

Estudo da fracturação de um maciço rochoso granítico para uma possível implementação de pedreira de rocha ornamental.

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Minas e Geoambiente, realizada por Joana Filipa Santos de Carvalho.

Orientador: Professor Dr. José Feliciano Rodrigues

Co-Orientador: Professor Dr. Joaquim Eduardo Sousa Góis

Porto, 2010

Aos meus pais.

Agradecimentos

Quando dei início a este trabalho não fazia a menor ideia do quão difícil seria finalizá-lo, e ainda menos dos contratemplos que iam surgir na minha vida, no entanto está terminado, e tal não teria sido possível sem as pessoas a quem agradeço de seguida:

Aos Professores Doutores e Orientadores José Feliciano Rodrigues e Joaquim Góis, pela disponibilidade que sempre demonstraram, pela compreensão, paciência e motivação, sem as quais este trabalho nunca teria sido finalizado.

Ao Professor Doutor Fernando Noronha pela disponibilidade e ajuda na busca de informação.

Ao Engenheiro Jorge Santos pela simpatia e disponibilidade em me receber e me fazer sentir em casa.

A todos os trabalhadores das pedreiras por onde passei para a realização deste trabalho, pela forma calorosa com que me recebiam.

Aos meus pais, pelo incondicional apoio e sem os quais teria sido impossível chegar tão longe. À minha mãe por aturar todas as minhas mudanças de humor, os meus desabafos e acima de tudo por ser uma excelente conselheira e ao meu pai que, mesmo sem saber, me ensinou a nunca desistir.

Aos meus avós sem os quais não seria a pessoa que sou hoje. Todo o carinho que me deram que foi extremamente importante ao longo de toda a minha vida universitária. E um pedido de desculpa pela minha ausência nestes últimos meses.

Ao meu padrinho e Engenheiro Eugénio Madureira que sempre foi um exemplo para mim e que será sempre a minha meta.

Ao Bruno que tinha sempre uma palavra de incentivo mesmo quando eu não acreditava ser possível chegar ao fim deste trabalho. Um obrigado especial pelos telefonemas fora de horas a ouvir os meus devaneios.

Ao Nuno, sem o qual seria impossível realizar este trabalho, pela extrema disponibilidade, por todas as horas que passamos no campo a medir fracturas e pela sempre calorosa palavra de consolação.

Ao André por todos estes anos de amizade e pelas duras e sábias palavras que tantas vezes precisei de ouvir e que em muitas situações me abriram os olhos.

Resumo

Portugal está repleto de rochas para os mais variados fins, mas é no campo das rochas ornamentais que este trabalho ganha interesse. As rochas ornamentais estão espalhadas de norte a sul do país e têm vindo a ser uma fonte económica importante no campo da indústria extractiva, mas nem sempre a sua exploração segue o caminho do sucesso. Tal facto está, em diversos casos, relacionado com o défice no estudo da fracturação do maciço rochoso. Efectivamente, a fracturação do maciço, não sendo o único parâmetro de avaliação da adequação da exploração para rocha ornamental é, sem dúvida, dos mais importantes.

Para combater este insucesso, este trabalho sugere e ensaia um método de estudo e avaliação da fracturação de um maciço granítico da zona de Penafiel, tendo por base duas áreas tão diferentes, a geologia e a estatística, mas que a dado momento se cruzam para permitir avaliar se o maciço apresenta ou não as condições de fracturação necessárias e suficientes à implementação de uma pedreira de rocha ornamental.

A geologia, onde se insere a prospecção geológica, é responsável por todo o trabalho de campo efectuado. Os dados recolhidos sofrem posteriormente um tratamento estatístico, leia-se através da estatística circular, com o intuito de obter resultados aplicáveis ao campo da geologia. Deste modo, cria-se a união de dois campos científicos distintos, a estatística e a geologia, sem a qual este trabalho não seria realizável.

Para a realização deste trabalho, tirou-se proveito de alguns *softwares*, como é o caso do *StereoNet*, directamente aplicável aos dados recolhidos no campo, o *MatLab* que permitiu a elaboração de testes e rotinas estatísticas e o *Oriana* que permitiu responder a alguns testes de hipótese que seriam extremamente difíceis de construir de raiz.

Abstract

Portugal is full of rocks for various purposes, but is in the field of ornamental work that earns interest. The ornamental stones are scattered from north to south and have been an important economic source in the field of mining, but not always to its operation follows the path of success. That fact is, in many cases related to the deficit in the study of fracturing of the rock mass. Indeed, the fracturing of the massif, it isn't the only parameter to assess the suitability of the farm for ornamental rock but is undoubtedly the most important.

To combat this failure, this work suggests a method and tested for study and assessment of fracture of a granite massif zone Penafiel, based on two very different areas, geology and statistics, but they intersect at one point to allow assessment whether or not the massive displays of fracturing conditions necessary and sufficient to implement an ornamental rock quarry.

The geology, which includes the geological survey, is responsible for all field work carried out. Data collected will suffer posteriorly a statistical approach, read through the circular statistics, in order to obtain results applicable to the field of geology. Thus, it creates the union of two different scientific fields, statistics and geology, without which this work would not be feasible.

For this work, took advantage to some software, such as the StereoNet directly applicable to data collected in field, MatLab that allowed the preparation of statistical tests and routines Oriana allowing respond to some hypothesis tests that would be extremely difficult to build from scratch.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Abreviaturas e Siglas	vii
Índice de Ilustrações	viii
Índice de Tabelas	ix
Capítulo 1: Introdução e Enquadramento Geológico	1
1.1.Objectivos gerais do trabalho	3
1.2.Rocha ornamental	4
1.3.Factores importantes na exploração de rochas ornamentais	6
1.3.1.Factores técnico – económicos	6
1.3.1.1.Características importantes da pedra	7
1.3.1.2.Exigências do mercado	9
1.3.2.Factores Geológicos	10
1.3.2.1.A fracturação de maciços rochosos graníticos	10
1.4.Enquadramento geológico	13
1.4.1.Aspectos petrográficos gerais dos granitos	13
1.4.2.Petrografia e mineralogia dos granitóides portugueses	15
1.4.3.Penafiel e a geologia circundante	16
1.4.3.1.Granito Cinzento de Rio de Moinhos	19
1.5.O Maciço Ibérico e a Orogenia Varisca	22
1.5.1.Evolução geológica do Maciço Ibérico	23
1.6.Zona Centro – Ibérica	25
1.6.1.Características gerais	26
1.6.2.Granitóides da Zona Centro – Ibérica	26
1.7.Estudo da fracturação na prospecção geológica de granitos ornamentais	29
1.7.1.Parâmetros de descrição de planos de fracturação do maciço (diáclases e falhas)	29
Capítulo 2: Estatística de dados direccionais	33
2.1.Estatística direccional ou circular	35
2.1.1.Estatísticos descritivos	36
2.1.1.1.Dados lineares	36
2.1.1.2.Dados circulares	37
2.2.Medidas de associação envolvendo dados direccionais	42
2.2.1.Correlação linear – circular	42
2.2.2.Correlação circular - circular	43
2.3.Inferência estatística	43
2.3.1.Testes Paramétricos	43
2.3.2.Testes Não - Paramétricos	46
2.4.Modelo de distribuição probabilística	48
2.4.1.Distribuição de von Mises	48
2.5.Algoritmos de cálculo utilizados	49
2.5.1.Estatísticos básicos para variáveis lineares	49
2.5.2.Estatísticos básicos para variáveis circulares	49
2.5.3.Correlação linear – circular	50
2.5.4.Correlação linear - circular por famílias (NW e NE)	51
2.5.5.Correlação circular - circular	52
2.5.6.Correlação circular – circular por famílias (NW e NE)	53

2.5.7. Teste de Rayleigh	54
2.5.8. Teste de tendência específica	54
Capítulo 3: Tratamento gráfico dos dados recolhidos	55
3.1. Diagramas de famílias de fracturas	57
3.1.1. Granodioritos	57
3.1.2. Granitos	58
3.2. Diagramas de Roseta	64
3.2.1. Granodioritos	64
3.2.2. Granitos	65
3.3. Excerto da carta geológica de Penafiel e representação dos locais amostrados	69
Capítulo 4: Resultados obtidos. Discussão dos resultados	71
4.1. Estatísticos básicos	73
4.2. Medidas de associação de variáveis	79
4.3. Testes estatísticos aplicados às variáveis e respectivas respostas	84
Conclusões finais	89
Bibliografia	93
Anexos	97

Lista de Abreviaturas e Siglas

AAPAN – Absorção de água à pressão atmosférica normal.

CDLT – Coeficiente de dilatação linear térmica.

corr – Correlação.

DA – Densidade aparente.

GPS – *Global Position System*.

IGM – Instituto Geológico e Mineiro.

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

PA – Porosidade aberta.

P – Probabilidade.

RC – Resistência ao choque.

RDA – Resistência ao desgaste.

RDI – Coeficiente de correlação entre as variáveis circulares direcção e inclinação.

RDINE – Coeficiente de correlação entre as variáveis circulares direcção e inclinação nordeste.

RDINW – Coeficiente de correlação entre as variáveis circulares direcção e inclinação noroeste.

RED – Coeficiente de correlação entre a variável linear espaçamento e a variável circular direcção.

REI – Coeficiente de correlação entre a variável linear espaçamento e a variável circular inclinação.

RENE - Coeficiente de correlação entre a variável linear espaçamento e a variável circular direcção nordeste.

RENW – Coeficiente de correlação entre a variável linear espaçamento e a variável circular direcção noroeste.

RMC – Resistência Mecânica à compressão simples.

RMC após TG – Resistência Mecânica à compressão após teste de gelividade.

RMF – Resistência mecânica à flexão.

ZCI – Zona Centro – Ibérica.

Índice de Ilustrações

ILUSTRAÇÃO 1: MAPA GERAL DA LOCALIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS GRANÍTICAS EM PORTUGAL (CASAL MOURA <i>ET AL.</i> , 1997).....	4
ILUSTRAÇÃO 2: ENCRAVE MICROGRANULAR BÁSICO NO GRANITO DE UMA PEDREIRA EM PENAFIEL – PEDREIRA DA MIMOSA. .8	
ILUSTRAÇÃO 3: LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS E EVOLUÇÃO DA EXPLORAÇÃO CONDICIONADAS PELOS CORREDORES DE FRACTURAÇÃO (SOUSA <i>ET AL.</i> , 1998).....	11
ILUSTRAÇÃO 4: TEXTURAS MAIS COMUNS DOS “GRANITÓIDES” PORTUGUESES (CASAL MOURA <i>ET AL.</i> , 2000).....	13
ILUSTRAÇÃO 5: EFEITOS DAS DIFERENTES PRESSÕES QUE ACTUAM DURANTE A CRISTALIZAÇÃO DUM MAGMA (CASAL MOURA <i>ET AL.</i> , 2000)	14
ILUSTRAÇÃO 6A: ESQUEMAS GEOLÓGICO REPRESENTATIVO DAS DIVERSAS FÁCIES GRANITÓIDES NA REGIÃO EM ESTUDO (CÍRCULO A VERMELHO) (FERREIRA <i>ET AL.</i> , 1987)	17
ILUSTRAÇÃO 6B: ESQUEMA GEOLÓGICO REPRESENTANDO OS GRANITÓIDES TARDI F3 NA REGIÃO EM ESTUDO (CÍRCULO A VERMELHO) (FERREIRA <i>ET AL.</i> , 1987)	18
ILUSTRAÇÃO 7: IMAGEM DE CATÁLOGO DO GRANITO CINZENTO DE RIO DE MOINHOS (CASAL MOURA <i>ET AL.</i> , 2000)	20
ILUSTRAÇÃO 8: ZONAS PALEOGEográficas E TECTÓNICAS DO MACIÇO IBÉRICO (RIBEIRO <i>ET AL.</i> , 1979). A PONTEADO ESTÃO ASSINALADAS AS COBERTURAS SEDIMENTARES ADJACENTES AO MACIÇO IBÉRICO.....	22
ILUSTRAÇÃO 9: MEDIÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE DUAS FRACTURAS – PEDREIRA DA COSTA QUEIMADA.....	30
ILUSTRAÇÃO 10: EXEMPLOS DE FRACTURAS FECHADAS, ABERTAS SEM PREENCHIMENTO E COM PREENCHIMENTO, RESPECTIVAMENTE (BARTON <i>ET AL.</i> , 1978)	31
ILUSTRAÇÃO 11: VISTA AÉREA DO LOCAL DO AFLORAMENTO GRANODIORÍTICO (GOOGLE EARTH) E RESPECTIVO DIAGRAMA DE DENSIDADE DE PÓLOS PARA OS PLANOS DE DIÁCLASES (N=20). RECONHECEM-SE DUAS FAMÍLIAS DE FRACTURAS, COMO ORIENTAÇÕES GERAIS NNW – SSE A NW – SE SUBVERTICAL E UMA NW – SE SUBVERTICAL.....	58
ILUSTRAÇÃO 12: AFLORAMENTO GRANODIORÍTICO MOSTRANDO O SEU ESTADO DE ALTERAÇÃO.	58
ILUSTRAÇÃO 13: VISTA AÉREA DA PEDREIRA ABANDONADA EM CABEÇA SANTA (GOOGLE EARTH) E RESPECTIVO DIAGRAMA DE DENSIDADE DE PÓLOS PARA OS PLANOS DE DIÁCLASES (N=22). RECONHECEM-SE DUAS FAMÍLIAS DE FRACTURAS, COMO ORIENTAÇÕES GERAIS NE – SW SUBVERTICAL E UMA NW – SE SUBVERTICAL.....	59
ILUSTRAÇÃO 14: AFLORAMENTOS GRANÍTICOS DA PEDREIRA DE CABEÇA SANTA	59
Ilustração 15:Diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases (n=8). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNE – SSW subvertical e uma NW - SE subvertical.....	60
Ilustração 16: Diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases (n=30). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNE – SSW a NE – SW subvertical e uma NNW – SSE subvertical.....	60
ILUSTRAÇÃO 17: VISTA AÉREA DA PEDREIRA DA COSTA QUEIMADA (GOOGLE EARTH) E RESPECTIVO DIAGRAMA DE DENSIDADE DE PÓLOS PARA OS PLANOS DE DIÁCLASES (N=29). RECONHECEM-SE DUAS FAMÍLIAS DE FRACTURAS, COMO ORIENTAÇÕES GERAIS NNW – SSE A NW – SE SUBVERTICAL E UMA NNE – SSW A NE – SW SUBVERTICAL.....	61
ILUSTRAÇÃO 18: BANCADAS DA PEDREIRA DA COSTA QUEIMADA	61
ILUSTRAÇÃO 19: VISTA AÉREA DA PEDREIRA DA MIMOSA (GOOGLE EARTH) E RESPECTIVO DIAGRAMA DE DENSIDADE DE PÓLOS PARA OS PLANOS DE DIÁCLASES (N=44). RECONHECEM-SE DUAS FAMÍLIAS DE FRACTURAS, COMO ORIENTAÇÕES GERAIS NNW – SSE SUBVERTICAL E UMA NNE – SSW A NE – SE SUBVERTICAL.	62
ILUSTRAÇÃO 20: BANCADAS JÁ DESMONTADAS QUE ILUSTRAM A EXTREMA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA DA MIMOSA.....	62
ILUSTRAÇÃO 21: VISTA AÉREA DA PEDREIRA Nº 6328 (GOOGLE EARTH) E RESPECTIVO DIAGRAMA DE DENSIDADE DE PÓLOS PARA OS PLANOS DE DIÁCLASES (N=8). RECONHECEM-SE DUAS FAMÍLIAS DE FRACTURAS, COMO ORIENTAÇÕES GERAIS NNW – SSE A NW – SE SUBVERTICAL E UMA NE – SW SUBVERTICAL.	63
ILUSTRAÇÃO 22: BANCADA DA PEDREIRA Nº 6328 QUE EVIDENCIA A SUA FRACTURAÇÃO.	63
ILUSTRAÇÃO 23: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DOS GRANODIORITOS E A SUA FREQUÊNCIA.	64
ILUSTRAÇÃO 24: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA ABANDONADA DE CABEÇA SANTA E A SUA FREQUÊNCIA.	65

ILUSTRAÇÃO 25: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO NA ESTRADA CIRCUNDANTE DA PEDREIRA ABANDONADA E A SUA FREQUÊNCIA.	65
ILUSTRAÇÃO 26: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DOS DOIS LOCAIS ANTERIORES E A SUA FREQUÊNCIA.	66
ILUSTRAÇÃO 27: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA DA COSTA QUEIMADA E A SUA FREQUÊNCIA.	66
ILUSTRAÇÃO 28: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA DA COSTA QUEIMADA E A SUA FREQUÊNCIA, NUMA ESCALA AMPLIADA PARA FACILITAR A LEITURA.	67
ILUSTRAÇÃO 29: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA DA MIMOSA E A SUA FREQUÊNCIA.	67
ILUSTRAÇÃO 30: DIAGRAMA DE ROSETA QUE EVIDENCIA AS DIRECÇÕES DOMINANTES DA FRACTURAÇÃO DA PEDREIRA Nº 6328 E A SUA FREQUÊNCIA.....	68
Ilustração 31: Excerto da carta geológica 9D Penafiel e respectivos locais amostrados (Cândido de Medeiros <i>et al.</i> , 1980).....	69

Índice de Tabelas

TABELA 1: ANDAMENTO PÉTRO DECORATIVO MUNDIAL EM 2004 (ADAPTADO DE RABAÇAL MARTINS, 2006).....	6
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS MÉDIAS DOS GRANITÓIDES PORTUGUESES DA ZONA CENTRO IBÉRICA (N = 48 AMOSTRAS) (ADAPTADO DE CASAL MOURA ET AL, 2000).....	7
TABELA 3: COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA MÉDIA DAS ROCHAS ÍGNEAS ORNAMENTAIS PORTUGUESAS (CASAL MOURA ET AL, 2000).....	15
TABELA 4: RESULTADOS MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA (ELEMENTOS MAIORES) DOS GRANITÓIDES PORTUGUESES (CASAL MOURA ET AL., 2000).	16
TABELA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS DO GRANITO DE RIO DE MOINHOS (CASAL MOURA ET AL., 2000).	20
TABELA 6: RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO GRANITO CINZENTO DE RIO DE MOINHOS (CASAL MOURA ET AL., 2000).	20
TABELA 7: CLASSIFICAÇÃO DOS GRANITÓIDES (NORONHA ET AL., 1987).	28
TABELA 8: ESTATÍSTICOS BÁSICOS PARA A VARIÁVEL LINEAR ESPAÇAMENTO ENTRE FRACTURAS, ATENDENDO ÀS DIFERENTES FAMÍLIAS. (NW E NE)	72
TABELA 9: ESTATÍSTICOS BÁSICOS PARA A VARIÁVEL CIRCULAR DIRECÇÃO ENTRE FRACTURAS, ATENDENDO ÀS DIFERENTES FAMÍLIAS. (NW E NE)	75
TABELA 10: ESTATÍSTICOS BÁSICOS PARA A VARIÁVEL CIRCULAR INCLINAÇÃO, POR FAMÍLIAS (NW E NE).....	76
TABELA 11: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR – CIRCULAR PARA A VARIÁVEL LINEAR ESPAÇAMENTO E A VARIÁVEL CIRCULAR DIRECÇÃO.....	78
TABELA 12: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR – CIRCULAR PARA A VARIÁVEL LINEAR ESPAÇAMENTO E A VARIÁVEL CIRCULAR INCLINAÇÃO.	80
TABELA 13: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO CIRCULAR – CIRCULAR PARA AS VARIÁVEIS DIRECÇÃO E INCLINAÇÃO.	81
TABELA 14: TESTES DE HIPÓTESE APLICADOS À VARIÁVEL CIRCULAR DIRECÇÃO.	83
TABELA 15: RESPOSTA AOS TESTES ESTATÍSTICOS APLICADOS À VARIÁVEL CIRCULAR DIRECÇÃO.	83
TABELA 16: TESTES DE HIPÓTESE APLICADOS À VARIÁVEL INCLINAÇÃO.....	85
TABELA 17: RESPOSTA AOS TESTES ESTATÍSTICOS APLICADOS À VARIÁVEL CIRCULAR INCLINAÇÃO.....	85

*“...we can learn a great deal about Earth history,
because that history is recorded in rocks”*

Luís Alvarez, 1997

Capítulo 1.

