technology*, 113, 40-51. DOI: 10.1016/j.coldregions.2015.01.008
- Ganesha, A., V., Narasimha, K., N., P., Krishnaiah., C. (2016). Petrographic and physico-mechanical studies on granitic rocks around Bidadi, Ramanagaram Taluk, Karnataka State. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 3, 36-40.
- Garcia, E.O. (1996). Investigacion de yacimientos. In JIMENO, C.L. (Eds), *Manual de Rocas Ornamentales* (pp.139–174). Madrid: Entorno Grafico.
- García-Arias, M., Díez-Montes, A., Villaseca, C., Blanco-Quintero, I., F. (2018), The Cambro-Ordovician Ollo de Sapo magmatism in the Iberian Massif and its evolution: A review. *Earth-Science Reviews*, 176, 345-372.
- Guimarães, R. C., Cabral, J. *Estatística*. 2ª ed. Porto: McGraw-Hill de Portugal, 2007. ISBN 978-84-481-5589-6, p. 238.

- Henriques, S., B., A., Neiva, A., M., R., Tajčmanová, L. e Dunning, G., R. (2018). Geochemistry and metamorphism of the Mouriscas Complex, Ossa-Morena/Central Iberian zone Boundary, Iberian Massif, Central Portugal: Implications for the Cadonian and Variscan orogenies. *Lithos*, 296-299, 496-512.
- ISRM, (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 15, 319-368.
- Kim, B., H., Cai, M., Kaiser, P., K. Yang, H., S. (2007). Estimation of block sizes for rock masses with non-persistent joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40 (2), 169-192. DOI 10.1007/s00603-006-0093-8.
- Latham, J.-P., Van Meulen, J., Dupray, S., 2006. Prediction of in-situ block size distributions with reference to armour stone for breakwaters. *Engineering Geology*, 86, 18–36.
- Loorents, K., J., Björklund, L., & Stigh, J. (2000). Effect of induced fracturing based on a natural fracture system in a dimension stone quarry in the Offerdal Nappe, Swedan. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 215-225.
- López, A., J., Pozo-Antonio, J., S., Ramil, A., Rivas, T. (2018). Influence of the commercial finishes of ornamental granites on roughness, colour and reflectance. *Construction and Building Materials*, 182, 530-540. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.144
- Lu, P., Latham, J., P. (1999). Developments in the assessment of in-situ block size distributions of rock masses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 32 (1), 29-49.
- Márquez, I. G., Alejano, L. R., Dono, A. R., & Bastante, F. G. (2013). A case of compatibility between quarrying of ornamental granite and forest exploitation. *Acta Montanistica Slovaca*, 17, 268-277.
- Marras, G., Careddu, N. (2017). Sustainable reuse of marble sludge in tyre miztures. *Resources Policy*, 59, 77-84. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.11.009
- Martins, H., C., B., Sant´Ovaia, H., & Noronha, F. (2007), Post-tectonic granite intrusion controlled by a deep Variscan fault in Northern Portugal. *Cardernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 32, 221-235.
- Martins, H., C., B., Sant´Ovaia, H., & Noronha, F. (2009). Genesis and emplacement of felsic Variscan plutons within a deep crustal lineation, the Penacova-Régua-Verín fault: Na

- integrated geophysics and geochemical study (NW Iberian Peninsula). *Lithos*, 111, 142-155.
- Mateus, A. e Noronha, F., (2010). Sistemas mineralizantes epigenéticos na Zona Centro-Ibérica; expressão da estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca. *Ciências geológicas: ensino, Investigação e a sua História*, Volume 2, Cap. 1.
- Menningen, J., Siegesmund, S., Lopes, L., Martins, R., Sousa, L. M. O. (2018). The Estremoz marbles: an updated summary on the geological, mineralogical and rock physical characteristics. *Environmental Earth Sciences*, 77-191. DOI:10.1007/s12665-018-7328-3.
- Montani C 2017. XXVIII report marble and stones in the world 2016. Ed. Aldus, Carrara, Italy.
- Moreira, A. (1999). Reconhecimento Geológico do Maciço Granítico de Pedras Salgadas (Vila Pouca de Aguiar). *Boletim de Minas, Lisboa*, 36 (2), 147-169.
- Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., Siegesmund, S. (2011). Optimized extraction of dimension stone blocks. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1911-1924. DOI: 10.1007/s12665-010-0825-7.
- Mustafa, S., Khan, M., A., Khan, M., R., Sousa, L. M. O. Hameed, F., Mughal, M., S., Niaz, A. (2016). Building stone evaluation – A case study of the sub-Himalayas, Muzaffarabad region, Azad Kashmir, Pakistan. *Engineering Geology*, 209, 56-69. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.05.007
- Navarro, R., Cruz, A., S., Arriaga, L., Baltuille, J., M. (2017). Caraterization of the main types of marble extracted in the area of Macael (Almeria, Southeastern Spain) and its historical importance. *Boletín Geológico y Minero*, 128 (2), 345-361. DOI: 10.21701/bolgeomin.128.2.005.
- Navarro, R., Pereira, D., Gimeno, A., Barrio S. D. (2018). Influence of natural carbonation process in serpentinites used as construction and building materials. *Construction and Building Materials*, 170, 537-546. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.100
- Nikolayew, D., Siegesmund, S., Mosch, S. e Hoffmann, A. (2007). Modellbased prediction of unfractured rock masses. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 158 (3), S. 483-490.

- Ozgvén, A., Özcelik, Y. (2014). Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones. *Engineering Geology*, 183, 127-136.
- Palma, F. M. (2014). Produção de Rochas Ornamentais. Análise setorial. Banco Espírito Santo.
- Pereira, R., M., N. (2009). *Pigmentação de Rochas*. Tese de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo – Ambiente. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Porto. 117 pp.
- Pires, V., Rosa, L., G., Dionísio, A. (2014). Implications of exposure to high temperatures for stone cladding requirements of three Portuguese granites regarding the use of dowel-hole anchoring systems. *Construction and Building Materials*, 64, 440-450. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.03.035.
- Pornasi, Jorge L., Sauck, William A. e Júnior, Abad O. S. (2006) GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: A case study from Southern Brazil. *Applied Geophysics*, 58: 177-187.
- Poyatos, D., M., Carbonell, R., Palomeras, I., Simancas, J., F., Ayarza, P., Martí, D., Azor, A., Jabaloy, A., Cuadra, P., G., Tejero, R., Parra, L. M. M., Matas, J., Lodeiro, F. G., Pérez-Estaún, A., Lobón, J. L. G., Mansilla, L. (2012). Imaging the crustal structure of the Central Iberian Zone (Variscan Belt): The ALCUDIA deep seismic reflection transect. *Tectonics*, 31. Doi:10.1029/2011TC002995.
- Prieto, B., Sanmartín, P., Silva, B., Martínez-Verdú, F. (2009). Measuring the Color of Granite Rocks: A proposed procedure. *Color Research & Application*, 35, 368-375. DOI: 10.1002/col.20579
- Ramos, J. M., Moura, A. C. (2010). Some aspects of the contribution of geology in the study and characterization of rock massifs for ornamental stone exploitation. *Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História*, Volume 2, Cap. 1.
- Ribeiro, A. (2013). A evolução geodinâmica de Portugal; os ciclos ante-mesozóicos. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J., C., (Eds.), *Geologia de Portugal*, Vol. 1, Escolar Editora, 15-57 p.
- Sánchez-Soto, P. J., Ruiz-Conde, A., Bono, R., Raigón, R., Garzón, E. (2007). Thermal evolution of a slate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 90 (1), 133-141.

- Sant’Ovaia, H., Bouchez, J. L., Noronha, F., Leblanc, D., & Vigneresse, J. L. (2000). Composite-laccolith emplacement of the pot-tectonic Vila Pouca de Aguiar granite pluton (northern Portugal): a combined MAS and gravity study. *Earth Sciences*, 91, 123-137.
- Sant’Ovaia, H., Olivier, P., Ferreira, N., Noronha, F., Leblanc, D. (2010). Magmatic structure and kinematics emplacement of the Variscan granites from Central Portugal (Serra da Estrela and Castro Daire areas). *Journal of Structural Geology*, 32, 1450-1465.
- Schwindinger, M., Peternell, M., Rodrigues, B., C., Pamplona, J., Queirós, E., & Oliveira, M. (2014). Quantification of synmagmatic flow structures of the Vila Pouca de Aguiar Pluton: a tool for rock structural and rock quality quantification. *Comunicações geológicas (LNEG)*, 101, 319-323.
- Siegesmund, S., Nikolayev, D., Hoffmann, A., Mosch, S., 2007. 3D-block-expert. *Naturstein* 5, 102–107.
- Sigma Team, (2016). Rochas Ornamentais no Contexto Nacional e Internacional (Monografia Temática e Setorial).
- Simonot, L., Elias, M. (2002). Color change due to surface state modification. *Color Research & Application*, 28 (1), 45-49. DOI: 10.1002/col.10113
- Sousa, L., M., O. (1995). O Granito de Pedras Slagadas como recurso: contribuição para a sua valorização e gestão integrada. Tese de Mestrado em Geociências, especialização em Processos Geológicos. Departamento de Ciências da Terra – Universidade de Coimbra, Coimbra. 202 pp.
- Sousa, L., M., O., & Pires, C., A., C. (1998). A influência da fraturação na exploração de rochas ornamentais: o caso do granito de Pedras Salgadas (Vila Real, Norte de Portugal). *Caderno Laboratorio Xeolóxico de Laxe Coruña*, 23, 59-69.
- Sousa, L., M., O. (2000). Estudo da fracturação e das características físico-mecânicas de granitos da região de Trás-os-Montes com vista à sua utilização como rocha ornamental. Tese de Doutoramento em Geologia. Departamento de Geologia – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 358 pp.