Introdução e Enquadramento Geológico

1.1.Objectivos gerais do trabalho

O trabalho que se pretende desenvolver, tendo por base a prospecção geológica, incide sobre o estudo da fracturação do maciço granítico de Penafiel tendo em vista a sua exploração para fins ornamentais. Após trabalho de campo, durante o qual se pretende medir a orientação das fracturas bem como o espaçamento entre elas, e consequente recolha de dados, recorre-se a ferramentas informáticas e em especial à estatística circular com a qual se pretende apresentar metodologias de caracterização de algumas variáveis decisivas na exploração de rocha ornamental, como é o caso da direcção e inclinação e espaçamento de fracturas.

A zona de Penafiel é caracterizada por extensos afloramentos graníticos sobre os quais se desenvolve uma vasta actividade de exploração de rochas graníticas, o que tornou este local apropriado ao estudo pretendido.

As pedreiras que abundam em Penafiel são na sua maioria destinadas à produção de britas que exige uma qualidade inferior, a nível de fracturação, por parte do maciço, uma vez que o material extraído vai ser britado até granulometrias reduzidas e a sua posterior aplicação não implica grandes cuidados, enquanto que no caso das rochas ornamentais a fracturação do maciço bem como o seu estado de alteração são factores decisivos.

Os diferentes tipos de produção estão directamente dependentes do estado de alteração e acima de tudo do estado de fracturação em que se encontra o maciço. Tendo em consideração as potencialidades do maciço granítico de Penafiel a nível industrial, pretende-se com este trabalho aproveitar as suas características, especialmente a vasta extensão de afloramentos, com o intuito de ensaiar um estudo de fracturação aplicável a qualquer maciço granítico avaliando, com base em dados recolhidos no campo, a sua utilização em estudos de implementação de pedreiras para produção de rocha ornamental, que apresentam actualmente grande valor no mercado extractivo.

Este trabalho está dividido em três partes fundamentais. Numa parte inicial será feito um enquadramento geológico e serão dadas algumas noções importantes para a compreensão do que aqui se pretende estudar. Segue-se uma segunda parte que diz respeito ao tratamento estatístico dos dados e numa terceira parte serão apresentadas as conclusões finais.

1.2.Rocha ornamental

As rochas ornamentais são assim designadas não por serem um quarto grupo, à parte dos já conhecidos grupos de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, mas sim devido à sua aplicação e, em parte, por exigirem um tratamento diferente. Nas rochas ornamentais é comum considerar, por um lado as rochas carbonatadas, genericamente designadas por mármore e por outro lado as rochas ígneas, silicatadas, genericamente designadas por granitos (Farinha Ramos *et al.*, 1984). Os termos aqui aplicados como “mármore” e “granitos” assumem um significado e uso comercial, não correspondendo ao significado petrográfico definido pelas comissões internacionais de nomenclatura petrográfica.

Em Portugal é sobre estes dois grupos que incide a quase totalidade das explorações de rocha ornamental, correspondendo 79% em volume aos mármore e 21% aos granitos. Tendo em vista o objectivo deste trabalho, a Ilustração 1 apenas reflecte as explorações de rocha ornamental granítica.

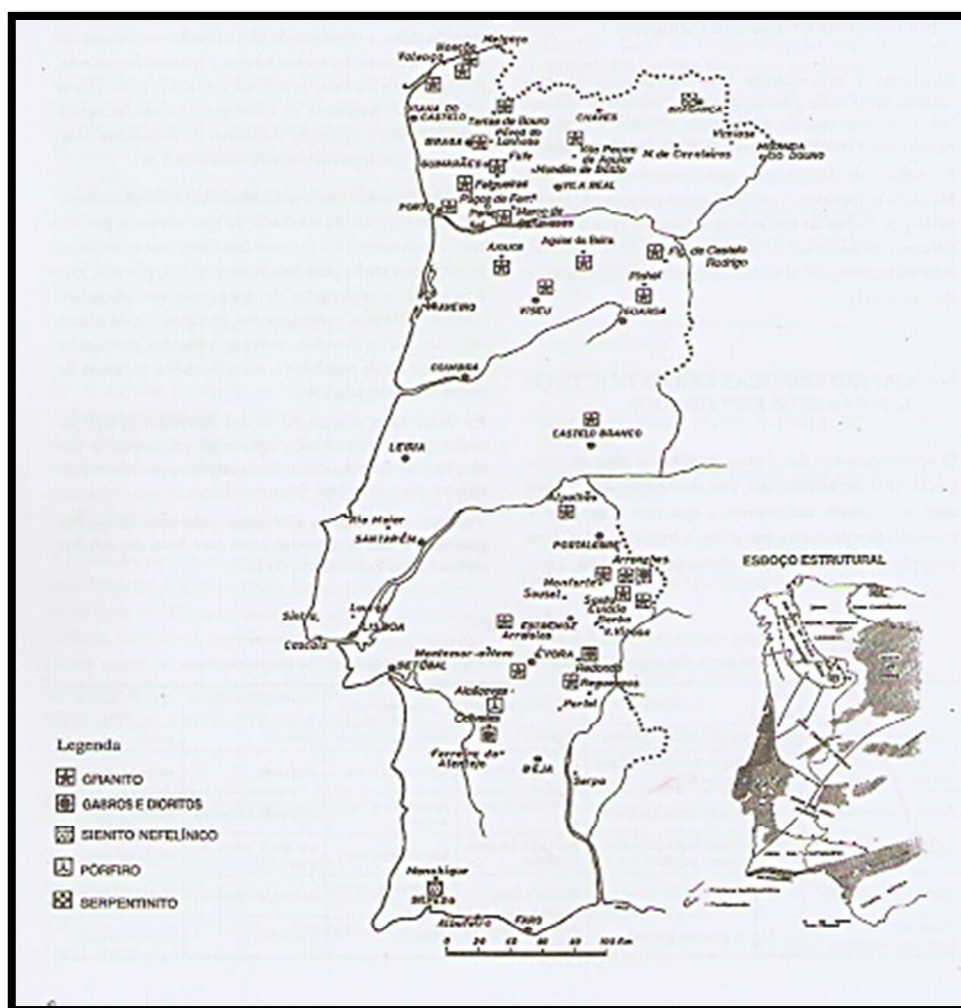


Ilustração 1: Mapa geral da localização das rochas ornamentais graníticas em Portugal (Casal Moura *et al.*, 1997).

O uso comercial do termo granito referido em cima engloba rochas com composição mineralógica variada, desde os granitos propriamente ditos, essencialmente explorados no norte e centro de Portugal Continental, bem como quartzodioritos, dioritos, gabros e granodioritos, predominando a sua exploração no distrito de Évora, e ainda os gnaisses e sienitos nefelínicos no Sul do país (Rabaçal Martins, 2010).

Relativamente aos mármore, para além destas rochas propriamente ditas, estão ainda incluídos diferentes tipos de calcários. A sua exploração predomina no Sul do país onde se encontra o Anticlinal de Estremoz que proporciona grande parte dos mármore explorados.

A aplicação ornamental de cada um destes tipos de rocha ornamental não está apenas dependente das diferenças que ambas apresentam relativamente ao seu aspecto que é visível a olho nu, descrito através de diferentes parâmetros texturais entre os quais se destaca a cor, mas está também intimamente ligado às suas propriedades físicas, condicionantes em boa medida do seu aspecto final em obra, em particular quando polidas (Casal Moura *et al.*, 2000).

As rochas ígneas silicatadas, em geral, devido à sua composição, têm a seu favor os valores elevados que apresentam para alguns parâmetros físicos como a dureza, a resistência à compressão, à flexão, ao choque e ao desgaste. Por estas razões a sua utilização na construção civil tem vindo a crescer designadamente em ambientes exteriores e pisos. Contudo, é fundamental salientar que a alteração meteórica ou hidrotermal das rochas granitóides pode acarretar modificação da tonalidade inicial da rocha para tons amarelos, acastanhados ou avermelhados por impregnação da matriz da rocha com óxidos de ferro (Casal Moura *et al.*, 2000). Os mármore têm quase as mesmas aplicações que os granitos, sendo que a sua durabilidade e beleza são uma mais-valia, mas em contrapartida são menos resistentes a riscos e ao ataque químico de produtos de limpeza ácidos.

De uma forma geral, e salvo as exceções acima referidas, as rochas ornamentais são utilizadas em revestimentos quer interiores quer exteriores, pilares, pisos, colunas e soleiras. Como peças soltas podem ser identificadas em esculturas, tampos, bancadas, balcões, lápides e arte funerária em geral.

1.3.Factores importantes na exploração de rochas ornamentais

São diversos os factores que condicionam a indústria extractiva de rocha ornamental que podem ser agrupados em tecnológicos, económicos e geológicos. Os dois primeiros serão abordados de forma breve, dando especial ênfase aos factores geológicos com destaque para a fracturação, factor de grande importância na exploração de rocha ornamental.

1.3.1.Factores Técnico-económicos

Tendo presente a qualidade e a vasta aplicação da rocha ornamental granítica, o sector de exploração de granitos tem vindo a conhecer nos últimos anos, um importante incremento dentro da indústria extractiva de pedra natural portuguesa (Casal Moura *et al.*, 2000), tornando Portugal e as suas vastas potencialidades como produtor de rochas granitóides, o suporte do contínuo crescimento da actividade extractiva deste tipo de rochas que se estendeu largamente na zona Centro – Norte, atingindo não só o mercado nacional mas também uma excelente posição no mercado internacional (Tabela 1).

Tabela 1: Andamento Pétro Decorativo Mundial em 2004 (adaptado de Rabaçal Martins, 2006).

PRINCIPAIS EXTRACTORES				PRINCIPAIS EXPORTADORES			
	PAÍS	1000 Ton.	Incidência (%)		PAÍS	1000 Ton.	Incidência (%)
1	China	18.000	22.2	1	China	7.534	22.9
2	Índia	9.500	11.7	2	Índia	3.875	11.8
3	Itália	7.650	9.4	3	Itália	3.089	9.4
4	Espanha	6.250	7.7	4	Turquia	2.633	8.0
5	Irão	5.250	6.5	5	Espanha	2.460	7.5
6	Turquia	4.200	5.2	6	Brasil	1.800	5.5
7	Brasil	4.000	4.9	7	Portugal	1.147	3.5
8	Egipto	3.200	3.9		Outros	10.309	31.4
9	Portugal	2.450	3.0				
10	E.U.A	2.300	2.8				
11	Grécia	1.400	1.7				
12	França	1.300	1.6				
13	África do sul	1.100	1.4				
14	Bélgica	1.000	1.2				
	Outros	13.650	16.8				
	TOTAL	81.250	100		TOTAL	32.847	100

Segundo um estudo de Octávio Rabaçal Martins, publicado em 2010, na Revista INGENIUM, no artigo “Rochas Ornamentais Portuguesas”, encontravam-se em actividade 324 unidades extractivas no que diz respeito aos “mármore” (78,8%) e 87 unidades para o caso dos “granitos” (21,2%), no que diz respeito a blocos esquadrejados. O número de pedreiras em funcionamento tem vindo a diminuir, mas a sua capacidade extractiva global aumentou devido à utilização de meios de extracção mais apropriados como o fio diamantado, e ao aumento da área das pedreiras (Silva, 1992).

É importante para o bom funcionamento económico de uma pedreira a sua localização em relação a pontos-chave, isto é, quanto mais próximo estiver de estradas mais fácil será a construção de acessos ao local a implementar a pedreira e sem grandes encargos bem como a proximidade com um mercado existente que dê escoamento à pedra produzida (Moreira, 1995).

1.3.1.1. Características importantes da pedra

As características que a pedra deve apresentar para criar impacte no mercado e ter um valor que seja rentável são extremamente importantes. Não se pode considerar apenas a estética mas também as características físico-mecânicas, porque apesar de os factores geológicos serem os primeiros a determinar a localização e viabilidade da exploração de rocha com fins ornamentais, a verdade é que pode até haver pedra de qualidade e quantidade exigidas e mesmo assim não ser explorável por outros factores.

As características físico-mecânicas permitem avaliar a aptidão que uma determinada rocha apresenta para ser utilizada com determinada finalidade. Só assim é possível aconselhar qual a melhor aplicação para uma dada rocha, que deverá ser aquela em que esta encontre o seu valor técnico, estético e comercial mais elevado (Casal Moura *et al.*, 2000). Segundo dados fornecidos pelo LNEG, os granitóides portugueses (tabela 2) revelam excelentes características físico-mecânicas, que os tornam possíveis de ser utilizados em praticamente todas as aplicações.

Tabela 2: Características físico-mecânicas médias dos granitóides portugueses da Zona Centro Ibérica (n = 48 amostras) (adaptado de Casal Moura *et al.*, 2000).

	RMC	RMC após TG	RMF	DA	AAPAN	PA	CDLT	RDA	RC
	(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/m)	(% peso)	(% vol.)	X10 ⁻⁶ /°C	(mm)	(cm)
Média	1359	1279	154	2636	0,32	0,84	7,8	0,3	63
Máximo	2534	2408	235	2711	1,42	3,82	10,3	0,8	90
Mínimo	590	571	49	2516	0,1	0,26	6,4	0,1	45

É igualmente importante admitir-se uma certa variabilidade nas propriedades físicas, mecânicas e químicas em materiais de idêntica natureza de pedreira para pedreira, e até mesmo dentro de muitas das melhores pedreiras. Muitas das principais características das rochas naturais estão intrinsecamente correlacionadas com a textura e estrutura da rocha, com o tamanho relativo e a dimensão média do grão. Estes parâmetros bem como o estado de conservação dos minerais seus constituintes condicionam fortemente a aptidão de cada rocha ao polimento e respectiva durabilidade (Casal Moura *et al.*, 2000).

Quando se trata de rochas ornamentais silicatadas, como o caso dos granitos, pretende-se sobretudo obter uma certa homogeneidade quer em termos de textura quer em termos de coloração. Deste modo, tudo que possa prejudicar essa homogeneidade é considerado penalizante e deve ser evitado. São exemplos de heterogeneidades texturais os encraves biotíticos e de rochas básicas (Ilustração 2), zonas com tendência aplítica, bandas de coloração mais ou menos intensas, filões aplíticos, auréolas acastanhadas rodeando as biotites, etc. Estes defeitos da pedra são uma das causas para baixar o rendimento útil das pedreiras de rocha ornamental, chegando mesmo a ser inferior a 50% (Farinha Ramos *et al.*, 1984).



Ilustração 2: Enclave microgranular básico no granito de uma pedreira em Penafiel – Pedreira da Mimosa.

Assim que as rochas são polidas, a sua cor e aspecto são características fundamentais que determinam o seu valor comercial. A cor das rochas silicatadas depende da sua composição mineralógica, especialmente da percentagem de minerais ferro-magnesianos, e dos processos de alteração que possam sofrer. Exemplos desta alteração são os *granitos amarelos* cuja coloração provém da precipitação de óxidos de ferro hidratados que impregnam a rocha, especialmente os feldspatos. É comum em Portugal encontrar granitos de tons amarelos, no entanto, nem sempre se encontram grandes volumes de rocha alterada com o mesmo tom, impedindo deste modo que a sua exploração seja mais elevada.