- Sousa, L., M., O., Suárez del Río, L., M., Calleja, L., Ruiz de Argandoña, V., G., Rey, A., R. (2005). Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, 77, 153-168. DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.10.001
- Sousa, L., M., O. (2006). Granito Amarelo Real: Características gerais e contribuição para o ordenamento da exploração na serra da Falperra (NE de Portugal). *Boletim de Minas*, 41 (2), 161-174.
- Sousa, L., M., O. (2007). Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying. *Engineering Geology*, 92, 146-159. DOI: 10.1016/j.enggeo.2007.04.001.
- Sousa, L., M., O. (2010). Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43, 85-94. DOI: 10.1144/1470-9236/08-076.
- 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.
- Sousa, Luís M. O. e Gonçalves, Bruno M. M. (2012) Color assessment of granitic rocks and implications for their ornamental utilization. *Color research and Application*, Vol. 37 pp. 375-383.
- Sousa, L., M., O. (2013). Petrophysical properties and durability of granites employed as building stone: a comprehensive evaluation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 569-588. DOI:10.1007/s10064-013-0553-9
- Sousa, L., M., O., Rodrigues, M., L., Q., Rodrigues, S., A., S., & Marques D., G. (2014). Mineral resources and territorial planning – the granites from Vila Pouca de Aguiar. *Comunicações geológicas (LNEG)*, 101, 859-863.
- Sousa, L., M., O., Oliveira, A., S., & Alves, I., M., C. (2016). Influence of fracture system on the exploitation of building stones: the case of the Mondim de Basto granite (North Portugal). *Environmental Earth Sciences*, 75 (39). DOI: 10.1007/s12665-015-4824-6.

- Sousa, L., M., O., Barabasch, J., Stein., K.-J., Siegesmund, S. (2017). Charaterization and quality assessment of granitic building stone deposits: a case of study of two different Portuguese granites. *Engineering Geology*, 221, 29-40.
- Stuck, H., L., Platz, T., Muller, A., Siesgmund, S. (2018). Naturalstones of the Saale-Unstrut Region (Germany): petrography and weathering phenomena. *Environmental Earth Sciences*, 77:300. DOI: 10.1007/s12665-018-7476-5
- Taboada, J., Rivas, T., Saavedra, A., Ordóñez, C., Bastante, F., & Giráldez, E. (2008). Evaluation of the reserve of a granite deposit by fuzzy kriging. *Engineering Geology*, 99, 23-30. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.02.001.
- Téllez, J., Matias, L., M., Córdoba, D. e Mendes-Victor, L., A. (1993). Structure of the crust in the schistose domain of Galicia-Trás-os-Montes (NW Iberian Peninsula). *Tectonophysis*, 221, 81-93.
- Tiwari, L., B., Jahagirdar, C., J., Deshpande, V., D., Srinivasan, R., Parthasarathy, G. (2005). Weathering impact on the color of building stones of the ‘Gateway of India’ monument. *Engineering Geology*, 48, 788-794. DOI: 10.1007/s00254-005-0020-4
- Toyos, J.M., Taboada, J., Lombardero, M., Romero, J.A. e Menendez, A. (1994). Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental. *Boletim Geologico Y Minero*, Vol. 105, N.º 1, 110-118.
- Urosevic, M., Sebastian, E., Cardell, C. (2013). Na experimental study on the influence of surface finishing onthe weathering of a building low-porous limestone in coastal environments. *Engineering Geology*, 154, 131-141. DOI: 10.1016/j.enggeo.2012.12.013.
- Vanhaekendover, H., Lindenbergh, R., Ngan-Tillard, D., Slob, S., Wezenberg, U. (2014). Deterministic in-situ block size using 3D terrestrial laser data. *International Society for Rock Engineering and Rock Mechanics*.
- Vazzoler, J., S., Vieira, G., L., Teles, C., R., Degen, M., K., Teixeira, R., A. (2018). Investigation of the potencial use of waste from ornamental stone processing after heat treatmentes for the production of cemente-besed paste. *Construction and Builgind Materials*, 177, 314-321. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.098

- Veludo, I., Dias, N., A., Fonseca, P., E., Matias, L., Carrilho, F., Haberland, C., & Villaseñor, A. (2017). Crustal seismic structure beneath Portugal and Southern Galicia (Western Iberia) and the role of Variscan inheritance. *Tectonophysics*, 717, 645-664.
- Vidić, D., Galić, I., Farkaš, B. (2012). The profitability of dimension stone deposit exploitation in relation to the coefficient of utilization. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 25, 123-130.
- Wang, H., Wu, F., Ngothai, Y., O'Neill, B. (2004). A kinetic model of the 'Fe²⁺ oxidisation' process for colour enhancement in natural marble. *Materials Chemistry and Physics*, 86, 51-58. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2004.02.019
- Wasserman, I., Bentur, A. (2005). The efficiency of surface treatments on enhancement of the durability of limestone cladding stones. *Materials and Structures*, 38, 99-105. DOI: 10.1617/14068.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.-G., Sousa, LM., O. (2017). A new quality for the building stone industry: a case study of stone blocks, slabs, and tiles. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. DOI: 10.1007/s10064-017-1040-5