Se por um lado as características físicas das rochas ígneas silicatadas são uma mais-valia tornando-as dificilmente alteráveis mesmo em regiões de climas mais agressivos, essas mesmas características podem tornar-se um problema económico se o valor da rocha não for suficientemente alto, isto é, o arranque, serragem e polimento tornam-se mais difíceis, razão pela qual o revestimento com este tipo de material tem um custo elevado por metro quadrado (Farinha Ramos *et al.*, 1984).

Além das características da pedra que foram atrás referidas é importante que o maciço a explorar seja capaz de garantir reservas suficientes. As reservas estimadas para os granitos portugueses, potenciais rochas ornamentais, são igualmente um factor económico de grande importância. Mais à frente, faz-se referência às reservas estimadas do granito ornamental explorado em Penafiel.

1.3.1.2.Exigências do mercado

Não basta que um maciço disponha de pedra de qualidade e em quantidade para que se possa deduzir que será rentável a sua exploração. A pedra natural com fins ornamentais tem como factor fundamental, a nível de mercado, as suas características estéticas que determinam o seu valor e que estão constantemente sujeitas às flutuações da moda, que nem sempre é fácil de prever (Casal Moura *et al.*, 2000).

Claro está que alguns granitóides já têm implícito um determinado valor comercial uma vez que são normalmente preferidos para determinadas utilidades como os de tonalidades escuras que são preferidos pela arte funerária.

Quando se trata de rochas com características estéticas mais peculiares, e portanto mais reclamadas pelos mercados, não surgem problemas de comercialização, contudo se as rochas são mais comuns a sua rentabilidade está dependente da proximidade das unidades transformadoras e/ou consumidores, do tamanho dos blocos e da facilidade com que podem ser extraídos. Destas últimas são exemplo as rochas cinzento-azuladas ou acizentadas que é o caso do granito do maciço de Penafiel. Estas rochas são as mais comuns na produção nacional, e com excepção de alguns casos particulares, apresentam valor estético modesto e portanto valor comercial limitado. Para que possam competir com outras rochas ornamentais devem fazer parte de maciços acessíveis, com largas reservas facilmente exploráveis, de razoável homogeneidade e com possibilidade de fornecerem blocos de grandes dimensões.

Deste modo, toda a pedra disponível que não seja capaz de alcançar um elevado índice de procura, terá de ser oferecida em condições especialmente vantajosas, que só podem ser conseguidas com uma exploração e transformação particularmente rentáveis. Mais de 70% dos maciços portugueses produzem rochas cinzento-azuladas e, portanto, é importante responder às condições de exploração que estas exigem para que o rendimento possa maximizar-se (Casal Moura *et al.*, 2000).

Nestes casos, são portanto os factores geológicos que condicionam desde o primeiro momento a viabilidade da exploração ornamental da rocha granítica. Numa certa altura da selecção das zonas a explorar, os factores geológicos e económicos cruzam-se e determinam os maciços mais favoráveis à exploração e as suas características básicas, que se descrevem simplificadaamente. Os maciços devem ser constituídos por tipos de rochas exibindo suficiente homogeneidade de tonalidade e textura; oferecerem condições topográficas que facilitem a exploração e possuírem zonas acessíveis; serem suficientemente extensos para garantirem reservas no tempo, possuírem zonas com fracturação suficientemente espaçada e com orientação mútua conveniente para possibilitar a extracção de blocos paralelepípedicos com dimensões comercializáveis (Casal Moura *et al.*, 2000).

1.3.2.Factores Geológicos

A fracturação natural tem origem em processos geológicos que afectam os maciços, e pode ser interpretada como um registo dos estados de tensão a que o maciço esteve sujeito durante a sua história geológica. É a fracturação natural que controla a capacidade de um maciço granítico fornecer blocos de dimensões elevadas, uma condição imposta pela indústria transformadora e pelo mercado (Silva, 1992).

1.3.2.1.Fracturação de maciços rochosos graníticos

Os maciços graníticos apresentam uma fracturação natural que influencia directamente a sua capacidade de fornecer matéria-prima possível de ser utilizada como rocha ornamental (Sousa *et al.*, 1998). A fracturação como penalizante está intimamente ligada ao valor comercial do material extraído. Com efeito, ao sector da pedra ornamental interessa sobretudo obter superfícies intactas de grandes dimensões, pelo que geralmente são apenas consideradas viáveis de exploração as pedreiras que têm condições para extrair blocos com a dimensão comercial, aproximadamente 0,8mx1mx1,3m. A densidade da fracturação é também um factor importante e tem-se como ideal pelo menos um espaçamento métrico (Farinha Ramos *et al.*, 1984). Um bloco fracturado, ou com fracturas mesmo que não abertas, pode ser rejeitado comercialmente, e caso não seja, implica perdas monetárias elevadas (Miranda, 2005).

A fracturação tem grande importância na explorabilidade de rochas ornamentais e o seu estudo deve abranger quer a fracturação local quer a fracturação regional, estando estas englobadas na fracturação natural do maciço. Contudo, à medida que decorre a formação do maciço por processos magmáticos, podem-se distinguir dois tipos de fracturação, a fracturação primária ligada aos fenómenos magmáticos, possuindo relações nítidas com as estruturas fluidais, e a fracturação secundária, que poderá ser também importante, relacionada com as tensões que actuaram após a implantação das intrusões graníticas, já com o material totalmente cristalizado (Sousa, 1999).

A fracturação regional remete-se à família de diaclases e falhas, que podem ser várias, e que compõem o maciço rochoso da região. Nas intersecções de fracturas, a intensidade de fracturação e alteração são obviamente mais intensas. As pedreiras estão localizadas nos compartimentos entre as bandas alteradas definidas pelas várias falhas devido ao menor diaclasamento e alteração do granito (Sousa *et al.*, 1998). São estas famílias de falhas com grande extensão que delimitam as zonas onde o maciço apresenta melhores condições de alteração e fracturação, localizando-se as pedreiras entre estes “corredores de fracturação”, o que origina pedreiras localizadas em zonas estreitas dando-se a sua evolução em comprimento ao longo de uma zona menos fracturada (Sousa *et al.*, 1998.). (Ilustração 3)



Ilustração 3: Localização das pedreiras e evolução da exploração condicionadas pelos corredores de fracturação (Sousa *et al.*, 1998).

Por sua vez, a fracturação local prende-se com a fracturação do maciço que vai ser explorado. Nas pedreiras é comum predominarem as falhas sub-verticais, uma vez que as sub-horizontais são menos comuns em virtude da pouca profundidade que atingem. No entanto, se estas últimas apresentarem pendor variável tornam-se extremamente penalizantes para a exploração visto que inviabilizam a obtenção de zonas do maciço com possibilidade para extrair blocos paralelepípedicos com o contributo da fracturação natural, e são mais frequentes nas situações em que as pedreiras estão implantadas em locais com declive acentuado. a origem destas diaclases está relacionada com a movimentação brusca de zonas do maciço delimitadas por falhas sub-verticais e a consequente diminuição de carga (Sousa, 1999 adaptado de Romani *et al.*,1995).

É importante referir que quando as falhas sub-horizontais estão presentes há um padrão de fracturação mais favorável. O levantamento da fracturação local tem em vista controlar as características mais importantes do diaclasamento observado, nomeadamente, a frequência relativa das diversas famílias de diaclases e sua orientação, o espaçamento entre diaclases contíguas, os seus enchimentos e impregnações (Silva, 1992), assunto que será devidamente tratado no capítulo da prospecção geológica.

Na grande maioria dos maciços rochosos graníticos coexistem três famílias de fracturas, sendo, em geral, dois deles sub-verticais e um sub-horizontal. A fracturação sub-horizontal, dado que o seu espaçamento é alargado para no caso em estudo, não se torna um problema para a extracção de blocos com as dimensões exigidas. Quando tal se verifica, o desmonte deve acompanhar a direcção preferencial de fracturação sub-vertical ao qual corresponde o plano de partição mais favorável da rocha (Silva, 1992).

É em geral aceite que a densidade e orientação do sistema de fracturação de uma pedreira, quer em termos de diáclases quer de falhas, está extremamente condicionado pelo padrão de fracturação regional, em especial pelos grandes alinhamentos tectónicos regionais. Penafiel e o maciço granítico prospectado encontram-se no meio de dois importantes cisalhamentos, o cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e o cisalhamento Vigo-Régua. As estruturas como as diaclases estão, regra geral, relacionadas com a fase final de consolidação dos maciços, em que o comportamento mecânico do material já é, essencialmente, rígido. O diaclasamento do maciço pode ser influenciado por estruturas planares prévias, designadamente a foliação da rocha, magmática ou metamórfica.

Na exploração de rochas ornamentais não se utilizam explosivos de alta potência, e no caso dos granitos é comum o desmonte ser feito com recurso a pólvora negra. Mesmo com este tipo de explosivos, o rebentamento pode originar microfracturas ou abrir fracturas naturais, problema que pode ser minimizado com a redução do seu uso, mas sendo o granito uma rocha tão dura, o recurso ao explosivos é inevitável pelo menos para o corte das bancadas, tentando seleccionar explosivos que provoquem menor fracturação. Por outro lado, podem também surgir fracturas por alívio de tensão, isto é, à medida que se faz o desmonte das camadas superiores alivia-se a tensão das camadas inferiores. Portanto, a própria exploração leva à formação de fracturas no maciço (Miranda, 2005).

Fica claro que o estudo geológico de pormenor de um maciço, antes da instalação de uma pedreira, é extremamente importante pois quanto mais afastada de um corredor de fracturação estiver a pedreira, maior é a possibilidade do diaclasamento ser favorável, ou seja, apresentar espaçamentos mais elevados. O diaclasamento observado nas pedreiras nem sempre é análogo ao principal sistema de fracturação dos maciços, o que pode ser explicado pelo facto de muitas das grandes fracturas serem constituídas por um conjunto de fracturas secundárias com orientação distinta da fractura principal (Silva, 1992 a partir de Blès e Feuga, 1981; Gamond e Giraud, 1982).

Interessa então à exploração de granitóides que os maciços sejam capazes de garantir reservas que viabilizem uma exploração; os tipos de rochas que os constituem devem apresentar relativa homogeneidade quer de tonalidade quer de textura, sendo menos frequentes os encraves, filões ou filonetes; fracturação suficientemente espaçada e com orientação mútua de forma a ser possível extrair blocos paralelepípedicos com dimensões comercializáveis, assegurando o bom rendimento das explorações; os afloramentos correspondentes exibem condições que facilitem a exploração.

1.4.Enquadramento geológico

1.4.1.Aspectos petrográficos gerais dos granitos

Os granitos são rochas ígneas que resultam da consolidação de magmas primários ou secundário, em profundidade, quer “in situ”, quer após terem ascendido através de fracturas da crosta terrestre. O local de arrefecimento do magma determina o seu aspecto, visto que os minerais têm mais ou menos tempo para se formarem.

Ordinariamente, os granitos são rochas duras, hololeucocratas (rochas muito claras que apenas possuem minerais félsicos) a leucocratas (rochas claras que possuem maioritariamente minerais félsicos mas apresentam alguns minerais máficos) de tonalidade esbranquiçada, cinzenta clara ou cinzenta – azulada, rosada ou avermelhada (Casal Moura *et al.*, 2000).

A sua granularidade apresenta-se muito variável, desde fina no caso dos granitos aplíticos, a grosseira que é o caso dos pegmatíticos, até à das fácies de matriz microgranular de quartzo e feldspato bem desenvolvidos, como nos granitos porfiríticos. São ainda comuns as fácies porfiróides em que megacristais normalmente de feldspato, se destacam da matriz granular (Casal Moura *et al.*, 2000).

Do ponto de vista mineralógico, as rochas graníticas são essencialmente constituídas por feldspatos (feldspatos alcalinos e plagioclase, com predomínio dos primeiros) e quartzo, ocorrendo como principais minerais acessórios a biotite e a moscovite e, em menores quantidades, outras espécies minerais como apatite, rútilo, zircão, monazite, turmalina e minerais opacos, entre outros (Casal Moura *et al.*, 1997). A nível petrográfico um granito é uma rocha plutónica com textura granular holocristalina (Ilustração 4).

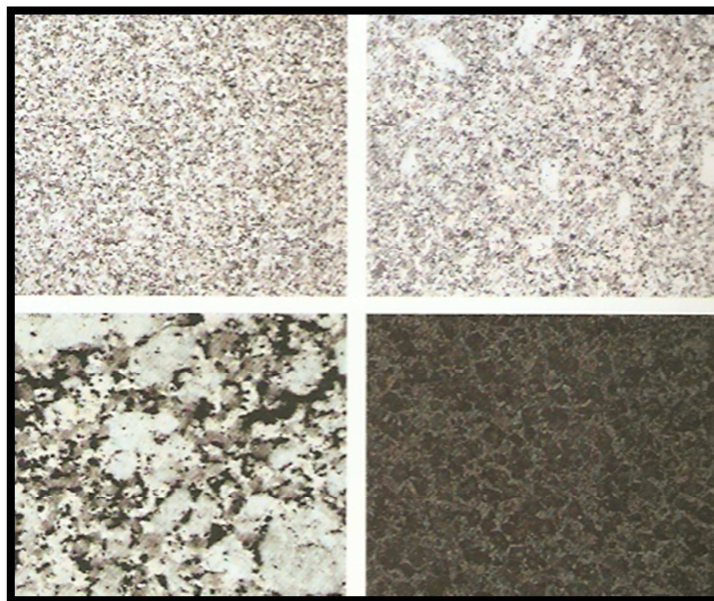


Ilustração 4: Texturas mais comuns dos “granitóides” portugueses (Casal Moura *et al.*, 2000)

A textura dos granitóides está intimamente ligada ao tipo de pressão que é exercida durante a cristalização do magma, isto é, se a pressão é litostática então a textura apresenta-se não orientada, por sua vez se a pressão for dirigida, a textura surge planar (orientada) (Ilustração 5). Dizem-se rochas ácidas por possuírem um teor em sílica superior a 65% o que lhes confere fracos índices de meteorização.

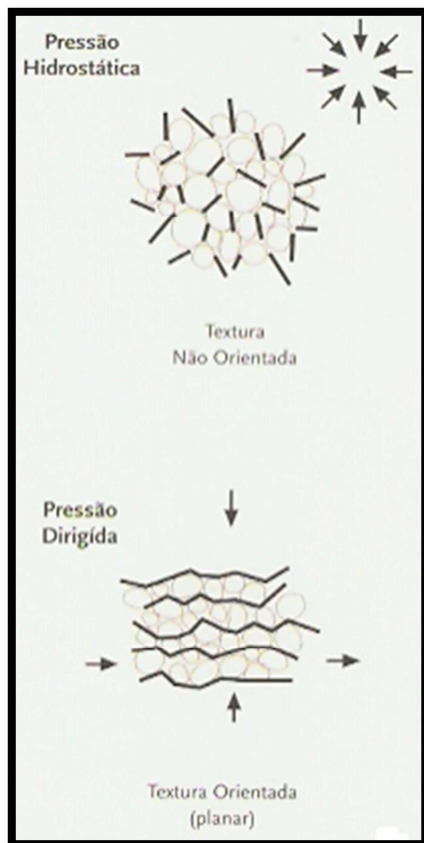


Ilustração 5: Efeitos das diferentes pressões que actuam durante a cristalização dum magma (Casal Moura *et al.*, 2000)

1.4.2. Petrografia e Mineralogia dos Granitóides Portugueses

Para suportar este tópico optou-se por utilizar alguns resultados do IGM obtidos a partir de algumas amostras de granitóides da Zona Centro-Ibérica, como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Composição Mineralógica média das rochas ígneas ornamentais portuguesas (Casal Moura et al, 2000)

Zona Centro - Ibérica (32 amostras)			
Mineral	Média (%)	Intervalo de Variação (%)	Notas
Feldspato Potássico	33,3	15 - 55	Os valores extremos referem-se ao granito cinzento de Pinhel.
Plagioclase	27,1	7 - 45	O valor mínimo refere-se ao gnaisse da Chainça.
Quartzo	27,5	12 - 48	O valor mínimo refere-se ao gnaisse da Chainça.
Moscovite	4,3	0 - 15	Ausente em alguns dos granitos pós-tectónicos.
Biotite	6,8	3 - 16	
Outros minerais	1,2	0,1 - 3	

Tal como já tinha sido referido anteriormente em relação aos granitos, fica claro que o feldspato potássico é o mineral predominante seguido da plagioclase e do quartzo. Quanto às micas, a biotite está mais presente mas a diferença entre elas é muito reduzida. Os outros minerais aqui considerados quase nem se fazem sentir. É importante referir que dentro destas amostras não estão apenas granitos, mas sim todo o tipo de granitóides da Zona Centro-Ibérica que originam rochas possivelmente aplicadas como rocha ornamental. Ainda que não conhecendo quais os granitóides analisados, não deixa de ser nítido que estes resultados se aproximam da composição mineralógica dos granitos em geral.

Os resultados das análises químicas de elementos maiores permitem aos petrógrafos efectuarem o cálculo da composição mineralógica virtual das rochas como meio de as classificarem através do seu conteúdo em minerais virtuais de composição bem definida e de as caracterizarem em termos de parâmetros descritores dos magmas que lhe deram origem (Casal Moura *et al.*, 2000).

Além da composição mineralógica, o Instituto Geológico e Mineiro tem também publicados resultados da análise química de granitóides portugueses, igualmente da Zona Centro-Ibérica (tabela 4).

Tabela 4: Resultados médios da análise química (elementos maiores) dos granitóides portugueses (Casal Moura *et al.*, 2000).

Zona Centro - Ibérica (41 amostras)			
Elementos Maiores	Média	Mínimo	Máximo
SiO₂	70,68	62,97	75,13
Al₂O₃	14,45	12,31	16,36
Fe₂O₃ Total	2,63	1,57	5,00
MnO	0,07	<0,1	<0,2
CaO	1,29	0,60	2,94
MgO	0,49	0,08	1,72
Na₂O	3,61	2,96	4,28
K₂O	5,09	3,87	6,22
TiO₂	0,25	0,05	0,85
P₂O₅	0,23	0,03	0,40

Estes resultados comprovam aquilo que foi dito anteriormente relativamente à acidez das rochas, uma vez que a sílica está presente em mais de 65%. O alumínio é o elemento que predomina depois da sílica, apesar de o seu valor ser substancialmente mais pequeno. Os restantes elementos estão presentes em percentagens reduzidas. Esta tabela tem como objectivo elucidar o leitor em relação à composição química dos granitóides portugueses da Zona Centro - Ibérica.

1.4.3. Penafiel e a geologia circundante

Na região estudada afloram dois grandes conjuntos de rochas. Um conjunto mais antigo, formado por unidades de natureza metassedimentar, e um conjunto de origem magmática e composição predominantemente granitóide que intrui os metassedimentos atrás referidos, originando auréolas de metamorfismo térmico nas imediações dos corpos graníticos. Os afloramentos graníticos da zona de Penafiel estão situados numa grande faixa composta por rochas graníticas que se estende do Minho até as Beiras (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980).

No final da instalação destes maciços graníticos, há uma importante fase de deformação frágil, com a formação de fracturação mais ou menos intensa e duas direcções predominantes. Estas descontinuidades mecânicas dos maciços graníticos facilitaram o encaixe de filões e massas de quartzo. Os filões mais espessos instalaram-se nas fracturas com direcção NE-SW (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980).

Dado o objectivo da exploração ornamental, a fácies petrográfica dos granitóides aflorantes é de primeira importância. Uma primeira aproximação ao conhecimento dos litótipos aflorantes (fácies petrográficas) pode ser obtida pela observação da folha 9-D (Penafiel) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 Na legenda deste mapa, as rochas graníticas estão organizadas de acordo com a sua composição mineralógica, e pela sua cronologia relativamente às principais fases de deformação orogénica Varisca.

Tais critérios de seriação e distinção cartográfica vão de encontro à necessidades deste estudo. Por um lado a fácies petrográfica que motiva uma maior ou menor procura da rocha e, depois, a estruturação orogénica (dúctil no caso da foliação e frágil no caso do falhamento e diaclasamento) que determina a compartimentação do maciço por descontinuidades e anisotropias planares.

As rochas granitóides que se estendem por toda a zona de Penafiel e que têm grande importância no âmbito deste trabalho são essencialmente tardi a pós-orogénicas. Sucintamente pode dizer-se que o substrato granítico da zona de Penafiel, de aspecto algo monótono, é constituído por granito porfiróide de grão grosseiro, duas micas, calco-alcalino (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980) (Ilustração 6a e 6b).

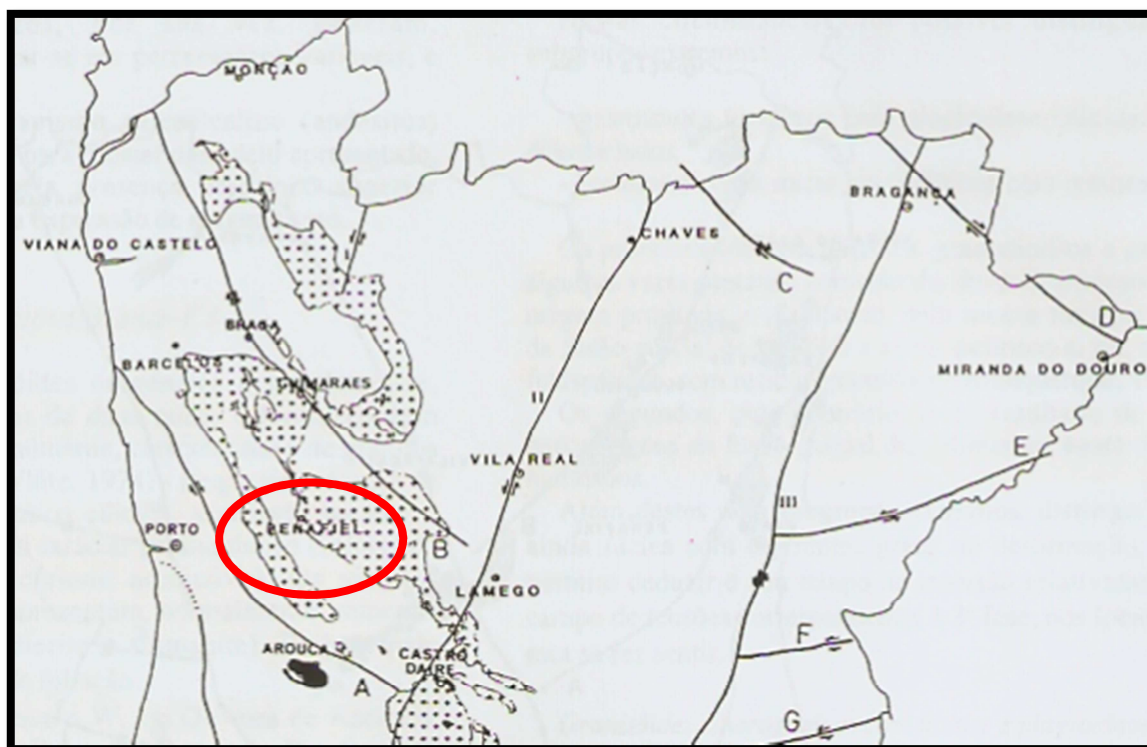


A – Cisalhamento do Sulco Carbonífero Durico-Beirão
B – Cisalhamento Vigo-Régua
C – Cisalhamento Laza-Rebordelo
D – Cisalhamento Vivero-Ifanes
E – Cisalhamento Moncorvo-Bemposta
F – Cisalhamento Escalhao-Quintados Boais

I – Falha Gerês-Lovios
II – Falha Régua-Verin
III – Falha da Vilarça

Leucogranitos (tardios)
Granitos de grão médio a fino com esparsos megacristais
Granitos porfiróides de grão médio
Percursos intermédios a básicos

Ilustração 6a: Esquema geológico representativo das diversas fácies granitóides na região em estudo (circulo a vermelho) (Ferreira *et al.*, 1987).



- | | |
|---|------------------------|
| A – Cisalhamento do Sulco Carbonífero Durico-Beirão | I – Falha Gerês-Lovios |
| B – Cisalhamento Vigo-Régua | II – Falha Régua-Verin |
| C – Cisalhamento Laza-Rebordelo | III – Falha da Vilarça |
| D – Cisalhamento Vivero-Ifanes | |
| E – Cisalhamento Moncorvo-Bemposta | |
| F – Cisalhamento Escalhão-Quintados Boais | |

Ilustração 6b: Esquema geológico representando granitóides tardi F_3 na região em estudo (círculo a vermelho) (Ferreira *et al.*, 1987)

Na fase final da sua instalação, os granitos estiveram sujeitos a forças compressivas que atribuíram uma orientação planar aos seus megacristais. A importante fracturação longitudinal que se fez sentir por este maciço facilitou a instalação de um corpo granitóide cujos diferenciados microcristalinos preencheram uma segunda fracturação, transversa, menos significativa. Deste modo, os granitóides intrusivos no granito porfiróide de grão grosseiro deram origem a uma série com vários diferenciados químico-estruturais. A série intrusiva é composta no seu exterior pelos termos mais ricos em cálcio, ferro e magnésio, de composição granodiorítica. O corpo do maciço é formado por granito porfiróide de grão médio que em vários locais brechifica e permite a intrusão dos anteriores, seguindo para a cúpula, perdem-se os megacristais e o grão torna-se mais fino. Um posterior período de relaxamento pode ter sido responsável pela abertura de fendas transversais quer no maciço quer no batólito principal. Criadas as condições necessárias, começam a instalar-se os últimos diferenciados da série, surgem então microgranitos de duas micas, ainda calco-alcalinos e por fim um termo empobrecido em cálcio, ferro e magnésio (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980).

As zonas onde foi levado a cabo o trabalho de prospecção são compostas por dois grupos distintos de rochas, os granodioritos ricos em biotite e os granitos porfiróides de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotíticos, de modo que serão alvo de descrição pormenorizada.

Granodioritos ricos em biotite

Estas rochas são os termos mais básicos e ricos em ferro e magnésio de toda a série intrusiva. No terreno apresentam coloração cinzenta escura e grão fino, sendo que em muitos casos contêm macrocristais de feldspato potássico geralmente na bordadura de encaves. É frequente este tipo de rochas apresentar disjunção esferoidal dando lugar a blocos arredondados, característicos dos locais onde estas se instalaram. Os afloramentos de granodioritos estão dispersos e concentram-se próximo do contacto entre as duas fácies de granito porfiróide. Os minerais mais abundantes são quartzo, plagioclase e biotite, como minerais subordinados mais vulgares, apresenta moscovite, apatite, zircão e óxidos de ferro e titânio (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980).

Granitos porfiróides de grão grosseiro e duas micas, essencialmente biotítico

Estes tipos de granitos são considerados granitos regionais visto serem os mais antigos e constituírem o substrato granitóide. Esta unidade rochosa está retalhada por importantes falhas que obedecem a dois sistemas ortogonais, um NW-SE mais antigo, e um NE-SW mais recente.

Os granitos deste tipo sofreram intensa fracturação e portanto apresentam-se desagregados. Exibem tonalidade cinzento-acastanhada, manchada de negro devido à presença de biotite. Como o próprio nome indica, o grão é bastante grosseiro e a estrutura porfiróide. Como minerais mais abundantes estão as plagioclases, quartzo e biotite e moscovite. Os minerais subordinados são semelhantes aos do granodiorito.

Característica praticamente exclusiva destas rochas são as deformações pós-cristalinas como é o caso da fracturação dos feldspatos.

Como será de fácil compreensão, estes não são os únicos elementos a fazerem parte dos granitóides que abundam no nosso país e a sua distribuição não é de todo aleatória, pelo que é necessário entrar um pouco mais no campo da geologia e alargar o estudo, ainda que não exageradamente pormenorizado, a uma região mais extensa, a Zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico (Cândido de Medeiros *et al.*, 1980).

1.4.3.1. Granito Cinzento de Rio de Moinhos

Este granito é o mais comum, para produção de rocha ornamental, na zona de Penafiel, e por esta mesma razão será aqui descrito sucintamente com base num catálogo de rochas ornamentais publicado pelo Instituto Geológico Mineiro no ano 2000.

O granito cinzento de Rio de Moinhos localiza-se na freguesia da qual herdou o nome, no concelho de Penafiel, distrito do Porto, onde as reservas disponíveis são consideradas grandes. Macroscopicamente é um granito de duas micas com grão médio e cor cinzento azulado, apresentando esparsos megacristais de feldspato de pequeno tamanho (Ilustração 7).

Ilustração 7: Imagem de catálogo do Granito Cinzento de Rio de Moinhos (Casal Moura *et al.*, 2000)



Microscopicamente apresenta-se como sendo uma rocha com textura hipidiomórfica granular e ligeiro porfiroidismo. Os minerais essenciais são quartzo (42%), microclina (28%), plagioclase (18%) e moscovite (7%). Como minerais acessórios surge a biotite (5%) e sericite, clorite, apatite, zircão, andalusite, e minerais opacos sobre a forma de vestígios.

Após ter sido sujeito a vários testes comprovou-se que a cor da rocha se mantém intacta quanto a alterações de temperatura bem como a sua resposta aos testes físico-mecânicas é igualmente positiva (tabela 5). Quanto à análise química, os resultados estão representados na tabela 6. Assim que foram analisados os resultados obtidos concluiu-se que este granito é apropriado para aplicar quer em interiores quer em exteriores.

Tabela 5: Características físico-mecânicas do granito de Rio de Moinhos (Casal Moura *et al.*, 2000).

RMC	RMC após TG	RMF	DA	AAPAN	PA	CDLT	RDA	RC
Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/m ³	% (peso)	% (volume)	X10 ⁻⁶ /°C	mm	cm
1618	1466	156	2657	0.19	0.50	7.3	0.3	55-60

Tabela 6: Resultados da análise química do granito cinzento de Rio de Moinhos (Casal Moura *et al.*, 2000).

Elementos Maiores	(%)
SiO ₂	69,91
Al ₂ O ₃	15,45
Fe ₂ O ₃ Total	2,12
MnO	0,04
CaO	1,42
MgO	0,43
Na ₂ O	3,31
K ₂ O	4,98
TiO ₂	0,26
P ₂ O ₅	0,27
H ₂ O ⁺	1,07
H ₂ O ⁻	0,08

A geologia de Penafiel onde se desenvolveu o estudo e, mais em particular, os vastos afloramentos graníticos que aí afloram, fazem parte de um conjunto geológico muito mais vasto que é designado por Maciço Ibérico. Deste modo, e para além da breve síntese sobre a geologia da região circundante de Penafiel, importa enquadrá-la num esquema geológico mais abrangente – o Maciço Ibérico – afinal aquele cuja dimensão permite entender a enorme extensão aflorante dos corpos granitóides no Norte e Centro de Portugal, bem como a magnitude dos fenómenos geológicos que lhes deram origem.

1.5.0 Maciço Ibérico e a Orogenia Varisca

Portugal continental pode ser dividido em duas grandes unidades geoestruturais: o Maciço Ibérico, também conhecido por Maciço Hespérico, que constitui três quartos do nosso país, e terrenos mais recentes designados por Orlas pós-paleozóicas essencialmente constituídos por rochas carbonatadas e formações arenosas.

O Maciço Ibérico representa o conjunto de rochas ante-mesozóicas originado e estruturado durante o ciclo de Wilson varisco. O final deste ciclo, envolvendo o fecho de uma bacia oceânica e a subsequente colisão de duas grandes massas continentais, implica a amalgamação de vários conjuntos geológicos originalmente separados no espaço. Esta individualidade geográfica original ainda é possível de discernir através da zonalidade definida para o Maciço Ibérico.

O Maciço Ibérico está dividido pelas seguintes zonas, começando de norte até ao sul: Zona Cantábrica, Zona Oeste Astúrico-Leonesa, Zona Centro-Ibérica, Zona da Ossa Morena e por último a Zona Sul Portuguesa. Estas divisões só foram possíveis devido às diferenças que foram encontradas a nível paleogeográfico, no estilo tectónico, no magmatismo e no metamorfismo de cada uma. Estas zonas estão separadas por acidentes tectónicos principais, sugerindo o controlo da zonalidade através de falhas profundas que separam compartimentos crustais de natureza diferente (Ilustração 8).

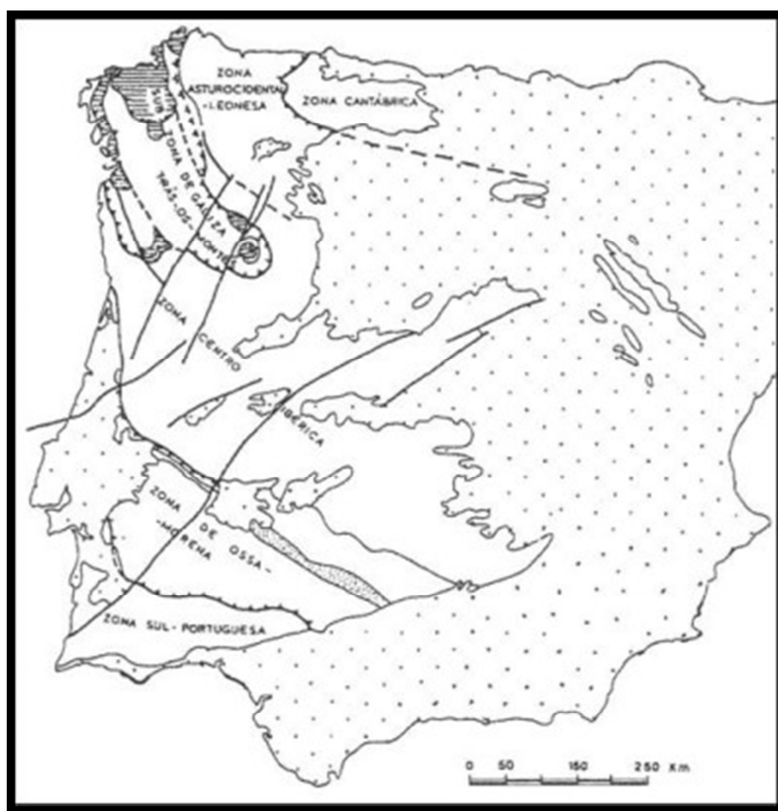


Ilustração 8: Zonas paleogeográficas e tectónicas do Maciço Ibérico (Ribeiro *et al.*, 1979). A ponteado estão assinaladas as coberturas sedimentares adjacentes ao Maciço Ibérico.

Os granitóides estudados, todos eles pertencentes à Zona Centro-Ibérica, são o resultado da fusão crustal originada pelo processo orogénico e são, na sua grande maioria instalados na fase final do processo orogénico. Os granitóides de Penafiel são uma pequena porção da extensa quantidade de granitóides que constituem a Zona Centro – Ibérica.

1.5.1.Evolução Geológica do Maciço Ibérico

No contexto do Ciclo de Wilson Varisco referiu-se o relacionamento dos granitóides com o processo orogénico, designadamente a fusão crustal que lhes deu origem e os seus mecanismos de instalação. Nesse ciclo, antes do processo final de convergência litosférica que por subducção e, mais tarde por colisão continental, gera a orogenia, há uma etapa fundamental de *rifting* continental e subsequente expansão oceânica cujo registo geológico é composto pelo conjunto metassedimentar onde estão intruídos os granitóides.

Deste modo, e em termos resumidos, pode considerar-se as etapas extensionais do Ciclo Varisco, ante – orogénicas, e as etapas de convergência, que dão origem à orogenia Varisca.

Etapas Extensionais (pré – orogénicas) do Ciclo de Wilson Varisco.

O maciço ibérico teve uma evolução câmbrica e paleozóica ante-orogénica, que corresponde essencialmente a uma plataforma sujeita a diversos eventos extensivos (Peixoto, 2008), de *rifting* continental que vão culminar no Silúrico com a formação de uma bacia oceânica. É nela que se deposita a totalidade da espessa sequencia sedimentar com idades que vão desde o Câmbrico até ao Devónico Inferior, hoje representada pelos extensos afloramentos metassedimentares da Zona Centro – Ibérica.

Recuando no tempo até aos registos mais antigos na Zona Centro-Ibérica, chega-se até ao Câmbrico Inferior em que uma importante fase extensional se desenvolveu com a formação de uma depressão ao longo do eixo da Zona Centro-Ibérica que com o tempo e devido ao preenchimento de sedimentos deu origem à sequência denominada Super Grupo Dúrico-Beirão, anteriormente conhecido como Complexo Xisto-Grauváquico. A fase de extensão tem o seu fim no Câmbrico Superior e ficou marcado pela discordância Sarda (Peixoto, 2008).

No Ordovícico a característica mais marcante é a sedimentação terrígena em ambiental de plataforma, em mar epicontinental, onde conglomerados e arenitos preencheram depressões. O final deste período fica marcado por vulcanismo básico que indica tracção localizada e rompimento da crosta (Ribeiro *et al.*, 1979).

Durante o Silúrico dá-se um novo episódio de natureza extensiva que evoluiu para a formação de uma dorsal com criação de litosfera oceânica. No início deste período, a profundidade do mar epicontinental aumentou e dá-se uma sedimentação terrígena em ambiente redutor de onde resultaram Xistos Negros com graptólitos. Próximo do fim do Silúrico a sedimentação terrígena passa de fina a arenosa por diminuição da profundidade do mar epicontinental, podendo ter ocorrido localmente a formação de montículos carbonatados (Peixoto, 2008).

Etapas convergentes (orogénicas) do Ciclo de Wilson Varisco.

A inversão tectónica Varisca, isto é, a passagem de um regime de extensão motivado pela separação entre dois blocos litosféricos com a formação de um oceano de permeio, a um regime de fecho desse oceano por convergência litosférica terá sido iniciada no Devónico Médio e prolongou-se até ao final do Paleozóico.

Sucedem-se um complexo conjunto de processos geológicos (deformação, metamorfismo e magmatismo) designado por Orogenia Varisca. A sucessão de fases principais que caracterizam esta orogenia levou a uma sobreposição de efeitos estruturais como dobras, cavalgamentos e xistosidades. A estrutura que é hoje exibida pelo Maciço Ibérico resultou, portanto, da Orogenia Varisca, um complexo processo de convergência que levou ao choque do Bloco Autóctone Ibérico com outras massas continentais (Peixoto, 2008).

A Orogenia Varisca ficou registada no Maciço Ibérico por três episódios ou fases de deformação diferentes, usualmente designados por F_1 , F_2 e F_3 . O primeiro episódio de deformação ocorreu durante o Devónico e foi o mais expressivo e responsável pelas principais estruturas observadas na Zona Centro-Ibérica, de entre as quais é de salientar as dobras subverticais de grande amplitude e direcções variáveis, apesar de ser predominante a direcção NW-SE (Peixoto, 2008).

A fase F_2 apresentou um carácter rotacional provocando uma sobreposição de novas estruturas relativamente às que se formaram em F_1 , gerando-se zonas de cisalhamento sub-horizontais. A foliação e lineação de estiramento apresentadas pelas rochas graníticas pré orogenia indica uma possível associação a esta fase (Peixoto, 2008).

A transição entre as duas fases anteriores, F_1 e F_2 , é explicada geometricamente por uma virgação do Arco Ibero Armoricano, considerando-se que talvez F_2 seja uma continuação de F_1 (Peixoto, 2008).

Quanto à fase de deformação F_3 , manifestou-se pela reactivação de estruturas anteriores e foi responsável pela formação de dobras do plano axial subvertical.

No final da Orogenia Varisca, o Maciço Ibérico sofreu vários episódios de tectónica de fractura que deram origem a um sistema *horst* e *graben* condicionado por um sistema de fracturas com direcção NE-SW, NNE-SSW e NW-SE (Peixoto, 2008). Este episódio é determinante na compreensão da estruturação frágil que os granitóides centro – ibéricos apresentam.

Pós Orogenia Varisca

Com o final da orogenia Varisca, inicia-se outro ciclo de Wilson, aquele cuja evolução inicial, extensional, vai contribuir por erosão e compensação isostática, processos iniciados já durante as ultimas etapas orogénicas, para trazer à superfície as rochas granitóides hoje aflorantes. Não cabe aqui qualquer descrição mais detalhada deste novo ciclo de Wilson.

1.6.Zona Centro-Ibérica

Uma vez sintetizado o Ciclo de Wilson Varisco no Maciço Ibérico, vai agora circunscrever-se alguns aspectos particulares dessa evolução geológica directamente relacionada com os granitóides da Zona Centro – Ibérica.

1.6.1.Características Gerais

A Zona Centro-Ibérica encontra-se limitada a NE pela falha de Vivero e o sinclinal de Sil-Trucha, a oeste pelo cavalgamento de Ferreira do Zêzere e a zona de cisalhamento de Porto-Tomar e a sul pelo alinhamento tectonomagmático de Los Pedroches-Vegas-Altos-Albuquerque-Nisa e a flexura (dobra monoclinal) de Guadalquivir (Peixoto 2008 adaptado de Martinez Catalán, 1985). Quanto ao limite a sul, existe ainda alguma controvérsia, visto que determinados autores (e.g. Gama Pereira, 1987) consideram este limite como sendo uma sutura Précâmbrica posteriormente reactivada no decurso da Orogenia Varisca como megacisalhamento dúctil esquerdo, outros autores (e.g. Matte, 1986) consideram-no uma sutura Varisca que evoluiu para uma zona de cisalhamento esquerda.

Tal como no capítulo anterior, a compreensão da evolução geológica da Zona Centro-Ibérica resulta mais fácil pela consideração do conceito de Ciclo de Wilson, representando uma abertura e fecho de um oceano seguido de colisão entre massas continentais. Assim, distingue-se uma fase extensional dominada pela abertura de uma bacia oceânica e sedimentação associada. Segue-se uma fase de convergência de massas continentais, iniciada pela nucleação de uma zona de subducção que culminará com o fecho do oceano e colisão continental.

Esta sucessão de eventos de 1ª grandeza à escala litosférica deixará um registo geológico importante, marcado pela estratigrafia, magmatismo, metamorfismo e metalogenia, próprios das diferentes zonas e tempos de génese.

De forma muito sintética pode referir-se que a etapa extensional fica marcada pelo enchimento sedimentar da bacia Centro-Ibérica que prossegue por todo o Ordovício, Silúrico e Devónico, altura em que se fazem sentir as perturbações provocadas pela inversão tectónica e consequente fecho do (s) oceano (s) varisco (s). Acumulam-se espessas séries sedimentares com litostratigrafia definida em inúmeros trabalhos.

O início da subducção implica profundas mudanças nas condições de Pressão e Temperatura litosféricas. As tensões dirigidas dos movimentos litosféricos convergentes e a alteração da geotérmica crustal vão implicar todo um conjunto de processos geológicos representados pela tectónica, metamorfismo e magmatismo orogénicos. As sequências sedimentares atrás referidas são deformadas tectonicamente e metamorfizadas. A continuação do processo, por aumento progressivo da temperatura pode levar à fusão parcial de vastos domínios crustais, gerar magmas de anatexia e, consequentemente, todo o magmatismo granítico que é tão abundante na Zona Centro-Ibérica.

Compreende-se assim que a heterogeneidade seja uma característica muito marcada da ZCI e facilmente reconhecível pelas diferenças patentes apresentadas nas áreas que compreende. Apresenta áreas com metamorfismo de grau médio a alto e abundantes granitóides e em oposição surgem áreas com metamorfismo de baixo grau. As demonstrações da sua heterogeneidade não ficam por aqui, uma vez que é constituída por formações autóctones sobre as quais assentam quatro complexos de mantos distintos.

Relativamente ao metamorfismo, este é plurifacial e está intimamente ligado quer à alteração da geotérmica crustal durante a convergência litosférica, quer, mais tarde, às intrusões da grande profusão de rochas granitóides (Ferreira *et al.*, 1987).

1.6.2. Granitóides da Zona Centro-Ibérica

Classificação geral dos granitóides centro-ibéricos

A Zona Centro-Ibérica apresenta grandes áreas dominadas por granitóides alcalinos e calco-alcalinos, resultantes de magmatismo sinorogénico, nos quais é possível distinguir vários tipos de granitos. As intrusões pré-orogénicas são essencialmente granitóides biotíticos e gabros que datam de 460 a 480 Ma, com excepção para o ortogneisse de Miranda do Douro. Os granitos e granodioritos instalados há cerca de 300 Ma atrás marcam o magmatismo sinorogénico Varisco. Referentes a este período encontram-se granitos de duas micas aos quais estão associados frequentemente, aplitos e pegmatitos bem como também é possível encontrar granitos biotíticos. No período tardi-Varisco destacam-se intrusões de granitos calco-alcalinos (Ferreira *et al.*, 1987).

A série alcalina caracteriza-se pela existência de plagioclase sódica e/ou oligoclase ácida bem como a predominância de moscovite e biotite em teores equivalentes (Ferreira, 2000). Os granitos desta série têm tendência para acompanhar os períodos de deformação onde ocorre compressão e subdividem-se em:

- Granitos gnaissicos de idade 350Ma afectados em parte pela primeira fase de deformação Varisca (F_1);
- Granitos de duas micas autóctones ligados aos migmatitos e aos granitos de anatexia e parautóctones, mais ou menos deformados e contemporâneos da fase de deformação F_2 de idade 300Ma;
- Granitos de duas micas com megacristais, alóctones um pouco mais tardios.

Quanto à série calco-alcalina os granitos apresentam na sua composição plagioclase calco-sódica, isto é, albite e anortite, e a biotite predomina sobre a moscovite (Ferreira *et al.*, 1987). Como minerais acessórios abundam a titanite (mineral de titânio e cálcio), apatite e minerais opacos. Desta série resultam dois grupos bem distintos:

- Granitos com megacristais e biotite, deformados pela fase F_2 , de idade aproximadamente 320Ma;

- Granitos pós-tectónicos em maciços circunscritos (280Ma), onde se distinguem os granitos calco-alcalinos a alcalinos de grão médio a fino, de duas micas e os granitos calco-alcalinos com megacristais, de grão grosseiro. A instalação dos granitos deste tipo (pós-tectónicos) surge associada a vários tipos de processos resultantes da fracturação tardi-Varisca.

Relativamente à idade de instalação

Os granitóides presentes na Zona Centro-Ibérica seguem alinhamentos bem definidos, geralmente zonas de cisalhamento dúctil, e encontram-se associados à orogenia Varisca. Deste modo, dividem-se em dois grupos principais: granitóides sinorogénicos e tardi a pós-orogénicos. No âmbito deste trabalho e tendo em conta a zona onde está a ser elaborada a prospecção, os granitóides realmente importantes são os últimos, contudo para os enquadrar será feita uma breve descrição de todos (Ferreira *et al.*, 1987).

O modelo geodinâmico inciou-se com a formação de um *flake* que a partir do Devónico médio produziu obducção, seguida de colisão das margens continentais e subducção para Este. Os magmas que ascenderam e deram origem aos granitóides sinorogénicos supõem-se relacionados com a subducção. O calor proveniente da ascensão dos magmas fez subir as isogeotermas induzindo a fusão de grandes porções de crosta continental, gerando granitóides e rochas básicas subordinadas (Ferreira *et al.*, 1987).

É importante ter em conta que a fase tectónica F_3 ficou marcada em enormes massas graníticas, demonstrando a existência de um período de distensão, anterior a esta fase, que permitiu a ascensão de respectivos magmas na crosta. Por esta razão, e tendo em conta a idade de instalação dos granitóides, é comum serem designados também por granitóides ante- F_3 e sin- F_3 . Os granitóides ante- F_3 foram os primeiros a instalarem-se resultando em granitos de duas micas, biotíticos com restites. Encontram-se principalmente nas proximidades da zona onde a colisão continental iniciou o espessamento crustal. Os magmas graníticos que os originaram surgiram em alinhamentos antigos e exprimem o resultado da fusão parcial dos sedimentos situados ao longo desses alinhamentos (Ferreira *et al.*, 1987).

Os granitóides que se formaram apenas aquando da fase tectónica F_3 , sendo estes muito vastos e variados, apresentam texturas e composições diversas dependentes da sua origem. Os que tiveram uma origem profunda são geralmente granitóides biotíticos com plagioclase cálcica e seus diferenciados, podendo ter resultado da fusão de gnaisses e xistos pelíticos. Por sua vez, os que resultaram da fusão parcial de sedimentos bastante mais hidratados originaram granitos de duas micas ou biotíticos com restites (Ferreira *et al.*, 1987).

Os batólitos correspondentes aos granitóides tardi a pós-orogénicos, e deste modo posteriores à fase de deformação F_3 , são bastante homogéneos. São granitóides biotíticos com plagioclase cálcica, que ocasionalmente podem conter hornblenda. A composição química de alguns maciços indica origem profunda, possivelmente resultantes de um magma básico fraccionado empobrecido em terras raras. A zonalidade composicional indica actividade magmática ao longo de uma zona de subducção com inclinação para NE (Ferreira *et al.*, 1987).

Relativamente à classificação genética

A classificação genética mais utilizada considera que os granitóides podem ser divididos em mesocrustais e infra ou basicrustais. Os primeiros são gerados quer por anatexia húmida quer por anatexia induzida por intervenção de fluidos e outros elementos químicos de magmas calco-alcálinos de origem mais profunda, controlados pelo metamorfismo regional. Quanto aos granitóides infra ou basicrustais têm origem muito mais profunda que os anteriores e são independentes de processos metamórficos. São um grupo bastante heterogéneo cujo processo genético fundamental terá sido diferenciação magmática a partir de material básico infracrustal e fusão parcial do material crustal com ou sem hibridização de produtos básicos infracrustais (Ferreira *et al.*, 1987).

Relativamente à classificação geoquímica e petrográfica

Surgem dois grandes grupos, os alcalinos e os calco-alcálinos, contudo esta classificação não é assim tão linear visto que dentro desta encontram-se granitos de idades geológicas distintas obrigando a criar subgrupos. Por outro lado, embora certas fácies possam ser incluídas na série alcalina apresentam convergência para a série calco-alcálica, como por exemplo os leucogranitos (Ferreira *et al.*, 1987).

A título de resumo e de forma a tornar-se mais perceptível, a tabela 7 apresenta a classificação dos granitóides:

Tabela 7: Classificação dos Granitóides (Ferreira *et al.*, 1987).

Geocronologia	Geoquímica e Petrografia		Genética	Fácies mais comuns
Antigos	Alcalinos		Granitóides Mesocrustais	Leucogranitos, Granitos e Granodioritos
	Calco-alcálinos			
Jovens		Por vezes peraluminosos	Granitóides infra ou basicrustais	Granodioritos precoces Granodioritos tardíos

1.7. Estudo da fracturação na prospecção geológica de granitos ornamentais

A implantação de novas pedreiras, independentemente do fim a que se destinam, pode muitas vezes resultar em fracasso. Deste modo, estudos prévios, incluídos naquilo que se designa prospecção geológica, são fundamentais para aumentar a sua probabilidade de sucesso. Posto isto, a prospecção geológica surge como um estudo inicial de diversos factores, variáveis e características geológicas no sentido de apontar alvos preferenciais para a implementação de pedreiras de rocha ornamental, evitando os tradicionais métodos empíricos (Rabaçal Martins, 1990).

A primeira aproximação faz-se com recurso à cartografia geológica publicada que permite a identificação dos diferentes fácies petrográficas aflorantes (Rabaçal Martins, 1990). Critérios geomorfológicos são igualmente importantes uma vez que a geomorfologia revela os diferentes estados de alteração de uma determinada região.

Incluindo, como se disse, o estudo de variados parâmetros geológicos, este trabalho incide exclusivamente no estudo das orientações da fracturação do maciço, parâmetro fundamental na avaliação da aptidão do mesmo para exploração ornamental, ou outra. Ainda que seja usual o recurso a campanhas de sondagem com recuperação de testemunho, não se abordará aqui qualquer método de avaliação que envolva o uso da geofísica ou sondagens.

1.7.1. Parâmetros de descrição de planos de fracturação do maciço (diaclasses e falhas)

Seguidamente faz-se uma breve revisão dos principais parâmetros de descrição e notação das descontinuidades planares de um maciço, designadamente aquelas que resultam do seu comportamento mecânico frágil.

Atitude geológica:

A orientação de uma descontinuidade descreve-se no espaço pela direcção e inclinação e obtém-se com recurso a uma bússola. Este factor permite inferir e controlar possíveis condições de instabilidade do maciço ou o desenvolvimento de novas fracturas. Os dois valores representativos da orientação medem-se em graus, no sentido dos ponteiros do relógio e a partir do Norte (Barton *et al.*, 1978).

É bastante importante ter um número de medições suficiente para poder agrupá-las em famílias, valor que anda em torno das 150 medições, não sendo um dado adquirido, visto que diversas situações podem fazer este valor variar. A tarefa de fazer as medições nem sempre é possível e está dependente de vários parâmetros como é o caso dos acessos à superfície de interesse, erros humanos, entre outros (Barton *et al.*, 1978).

Assim que estão terminadas as medições, podem ser analisadas em diferentes softwares, sendo o *StereoNet* muito comum, permitindo obter diversos tipos de diagramas representativos das orientações das famílias de fracturas em questão.

Espaçamento:

O espaçamento entre duas fracturas consecutivas é o factor que controla em larga medida o tamanho dos blocos que poderão ser extraídos, e tem deste modo grande importância na prospecção (Barton *et al.*, 1978).

Quer se trate de conjuntos de fracturas, quer sejam fracturas individuais, o espaçamento tem uma forte influência nas características de permeabilidade e infiltração das rochas. Geralmente, a condutividade hidráulica de um conjunto de fracturas será inversamente proporcional ao espaçamento (Barton *et al.*, 1978).

Note-se também que a fracturação, em simultâneo com a extensão da área exposta do maciço, constituem os principais factores de meteorização. Com efeito, em maciços ígneos e metamórficos, caso dos granitos e dos mármore, é a fracturação que, ao promover a circulação de fluidos aquosos superficiais, permite a alteração das rochas em profundidade. Deste modo, quanto maior a intensidade da fracturação, ou seja, quanto menor o espaçamento entre fracturas, maior a possibilidade de a meteorização do maciço em profundidade ser mais intensa.

No âmbito deste trabalho, as medições relativas ao espaçamento obtiveram-se com recurso a uma fita métrica (Ilustração 9), e sempre entre fracturas contíguas da mesma família. Também nestas medidas podem surgir erros por parte do observador ou erros provocados por impossibilidade de chegar suficientemente próximo das frentes onde se encontram as fracturas ou ainda por estas não serem suficientemente paralelas não permitindo assim grande precisão. Tal como já foi referido anteriormente, as fracturas provocadas por rebentamento devem ser excluídas. Ainda que presentes, e por razões anteriormente expostas, não foram efectuadas medições de fracturas sub-horizontais (*vide* pag.11).



Ilustração 9: Medição do espaçamento entre duas fracturas – Pedreira da Costa Queimada

Abertura e Preenchimento:

Por abertura entende-se a distância perpendicular que separa duas paredes rochosas, podendo estar preenchidas por ar, água ou solo (Ilustração 10). As maiores aberturas podem ser provocadas por deslocamentos, escoamento de águas superficiais ou por alívio de tensões. Salvo raras exceções, as aberturas que se encontram nas massas rochosas mais próximo da superfície são pequenas, não superiores a 1mm. Devido às suas dimensões tão reduzidas, podem parecer insignificantes, contudo como resultado indirecto da condutividade hidráulica, até a abertura mais fina pode provocar alterações na estabilidade do maciço (Barton *et al.*, 1978).

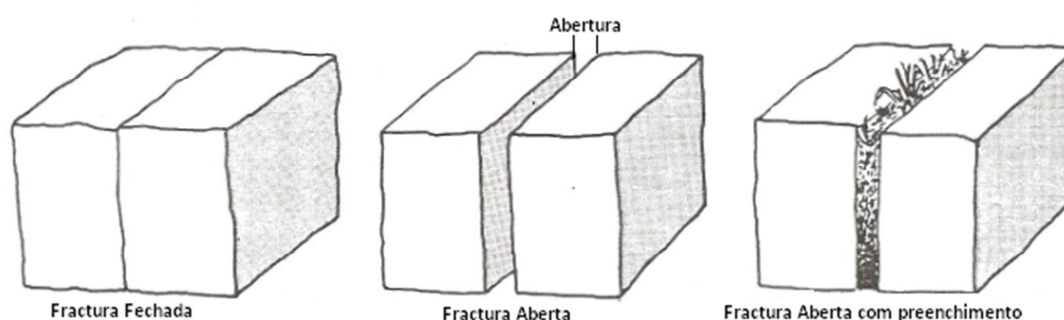


Ilustração 10: Exemplos de fracturas fechadas, abertas sem preenchimento e com preenchimento, respectivamente (Barton *et al.*, 1978)

Para além dos parâmetros geológicos-geotécnicos atrás referidos, existem outros que permitem igualmente caracterizar a fracturação de um maciço rochoso, como por exemplo continuidade, rugosidade, resistência, grau de alteração, percolação, entre outros. Estes parâmetros não foram aqui abordados pela simples razão de não serem considerados essenciais para o objectivo final deste trabalho.

Capítulo 2.

Estatística de dados direccionais

2.1. Estatística direccional ou circular

A estatística direccional ou circular é um subcapítulo do vasto campo da estatística e que tem como objectivo principal tratar dados direccionais, ou seja, é uma ferramenta matemática susceptível de tratar estatisticamente os conceitos de direcções, vectores, eixos, pólos e/ou rotações, tão caros à geologia dos maciços rochosos. Exemplos de outros dados direccionais, além daqueles que foram objecto de estudo neste trabalho são, por exemplo, os dias da semana, meses do ano, etc. (Davis, 2002).

No campo da geologia e dos dados e informações que daí advêm, a estatística circular é extremamente importante. Planos e superfícies de falhas caracterizam-se pelas suas direcções e inclinações, contudo podem ocorrer casos em que surgem outros tipos de orientações, como o caso, por exemplo, das estrias glaciares que, para serem tratadas quantitativamente é necessário o uso de uma estatística específica que seja aplicável à natureza circular deste tipo de dados (Davis, 2002).

Os dados que se encontram neste estudo poderiam ser tratados com recurso a diversos testes e/ou rotinas estatísticas, no entanto, foram seleccionados aqueles que se adequavam melhor tendo em vista os objectivos deste trabalho e as conclusões que se pretendiam retirar. No âmbito do trabalho, parte dos dados foram considerados como grandezas vectoriais expressas em graus e representativos de uma direcção e de uma inclinação.

Para representação gráfica adoptada utiliza-se uma forma de histograma circular denominada diagrama de roseta. Estes diagramas podem ser elaborados também com recurso ao *StereoNet*, contudo recorreu-se ao *software Matlab* por permitir uma maior flexibilidade no tratamento dos dados e uma maior qualidade das representações. É necessário ter algum cuidado com a elaboração deste tipo de diagramas, sendo que existem publicações dos mesmos onde o princípio base é violado acabando por resultar num gráfico enganador, isto é, para um diagrama de roseta representar correctamente uma distribuição circular é necessário que este seja construído de forma que as áreas das “pétalas” sejam proporcionais à classe de frequências. Quando tal não acontece, pode resultar uma distorção de dados sugerindo tendências direccionais onde estas não existem (Davis, 2002).

Como em qualquer outro tipo de histograma e mesmo que resolvido o problema anterior, a sua aparência é extremamente sensível à escolha da largura das “pétalas” e ao ponto que se determina como sendo o início. Em função disto exibem algumas variações.

Para a construção destes diagramas, tendo em consideração os dados em estudo, são necessários alguns cálculos que no âmbito deste trabalho terão por base rotinas construídas em *Matlab*, ou em alternativa o recurso ao *software Oriana*.

Faz-se notar que neste trabalho e respectivo tratamento de dados, recorreu-se quer à estatística linear (estudo da variável espaçamento entre a fracturação), quer da estatística direccional (estudo das variáveis inclinação e direcção da fracturas). Relativamente a estes dois tipos de estatísticos fazemos, nas páginas seguintes, um breve enquadramento de alguns dos conceitos utilizados.

2.1.1.Estatísticos descritivos

2.1.1.1.Dados Lineares

É usual recorrer aos estatísticos descritivos básicos sempre que se pretende elaborar um trabalho que tenha por base a análise estatística. As conclusões que se tiram directamente do seu cálculo podem não ser muito significativas, no entanto, a sua importância manifesta-se à medida que se avança no tratamento estatístico mais complexo.

Por serem do uso comum e suficientemente conhecidos dispensamo-nos da apresentação do formulário associado às medidas de tendência central (média, moda e mediana) no entanto, por serem menos habituais apresentamos as expressões e significado do coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e da curtose. Posto isto, os estatísticos básicos lineares aqui utilizados serão a média, moda, mediana e a variância, desvio padrão e o coeficiente de variação como medidas de dispersão.

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO:

Trata-se de uma medida de dispersão representada pela razão entre o desvio padrão e a média, apresentada sob a forma percentual, como mostra a equação 1.

$$\text{Coef. de variação} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$\bar{x}$ - Média de todos os valores da amostra;

s - Desvio padrão.

Esta medida de dispersão tem como objectivo comparar duas distribuições diferentes. O desvio padrão é também uma medida de dispersão, relativo à média, mas como duas distribuições podem ter médias diferentes, os desvios dessas distribuições não são comparáveis. Por esta razão, e pretendendo comparar amostras, o coeficiente de variação é preferível especialmente quando se trata de médias diferentes. Desta forma permite-nos saber o peso do desvio padrão para cada uma das distribuições. Para o caso em concreto deste trabalho o coeficiente de assimetria permite conhecer, em média, qual a percentagem de variação do desvio padrão em relação à média dos espaçamentos de cada amostra.

COEFICIENTE DE ASSIMETRIA:

O coeficiente de assimetria é uma medida amostral que assume o valor zero quando a distribuição de frequências da amostra é completamente simétrica, sendo importante referir que é extremamente raro acontecer uma simetria pura, mas quando acontece significa que a média e mediana são iguais. Se a amostra for assimétrica, esta medida assume valores diferentes de zero, que podem ser positivos (assimetria à direita) ou negativos (assimetria à esquerda).

A assimetria positiva diz-nos que a moda<mediana<média, por sua vez quando se trata de uma assimetria negativa tem-se que moda>mediana>média, ou seja, o coeficiente de assimetria indica-nos se os desvios em torno da média serão positivos ou negativos.

A expressão matemática de cálculo é dada pela equação 2.

$$\text{Coef. de assimetria} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

n – Tamanho da amostra;

x_i – Todos os valores que compõem a amostra, considerada por família de fracturas;

$\bar{x}$ - Média de todos os valores de x_i ;

s - Desvio padrão.

CURTOSE:

A curtose é uma medida de dispersão que caracteriza o “achatamento” da curva da função de distribuição. Se a curtose for positiva, diz-se que a curva apresenta um “pico”, em oposição se for negativa a curva surge achatada (Jones, 2006). A equação 3 representa a fórmula de cálculo da curtose.

$$k = \left[\frac{n(n-1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

n – Tamanho da amostra;

x_i – Todos os valores que compõem a amostra;

$\bar{x}$ - Média de todos os valores da amostra;

s - Desvio padrão.

É importante referir que não existe nenhum tipo de relação entre o coeficiente de assimetria e a curtose de um mesmo conjunto, isto é, são medidas independentes e que não se influenciam mutuamente.

2.1.1.2.Dados circulares

Os estatísticos básicos circulares englobam uma série de funções que podem ser muito úteis para explorar, interpretar e sumarizar as propriedades importantes de uma amostra composta por dados circulares.

A direcção dominante num conjunto de vectores pode ser encontrada através do vector resultante. Cada vector unitário é representado por coordenadas X e Y cuja direcção é dada pelo ângulo θ (Davis, 2002) e definidas pelas equações 4 e 5.

$$X_i = \cos \theta_i \quad (\text{Eq. 4})$$

$$Y_i = \sin \theta_i \quad (\text{Eq. 5})$$

com $i = 1, 2, 3 \dots n$.

O vector resultante obtém-se somando os senos e cosenos dos vectores individuais (equação 6 e 7), que posteriormente permitem o cálculo da direcção média μ .

$$X_r = \sum_{i=1}^n \cos \theta_i \quad (\text{Eq. 6})$$

$$Y_r = \sum_{i=1}^n \sin \theta_i \quad (\text{Eq. 7})$$

MÉDIA $\mu=\theta$:

Quando se trata de dados circulares, a média não pode ser calculada da forma habitual, preconizada pela estatística clássica. A direcção média de n observações pode ser obtida em coordenadas Cartesianas (equações 8 e 9) (Marques de Sá, 2003).

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \times X_r \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \times Y_r \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

N – Tamanho da amostra;

A **direcção média μ** representativa da média angular de todos os vectores que compõem a amostra (Davis, 2002) obtém-se pela equação 10.

$$\mu = \begin{cases} \tan^{-1} \left(\bar{S} / \bar{C} \right) & \text{se } \bar{S} \geq 0 \text{ e } \bar{C} > 0 \\ \tan^{-1} \left(\bar{S} / \bar{C} \right) + \pi & \text{se } \bar{C} < 0 \\ \tan^{-1} \left(\bar{S} / \bar{C} \right) + 2\pi & \text{se } \bar{S} < 0 \text{ e } \bar{C} > 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 10})$$

MODA:

Para a moda, o cálculo relativamente aos dados circulares é igual ao dos dados lineares, isto é, a moda representa o valor de mais alta frequência na série de dados considerada. Para este trabalho permite-nos conhecer qual o valor mais comum quer a nível de direcções quer a nível de inclinações.

MEDIANA:

Tal como acontece com a média, também a direcção mediana não é calculada da forma habitual. A direcção mediana $\tilde{\theta}$ de um conjunto de ângulos $\theta_1 \dots \theta_n$ é qualquer ângulo φ de tal forma que metade dos pontos se situa no arco, no intervalo $[\varphi, \varphi + \pi]$. Quando a série de dados é ímpar, a direcção mediana será um dos valores que a compõem, caso seja par é conveniente tomar a mediana da amostra como a média de dois pontos consecutivos mais apropriados (Mardia *et al.*, 2000).

A direcção mediana circular dos diferentes conjunto de dados é determinada pela definição da direcção φ que minimiza a função, como mostra a equação 11, sendo que para este trabalho recorreu-se ao software *Oriana* para obter os valores da direcção mediana.

$$d(\tilde{\theta}) = \pi - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\pi - |\theta_i - \varphi|| \quad (\text{Eq. 11})$$

COMPRIMENTO DO VECTOR RESULTANTE:

O **comprimento do vector resultante R** representa um valor crucial para a medida da dispersão circular ou para os testes de hipóteses na estatística direcciona e é calculado como mostra a equação 12.

$$R = \sqrt{X_r^2 + Y_r^2} \quad (\text{Eq. 12})$$

Com o cálculo do comprimento do vector resultante é possível chegar ao chamado **comprimento médio resultante $\bar{R}$** (equação 13).

$$\bar{R} = \frac{R}{n} = \sqrt{\bar{C}^2 + \bar{S}^2} \quad (\text{Eq. 13})$$

Esta medida de dispersão varia entre zero e um. O comprimento médio resultante é uma medida análoga à variância mas que se expressa em sentido oposto, isto é, se os valores de $\bar{R}$ são elevados então os vectores estão agrupados apresentando uma pequena dispersão enquanto que se os valores de $\bar{R}$ estão próximos de zero significa que os vectores estão dispersos (Davis, 2002).

VARIÂNCIA:

De forma a ser possível ter uma medida cujo crescimento seja directamente proporcional à dispersão dos dados, substitui-se o comprimento médio resultante pela **variância circular** (equação 14).

$$V = 1 - \bar{R} \quad (\text{Eq. 14})$$

A variância circular concentra-se entre zero e um e é igualmente um indicativo da dispersão de um conjunto de dados. Se todas as amostras apontarem para a mesma direcção, o vector resultante terá um comprimento igual a um e a variância circular será igual a zero. Em oposição, se as amostras apresentarem uma dispersão em torno do círculo, o comprimento do vector resultante será próximo de zero e a variância circular será próxima de zero.

Contudo, é importante ter presente que uma variância circular igual a um, não implica necessariamente uma distribuição circular uniforme em torno do círculo de representação gráfica (360°) (Davis, 2002).

DESVIO PADRÃO:

Uma vez obtida a variância circular é possível calcular o **desvio padrão circular**, que varia entre zero a infinito, através da equação 16.

$$s = \sqrt{-2 \times \log(1 - V)} \quad (\text{Eq. 15})$$

Os resultados obtidos através do desvio padrão circular permitem conhecer entre que valores poderá variar o valor médio de cada amostra, isto é, no caso concreto deste trabalho, permite-nos determinar entre que valores oscila o quer a direcção média quer a inclinação média.

Pode ainda ser calculada uma outra medida de **dispersão circular** $\hat{\delta}$, cuja fórmula de cálculo é apresentada na equação 17.

$$\hat{\delta} = \frac{1 - \bar{R}_2}{2 \times \bar{R}^2} \quad (\text{Eq. 16})$$

$\bar{R}_2$ representa o comprimento médio resultante considerando, para o seu cálculo, os duplos ângulos $2\theta_1, 2\theta_2 \dots 2\theta_n$ (Mardia *et al.*, 2000). A dispersão circular varia entre zero e infinito e como medida de dispersão tem a sua maior importância na análise estatística da variância.

COEFICIENTE DE CONCENTRAÇÃO:

Recorrendo ainda ao comprimento médio resultante, obtém-se o coeficiente de concentração $\hat{k}$ que representa uma medida inversa da dispersão da distribuição de dados e que se representa pela equação 15.

$$\hat{k} = \begin{cases} 2\bar{R} + \bar{R}^3 + 5\bar{R}^5/6 & \text{se } \bar{R} < 0,53 \\ -0,4 + 1,39\bar{R} + 0,43(1 - \bar{R}) & \text{se } 0,53 \leq \bar{R} < 0,85 \\ 1/(\bar{R}^3 - 4\bar{R}^2 + 3\bar{R}) & \text{se } \bar{R} \geq 0,85 \end{cases} \quad (\text{Eq. 17})$$

ASSIMETRIA CIRCULAR E CURTOSE CIRCULAR:

Tal como nos dados lineares, também para os circulares se calculam as medidas de assimetria e curtose circular, cujas fórmulas de cálculo estão apresentadas pela equação 18 e 19, respectivamente.

$$sK = \frac{(\bar{R}_2 \times \sin(\mu_2 - 2\mu))}{(1 - \bar{R})^{3/2}} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$k_c = \frac{\bar{R}_2 \times \cos(\mu_2 - 2\mu) - \bar{R}^4}{(1 - \bar{R})^2} \quad (\text{Eq. 19})$$

Para o cálculo de μ_2 recorre-se às equações 6 e 7, e substitui-se θ_i por $2\theta_i$ obtendo:

$$X_r = \sum_{i=1}^n \cos 2\theta_i \quad (\text{Eq. 20})$$

$$Y_r = \sum_{i=1}^n \sin 2\theta_i \quad (\text{Eq. 21})$$

e refazem-se os cálculos para as equações 8 e 9 para obter um novo valor médio, tal como mostram as equações seguintes.

$$\bar{C}_2 = \frac{1}{N} \times X_r \quad (\text{Eq. 22})$$

$$\bar{S}_2 = \frac{1}{N} \times Y_r \quad (\text{Eq. 23})$$

Tendo procedido a estes cálculos intermédios, μ_2 é dado pela equação que se segue:

$$\mu_2 = \bar{C}_2 + \bar{S}_2 \times i \quad (\text{Eq. 24})$$

Para um conjunto de dados simétrico e unimodal o valor da assimetria circular será próximo de zero. Para um conjunto de dados unimodal, cujo gráfico apresente um pico bem ajustado a uma distribuição normal, o valor da curtose circular será próximo de zero.

2.2. Medidas de associação envolvendo dados direccionais

2.2.1. Correlação linear – circular

Recorre-se ao coeficiente de correlação linear – circular para determinar se existe algum tipo de associação entre duas variáveis, uma de natureza linear e outra de natureza circular. Procura-se saber se as alterações no comportamento de uma das variáveis afectam ou são influenciadas pela outra variável. O objectivo deste indicador estatístico além de permitir determinar se existe algum tipo de associação entre as variáveis, é também quantificar o grau de associação que une os dois conjuntos de valores (Cohen *et al.*, 2003).

Tratando-se neste caso concreto da correlação linear - circular, tem-se uma variável linear X representativa do espaçamento e uma variável circular θ representativa da direcção. Cada uma destas variáveis baseia-se num conjunto de observações associadas $(X_1, \theta_1), (X_2, \theta_2) \dots (X_n, \theta_n)$. Pretende-se então com este estudo verificar se há alguma relação entre estas duas variáveis e, caso haja, determinar qual o seu grau de associação.

A equação 20 representa a expressão matemática que permite obter o coeficiente de correlação linear – circular.

$$r_{x\theta}^2 = \frac{r_{xc}^2 + r_{xs}^2 - 2 \times r_{xc} \times r_{xs} \times r_{cs}}{1 - r_{cs}^2} \quad (\text{Eq. 25})$$

Onde

$$r_{xc} = \text{corr}[x_i, \cos(\theta_i)]$$

$$r_{xs} = \text{corr}[x_i, \sin(\theta_i)]$$

$$r_{cs} = \text{corr}[\cos(\theta_i), \sin(\theta_i)]$$

Os valores de $r_{x\theta}^2$ variam entre -1 e +1. Quando se obtém o valor 0 significa que não há qualquer tipo de associação, enquanto que quanto mais próximo dos extremos estiver $r_{x\theta}^2$, maior é a associação entre as variáveis, positiva ou negativa consoante o seu valor (Fiúza, 2003). A função *corr* aqui apresentada é a função de correlação linear habitual.

No caso concreto deste trabalho, o coeficiente de correlação vai-nos indicar se existe algum tipo de associação entre a variável linear espaçamento e as variáveis circulares direcção e inclinação das fracturas amostradas. Caso exista efectivamente uma associação, qual é o seu grau.

A distribuição de Fisher-Snedecor (equação 21) permite testar o coeficiente de correlação linear-circular, mas só aplicável caso as variáveis sejam independentes e se a variável linear estiver normalmente distribuída. Então:

$$\frac{(n-3) \times r_{x\theta}^2}{1 - r_{x\theta}^2} \sim F_{2, n-3} \quad (\text{Eq. 26})$$

n – número de observações.

2.2.2. Correlação circular – circular

Com este coeficiente pretende-se estudar o grau de associação entre duas variáveis circulares, determinando o seu coeficiente de correlação, sendo θ representativo da direcção e Φ para a inclinação para um conjunto de observações $(\theta_1, \Phi_1), (\theta_2, \Phi_2) \dots (\theta_n, \Phi_n)$. Para este tipo de correlação existem várias fórmulas de cálculo e optou-se por escolher a representada na equação 22 (Mardia *et al.*, 2000).

$$r^2 = \frac{[(r_{cc}^2 + r_{cs}^2 + r_{sc}^2 + r_{ss}^2) + 2(r_{cc}r_{ss} + r_{cs}r_{sc}) \times r_1r_2 - 2(r_{cc}r_{cs} + r_{sc}r_{ss})r_2 - 2(r_{cc}r_{sc} + r_{cs}r_{ss})r_1]}{[(1 - r_1^2)(1 - r_2^2)]} \quad (Eq. 27)$$

Onde:

$$r_{cc} = corr(\cos\theta, \cos\varphi)$$

$$r_{cs} = corr(\cos\theta, \sin\varphi)$$

$$r_{sc} = corr(\sin\theta, \cos\varphi)$$

$$r_{cc} = corr(\cos\theta, \sin\varphi)$$

$$r_{ss} = corr(\sin\theta, \sin\varphi)$$

$$r_1 = corr(\cos\theta, \sin\theta)$$

$$r_2 = corr(\cos\varphi, \sin\varphi)$$

Os valores de r^2 são sensíveis a amostras pequenas, no caso concreto deste trabalho, onde o número de medições é reduzido, como por exemplo, a estrada da pedreira abandonada onde existem apenas 4 valores para cada família. Tal facto pode induzir em resultados errados. Também para o coeficiente de correlação circular, os valores variam entre -1 e 1, sendo que obter o valor 0 significa não haver qualquer tipo de associação entre variáveis, a correlação resulta nula.

Neste caso a função *corr* indica a correlação circular entre as duas variáveis em estudo.

2.3. Inferência estatística

2.3.1. Testes Paramétricos

Tal como na maioria do campo estatístico, também na estatística circular se fazem testes de hipótese que actuam como ferramenta para tomar decisões com base em dados experimentais. Existem variadíssimos testes de hipótese que devem ser escolhidos e adequados ao trabalho em que vão ser aplicados.

Os testes dividem-se em paramétricos ou não paramétricos. Os primeiros incidem sobre um parâmetro específico de uma ou mais populações como a média, por exemplo, e pressupõem, na maioria dos casos, uma distribuição normal. Por sua vez, os segundos não estão condicionados por nenhum tipo de pressuposto. Da mesma forma que não devem ser

aplicados os testes paramétricos quando os pressupostos por estes exigidos não são cumpridos, também os não paramétricos devem ser evitados sempre que prevalecem as condições necessárias à aplicação dos paramétricos, uma vez que estes são mais potentes (Fiúza, 2003).

Teste da uniformidade circular:

Uma questão que é muito comum ser colocada, relativamente aos dados direccionais, prende-se com a necessidade de saber se uma amostra está distribuída uniformemente em torno do círculo ou se tem uma direcção média comum. Posto isto, as hipóteses serão:

H_0 : A população distribui-se uniformemente em torno do círculo.

H_1 : A população não se distribui uniformemente em torno do círculo.

O teste mais indicado para escolher uma das hipóteses é o **teste de Rayleigh**. Este teste questiona quão grande deverá ser o comprimento do vector resultante para que se trate de uma distribuição não uniforme.

$$P = e^{\left[\sqrt{(1+4n+4(n^2-R^2))}-(1+2n)\right]} \quad (\text{Eq. 28})$$

Onde:

$$Z = \bar{R}^2 \times n$$

$$R = n \times \bar{R}$$

n – número de observações.

Sabe-se, à priori, que um valor elevado de Z , sugere uma maior concentração dos dados em torno da média e consequentemente uma menor probabilidade destes estarem uniformemente distribuídos, e portanto rejeitar-se-ia a hipótese H_0 . Contudo, a noção de valor pequeno pode gerar confusões e por essa razão o critério para aceitar ou rejeitar a hipótese nula é se a probabilidade P for superior ao nível de significância estipulado então não rejeito H_0 , caso contrário rejeito a hipótese H_0 (Davis, 2002).

Este teste permite-nos saber se as observações direccionais, neste caso concreto a direcção e inclinação, são aleatórias, isto é, se há alguma direcção preferencial por parte da fracturação ou se a probabilidade de ocorrência é a mesma para todas as direcções.

É importante referir que este teste assume que as amostras provêm de uma distribuição de von Mises, que será convenientemente abordada mais a frente.

Teste de tendência específica:

Este teste tem uma vertente diferente do teste anterior, isto é, neste caso as hipóteses põem-se em torno da direcção média, estabelecendo intervalos de confiança entre os quais esta se encontrará (Davis, 2002).

Este teste interessa-nos particularmente para responder a questões tais como, “*será que as medições que se obtiveram têm alguma ligação com os grandes cisalhamentos que circundam a zona onde estas foram recolhidas?*”

Os testes de hipóteses, para determinar se uma amostra foi ou não retirada de uma população que segue uma direcção média específica, exigem uma infinidade de cálculos matemáticos, sendo que desta forma se procurou uma alternativa mais simples (Davis, 2002).

Determina-se o intervalo de confiança em torno da direcção média e verifica-se se este é suficientemente grande para englobar a direcção média calculada. Este intervalo de confiança (equação 29) baseia-se no erro standard em torno da direcção média (equação 30) e tem em conta quer o tamanho da amostra que a sua dispersão (Davis, 2002).

$$\mu \pm z_{\alpha} s_e \quad (Eq. 29)$$

$$s_e = 1/\sqrt{n\bar{R}k} \quad (Eq. 30)$$

Onde:

z_{α} — valor tabelado para um dado nível de significância α . Geralmente adopta-se $\alpha = 0,05$;

s_e — erro padrão da estimativa da direcção média, tendo em consideração quer o tamanho da amostra quer a sua dispersão.

Tendo interesse relevante para este trabalho responder à pergunta que atrás se colocou, sabe-se com recurso a este teste, que se as direcções médias calculadas estiverem entre o intervalo de confiança, certamente as fracturas estarão de alguma forma relacionadas com os grandes cisalhamentos próximos da zona de Penafiel, onde foram recolhidas as medições.

2.3.2. Testes Não-Paramétricos

Teste de Watson U_n^2 :

O teste de Watson destina-se a avaliar a qualidade do ajustamento de uma distribuição teórica, distribuição de von Mises, tendo por base o cálculo da média do quadrado dos desvios entre uma distribuição empírica e a distribuição teórica (equação 31) (Marques de Sá, 2003). As hipóteses probabilísticas são:

H_0 : A amostra provém de uma distribuição de von Mises.

H_1 : A amostra não provém de uma distribuição de von Mises.

Analiticamente, este teste pode ser calculado com recurso às seguintes fórmulas:

$$U_n^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 - \sum_{i=1}^n \frac{(2i-1)V_i}{n} + n \left[\frac{1}{3} - \left(\bar{V} - \frac{1}{2} \right)^2 \right] \quad (\text{Eq. 31})$$

Onde,

n - Valores ordenados por ordem crescente;

$V_i = F(\theta_i)$ - Valor da distribuição teórica;

$\bar{V}$ - Média de V_i .

Quando se obtêm desvios muito elevados, isto é, quando U_n^2 é elevado, significa que estamos perante uma baixa probabilidade, e deste modo rejeita-se a hipótese H_0 . Existem valores críticos de U tabelados, para vários níveis de significância e neste caso, se $U^2 < U_{\text{crítico}}$ não rejeito a hipótese nula (Marques de Sá, 2003).

Teste de Kuiper V_n

O teste de Kuiper constitui uma alternativa ao teste de Watson, comparando directamente a distribuição dos dados (ordenados) com a distribuição da função teórica desejada. Tal como o teste de Kolmogorov-Smirnov para os dados lineares, também o teste de Kuiper incide sobre a análise dos desvios máximos positivos D_n^+ e negativos D_n^- entre a distribuição cumulativa empírica (equação 32) e teórica (equação 33) do ajustamento (Mardia *et al.*, 2000).

$$S_n(\theta) = \frac{i}{n} \quad (\text{Eq. 32})$$

$$F(\theta) \quad (\text{Eq. 33})$$

Tendo as distribuições empírica e teórica é possível calcular os desvios máximo (equação 34) e mínimo (equação 35) com recurso aos seguintes algoritmos de cálculo:

$$D_n^+ = \sup\{S_n(\theta) - F(\theta)\} \quad (\text{Eq. 34})$$

$$D_n^- = \sup\{F(\theta) - S_n(\theta)\} \quad (\text{Eq. 35})$$

Para uma dada distribuição, o valor do teste de Kuiper V_n (equação 36) vem:

$$V_n = D_n^+ + D_n^- \quad (Eq. 36)$$

Tal como na maioria dos testes estatísticos, também para este existem valores tabelados em função do valor de significância desejado. Posto isto, existem duas formas possíveis de se decidir acerca da rejeição ou não rejeição da hipótese nula.

Se $V_n > V_{crítico}$ então rejeita-se a hipótese nula. Ou então pode-se ainda calcular a probabilidade associada a V_n , que será $P(V_n)$ e se esta for inferior ao α estipulado, rejeita-se H_0 (Mardia *et al.*, 2000).

Tal como foi dito anteriormente, os algoritmos para ambos os testes, se construídos em Matlab, exigem cálculos bastante elaborados e talvez conhecimentos não adquiridos até então. A construção de algoritmos de raiz tem as suas vantagens, sendo que sabemos perfeitamente como funcionam uma vez que fomos nós a criá-los e a interpretação dos resultados parece-nos mais simples, no entanto, e por uma questão de tempo, adicionada aos factores referidos atrás optou-se, tanto para o teste de Kuiper como para o teste de Watson, por recorrer ao *software* Oriana como forma de obter resultados.

2.4. Modelo de distribuição probabilística

2.4.1. Distribuição de von Mises

Paralelamente à informação fornecida pelos estatísticos básicos, a teoria das probabilidades aplicada aos dados direccionais estabelece alguns modelos de distribuição que podem ser ajustados aos registos das variáveis, fornecendo conclusões interessantes.

Também conhecida como a distribuição normal para dados circulares, a distribuição de von Mises é a mais utilizada na modelação de dados reais, em grande parte graças às suas boas propriedades como regularidade, simetria e parâmetros facilmente interpretáveis.

Apenas são necessários dois parâmetros para a definir, a direcção média μ e o parâmetro de concentração k , ambos calculados previamente. É uma distribuição unimodal e simétrica em relação à média.

Previamente tem-se como conhecimento de base que à medida que aumenta k , aumenta também a probabilidade da distribuição se concentrar em torno da média. Quando $k=0$ a probabilidade é a mesma para qualquer direcção, resultando uma distribuição circular uniforme.

Duas expressões importantes ajudam a definir a distribuição de Von Mises. A própria função densidade de probabilidade de von Mises (equação 23) e a função de Bessel modificada de primeiro tipo e ordem 0 (equação 24). Expressam-se do seguinte modo:

$$M_{\mu,k}(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} \times e^{k \cos(\theta-\mu)} \quad (\text{Eq. 37})$$

$$I_0(k) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{k \cos \theta} d\theta \quad (\text{Eq. 38})$$

A única dificuldade que se põe com esta distribuição está patente na sua função repartição que não sendo fácil de calcular, permite a determinação do seu valor através de valores tabelados ou então por aproximação à distribuição normal $N(u,k)$.

No âmbito deste trabalho, não se recorreu à aplicação directa da distribuição de von Mises, mas achamos pertinente fazer um breve explicação uma vez que esta distribuição se encontra na base de alguns dos resultados obtidos através do *software* Oriana.

Nas páginas seguintes são apresentados alguns dos algoritmos construídos de raiz, em *Matlab*, essencialmente respeitantes aos conceitos de estatística direccionais. A opção prende-se com a escassa produção, em termos de *software* de programas relativos à estatística circular. Embora tenhamos feito uso, em alguns dos tratamentos estatísticos efectuados, do *software* comercial *Oriana*, privilegiámos a construção das nossas próprias rotinas por forma a podermos não só controlar de forma mais eficiente os tratamentos estatísticos, mas também interpretar de forma mais consistente os resultados obtidos.

2.5.Algoritmos de cálculo utilizados

2.5.1.Estatísticos básicos para variáveis lineares

```
% cálculo dos estatisticos basicos para a variavel linear espaçamento
function[numero_de_ordenados, valores_ordenados, maximo, minimo, media, moda, mediana, desvio_padrao, variancia, covariancia, soma, produto, coeficiente_de_variacao]=estatb(x)
numero_de_observacoes=length(x)
valores_ordenados=sort(x)
maximo=max(x)
minimo=min(x)
media=mean(x)
moda=mode(x)
mediana=median(x)
desvio_padrao=std(x)
variancia=var(x)
covariancia=cov(x)
soma=sum(x)
produto=prod(x)
coeficiente_de_variacao=(desvio_padrao/media)*100
end
```

2.5.2.Estatísticos básicos para variáveis circulares

```
function[miu, R, V, s, R2, delta, k, sk, kc]=estatcirc(dados)
% Estatisticos básicos para variáveis circulares
n=length(dados)
% Ciclo para converter os dados de graus para radianos
for i=1:length(dados)
    x(i)=(dados(i)*pi)/180;
end
x'
% direcção média miu --> media angular de todos os vectores da amostra
% considerada
C=mean(cos(x))
S=mean(sin(x))
if S>=0 & C>0
    miu=atan(S/C)
elseif C<0
    miu=atan(S/C)+pi
elseif S<0 & C>0
    miu=atan(S/C)+2*pi
end
u'
% vector resultante R --> direcção predominante num conjunto de
vectores
C1=C^2
S1=S^2
R=sqrt(C1+S1)
% variância V e desvio padrão circular s
V=1-R
s=sqrt(-2*log10(R))
% calculo de R2 --> permite inferir sobre a dispersão circular dos
vectores
R2=dados*2
```

```

for i=1:length(R2)
    x2(i)=(R2(i)*pi)/180,
end
x2'
C2=mean(cos(x2))
S2=mean(sin(x2))
R2=sqrt((C2^2)+(S2^2))
% dispersao circular
delta=(1-R2)/((2*R^2))
% coeficiente de concentraçao k = inverso da dispersao
if R<0.53
    k=(2*R)+R^3+(5*((R^5)/6))
elseif 0.53<=R<0.85
    k=-0.4+1.39*R+0.43*(1-R)
elseif R>=0.85
    k=1/((R^3)-(4*(R^2))+(3*R))
end
% Momentos m1
alfa1=C
beta1=S
m1=R*exp(i*(miu))
% Momentos centrados m2
A=mean(cos(2*x))
B=mean(sin(2*x))
m2=A+B*i;
miu2=m2
% Assimetria circular sK
sK=(R2*sin(miu2-2*miu))/((1-R)^(3/2))
% Curtose circular Kc
Kc=((R2*cos(miu2-2*u)-R^4)/(1-R^2))
% Intervalos de confiança
teta=miu
alfa=input('qual o valor de alfa?')
Zalfa2=input('ver na tabela o valor do intervalo de cofiança')
limitesup=teta+(sin(Zalfa2/sqrt(n*(1/delta)*R))^(-1))
limiteinf=teta-(sin(Zalfa2/sqrt(n*(1/delta)*R))^(-1))

```

2.5.3. Correlação linear - circular

```

function [RED, REI, testeED, testeEI]=corrhc(Direccao, Espacamento, Inclinaç
ao)
% coeficiente de correlação linear-circular
%-----Espaçamento versus Direcção-----
disp('-----Coeficiente de Correlação espaçamento vs direcção-----')
Direccao=[]
Espacamento=[]
Inclinacao=[]
n=length(Direccao)
% ciclo para converter os dados de graus para radianos
for i=1:length(Direccao)
    x(i)=(Direccao(i)*pi)/180;
end
x'
c=cos(x)'
s=sin(x)'
a=[Espacamento, c];
b=[Espacamento, s];
c=[c, s];
% Cálculo dos coeficientes de correlação
Rxc=corrcoef(a); Rxc=Rxc(1,2)

```

```

Rxs=corrcoef(b);Rxs=Rxs(1,2)
Rcs=corrcoef(c);Rcs=Rcs(1,2)
RED=(Rxc^2+Rxs^2-(2*(Rxc*Rxs*Rcs)))/(1-Rcs^2)
%-----Espaçamento versus Inclinação
disp('-----coeficiente de correlação espaçamento vs inclinação-----')
m=length(Inclinacao)
for i=1:length(Inclinacao)
    y(i)=(Inclinacao(i)*pi)/180;
end
c=cos(y)'
s=sin(y)'
a=[Espacamento,c]
b=[Espacamento,s]
c=[c,s]
% Cálculo dos coeficientes de correlação
Ryc=corrcoef(a);Ryc=Ryc(1,2)
Rys=corrcoef(b);Rys=Rys(1,2)
Rcs=corrcoef(c);Rcs=Rcs(1,2)
REI=(Ryc^2+Rys^2-(2*(Ryc*Rys*Rcs)))/(1-Rcs^2)
%teste ao coeficiente de correlação com recurso à distribuição
%Fisher-Snedecor
%-----Espaçamento versus Direcção-----
disp('-----Espaçamento versus Direcção-----')
testeED=((n-3)*RED^2)/(1-RED^2)
%-----Espaçamento versus Inclinação-----
disp('-----Espaçamento versus Inclinação-----')
testeEI=((n-3)*REI^2)/(1-REI^2)

```

2.5.4. Correlação linear - circular por famílias (NW e NE)

```

function[RENW,RENE,ENW,ENE]=corrlcpartes(EspacamentoNE,EspacamentoNW,N
oroeste,Nordeste)
EspacamentoNE=[]
EspacamentoNW=[]
Noroeste=[]
Nordeste=[]
% coeficiente de correlação entre o espaçamento e a direcção noroeste
disp('-----Espaçamento versus Noroeste-----')
n=length(Noroeste)
% ciclo para converter os dados de graus para radianos
for i=1:length(Noroeste)
    x(i)=(Noroeste(i)*pi/180);
end
x'
c=cos(x)'
s=sin(x)'
a=[EspacamentoNW,c]
b=[EspacamentoNW,s]
c=[c,s]
% Calculo dos coeficientes de correlação
Rxc=corrcoef(a);Rxc=Rxc(1,2)
Rxs=corrcoef(b);Rxs=Rxs(1,2)
Rcs=corrcoef(c);Rcs=Rcs(1,2)
RENW=(Rxc^2+Rxs^2-(2*(Rxc*Rxs*Rcs)))/(1-Rcs^2)
%coeficiente de correlação entre o espaçamento e a direcção nordeste
disp('-----Espaçamento versus Nordeste-----')
n=length(Nordeste)
% ciclo para converter os dados de graus par radianos
for i=1:length(Nordeste)

```

```

        z(i)=(Nordeste(i)*pi/180);
end
z'
c=cos(z)'
s=sin(z)'
a=[EspacamentoNE, c]
b=[EspacamentoNE, s]
c=[c, s]
Rzc=corrcoef(a);Rzc=Rzc(1,2)
Rzs=corrcoef(b);Rzs=Rzs(1,2)
Rcs=corrcoef(c);Rcs=Rcs(1,2)
RENE=(Rzc^2+Rzs^2-(2*(Rzc*Rzs*Rcs)))/(1-Rcs^2)
%teste ao coeficiente de correlação com recurso à distribuição
%Fisher-Snedecor
%-----Espaçamento versus Noroeste-----
disp('-----Espaçamento versus Noroeste-----')
testeENW=((n-3)*(RENW^2))/(1-RENW^2)
%-----Espaçamento versus Nordeste-----
disp('-----Espaçamento versus Nordeste-----')
testeENE=((n-3)*(RENE^2))/(1-RENE^2)

```

2.5.5. Correlação circular - circular

```

function[RDI]=corrcc(Direccao,Inclinacao)
% Coeficiente de correlação circular/circular
% Coeficiente de correlação Direcção versus Inclinação
disp('-----Coeficiente de Correlação DIRECÇÃO VERSUS INCLINAÇÃO-----')
Direccao=[]
Inclinacao=[]
n=length(Direccao)
% ciclo para converter os dados da direcção de graus para radianos
for i=1:n
    x(i)=(Direccao(i)*pi/180)
end
% ciclo para converter os dados da inclinação de graus para radianos
m=length(Inclinacao)
for i=1:m
    y(i)=(Inclinacao(i)*pi/180)
end
c1=cos(x)'
c2=cos(y)'
s1=sin(x)'
s2=sin(y)'
a=[c1, c2]; b=[c1, s2]; c=[s1, c2]; d=[s1, s2]; e=[c1, s1]; f=[c2, s2]
% calculo dos coeficientes de correlação
Rcc=corrcoef(a);Rcc=Rcc(1,2)
Rcs=corrcoef(b);Rcs=Rcs(1,2)
Rsc=corrcoef(c);Rsc=Rsc(1,2)
Rss=corrcoef(d);Rss=Rss(1,2)
R1=corrcoef(e);R1=R1(1,2)
R2=corrcoef(f);R2=R2(1,2)
RDI=[(Rcc^2+Rcs^2+Rsc^2+Rss^2)+2*(Rcc*Rss+Rcs*Rsc)*R1*R2-
2*(Rcc*Rcs+Rsc*Rss)*R2-2*(Rcc*Rsc+Rcs*Rss)*R1]/[(1-R1^2)*(1-R2^2)]

```

2.5.6. Correlação circular - circular por famílias (NW e NE)

```
function[RDINE, RDINW]=corrccpartes(DireccaoNE, DireccaoNW, InclinacaoNE,
InclinacaoNW)
% Coeficiente de correlação circular/circular
% Coeficiente de correlação Direcção versus Inclinação
DireccaoNE=[]
DireccaoNW=[]
InclinacaoNE=[]
InclinacaoNW=[]
disp('-----Coeficiente de Correlação DIRECÇÃO VERSUS INCLINAÇÃO
NORDESTE-----')
n=length(DireccaoNE)
% ciclo para converter os valores da direcção nordeste de graus para
radianos
for i=1:n
    x(i)=(DireccaoNE(i)*pi/180)
end
m=length(InclinacaoNE)
% ciclo para converter os valores da inclinação nordeste de graus para
radianos
for i=1:m
    y(i)=(InclinacaoNE(i)*pi/180)
end
c1=cos(x)'
c2=cos(y)'
s1=sin(x)'
s2=sin(y)'
a=[c1, c2]
b=[c1, s2]
c=[s1, c2]
d=[s1, s2]
e=[c1, s1]
f=[c2, s2]
% calculo dos coeficientes de correlação
Rcc=corrcoef(a); Rcc=Rcc(1, 2)
Rcs=corrcoef(b); Rcs=Rcs(1, 2)
Rsc=corrcoef(c); Rsc=Rsc(1, 2)
Rss=corrcoef(d); Rss=Rss(1, 2)
R1=corrcoef(e); R1=R1(1, 2)
R2=corrcoef(f); R2=R2(1, 2)
RDINE=[(Rcc^2+Rcs^2+Rsc^2+Rss^2)+2*(Rcc*Rss+Rcs*Rsc)*R1*R2-
2*(Rcc*Rcs+Rsc*Rss)*R2-2*(Rcc*Rsc+Rcs*Rss)*R1]/[(1-R1^2)*(1-R2^2)]
disp('-----Coeficiente de correlação DIRECÇÃO VERSUS INCLINAÇÃO
NOROESTE-----')
n=length(DireccaoNW)
% ciclo para converter os valores da direcção noroeste de graus para
radianos
for i=1:n
    x(i)=(DireccaoNW(i)*pi/180)
end
m=length(InclinacaoNW)
% ciclo para converter os valores da inclinação noroeste de graus para
radianos
for i=1:m
    y(i)=(InclinacaoNW(i)*pi/180)
end
c1=cos(x)'
c2=cos(y)'
s1=sin(x)'
s2=sin(y)'
```

```

a=[c1,c2]
b=[c1,s2]
c=[s1,c2]
d=[s1,s2]
e=[c1,s1]
f=[c2,s2]
% cálculo do coeficiente de correlação
Rcc=corrcoef(a);Rcc=Rcc(1,2)
Rcs=corrcoef(b);Rcs=Rcs(1,2)
Rsc=corrcoef(c);Rsc=Rsc(1,2)
Rss=corrcoef(d);Rss=Rss(1,2)
R1=corrcoef(e);R1=R1(1,2)
R2=corrcoef(f);R2=R2(1,2)
RDINW=[(Rcc^2+Rcs^2+Rsc^2+Rss^2)+2*(Rcc*Rss+Rcs*Rsc)*R1*R2-
2*(Rcc*Rcs+Rsc*Rss)*R2-2*(Rcc*Rsc+Rcs*Rss)*R1]/[(1-R1^2)*(1-R2^2)]

```

2.5.7. Teste de Rayleigh

```

%Teste de Rayleigh
%H0: os dados estão distribuídos uniformemente
%H1: os dados não estão distribuídos uniformemente e portanto mostram
evidências de uma direção preferencial.
n=input('qual o tamanho da amostra?')
R=input('qual o valor de R?')
z=n*R^2
P=exp(sqrt(1+4*n+4*(n^2-(R^2)))-(1+2*n))
alfa=input('qual o nível de significância?')
if P<alfa
    display('----Rejeito a hipótese H0----')
elseif P>alfa
    display('----Não rejeito a hipótese H0----')
end

```

2.5.8. Teste de tendência específica

```

%Teste da tendência específica
%H0: os dados estão associados aos grandes cisalhamentos
%H1: os dados não estão associados aos grandes cisalhamentos
n=input('quantos dados são?')
R=input('qual o comprimento do vector resultante?')
k=input('qual o parametro de concentração?')
u=input('qual o valor da direção média calculada?')
alfa=0.05
Zalfa=1.96
Se=1/(sqrt(n*R*k))
Limitesup=u+(Zalfa*Se)
Limiteinf=u-(Zalfa*Se)

```

Capitulo 3.

Tratamento gráfico dos dados recolhidos

3.1. Diagramas de famílias de fracturas

A recolha de dados no âmbito deste trabalho teve por base a prospecção geológica, tal como já foi referido anteriormente. Posto isto, fizeram-se recolhas em vários pontos distintos do maciço rochoso granítico que integra a zona de Penafiel. Alguns dados foram recolhidos em pedreiras (em laboração ou abandonadas) e outros em afloramentos dispersos.

O tratamento dos dados por sua vez teve duas vertentes distintas. A primeira e mais simples consistiu em recorrer ao programa *StereoNet* que permitiu retirar informações importantes sobre os dados previamente recolhidos. A segunda vertente do tratamento de dados teve uma componente estatística, mais propriamente a estatística circular. Com recurso aos programas construídos em *Matlab* pretendeu-se retirar algumas conclusões que pensamos importantes para este trabalho.

Para cada um dos locais onde foram recolhidos os dados, foram elaborados diagramas definidores das principais famílias de fracturas. Tal como já foi dito anteriormente, no maciço em estudo predominam os granitóides, dentro dos quais se encontram granitos e granodioritos. Relativamente a estes últimos, há apenas uma recolha de dados. Seguem-se então os respectivos gráficos e conclusões retiradas dos mesmos.

3.1.1. Granodioritos

Penafiel - Portela

Da mancha cartográfica de granodioritos de Portela, só se observou um afloramento definido espacialmente pelas coordenadas GPS (41° 07' 25,92'' N 8° 18' 26,90'' W). O gráfico mostra que predominam duas famílias de fracturas principais, uma NW-SE e uma NE-SW.

O granodiorito em questão apresenta-se bastante fracturado e quimicamente alterado, sendo em algumas zonas evidente os resultados da meteorização dos minerais ferruginosos.

Uma vez que os dados recolhidos estão em número reduzido e apenas foi analisada uma pequena parte do afloramento de granodioritos, não sendo possível retirar conclusões definitivas.



Ilustração 11: Vista aérea do local do afloramento granodiorítico (Google Earth) e respectivo diagrama de densidade de pólos para os planos de diáclases (n=20). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNW – SSE a NW – SE subvertical e uma NE – SW subvertical.

Ilustração 12: Afloramento granodiorítico mostrando o seu estado de alteração.



3.1.2. Granitos

Penafiel – Cabeça Santa

Os locais mais adequados para a recolha deste tipo de dados são as próprias pedreiras, em laboração ou não. Neste caso, é necessário ter em atenção ao tipo de fracturas que vão ser medidas, isto é, surgem fracturas naturais do próprio maciço, mas também surgem muitas fracturas originadas por alívios de tensões ao longo da exploração ou pelo rebentamento aquando das pegas de fogo aquando da exploração.

A referência deste local de amostragem consubstancia de uma pedreira abandonada de pequenas dimensões situada em Cabeça Santa, com as seguintes coordenadas GPS (41° 08' 14''N 8° 16' 59''W).

O granito que aqui predomina é designado por *granito azul*, estando pouco alterado, apenas nas zonas superiores da pedreira apresenta uma tonalidade amarelada, o que seria de esperar tendo em conta que são essas as zonas que sofrem mais meteorização/erosão em grande parte promovida quer pela água que atravessa a pedreira quer pela vegetação.

Através da observação e sem ter em conta quaisquer resultados as dimensões dos espaçamentos entre fracturas desta pedreira aparentam estar dentro das exigências (vide página 20) para uma possível exploração para produção de rocha ornamental.

Apesar de a sua alteração ser reduzida e os espaçamentos serem suficientemente bons, a rocha apresenta alguns encraves, o que poderá reduzir substancialmente o seu valor no mercado.

Relativamente ao gráfico obtido, são visíveis duas famílias de fracturas principais, NE-SW e NW-SE, sendo esta última a mais expressiva, querendo com isto dizer que os dados que seguem esta direcção estão em maior número.



Ilustração 13: Vista aérea da pedreira abandonada em Cabeça Santa (Google Earth) e respectivo diagrama de densidade de pólos para os planos de diáclases (n=22). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NE – SW subvertical e uma NW – SE subvertical.

Ilustração 14: Afloramentos graníticos da pedreira de Cabeça Santa



Estrada circundante da Pedreira de Cabeça Santa

Toda a zona de Penafiel é abrangida por inúmeros afloramentos possíveis de serem observados nas bermas das estradas. Deste modo e tendo em conta que quanto maior for o número de dados mais fácil será retirar conclusões, retiraram-se dados também num afloramento próximo da pedreira anterior. Os dados não são muitos mas neste caso não se corre o risco de ocorrer fracturação que não seja a natural do maciço.

Como seria de esperar, tendo em vista a fracturação que predomina em todo o maciço granítico de Penafiel, também aqui surgem as mesmas famílias de fracturas sendo uma NE-SW e outra NW-SE (Ilustração 15).

Uma vez que ambas as zonas anteriores estão muito próximas, optou-se por fazer um agrupamento dos dados, resultando no diagrama representado pela ilustração 16. Alguns pontos estão ligeiramente dispersos mas as famílias de fracturas predominantes mantêm-se.

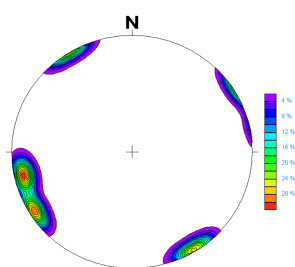


Ilustração 15: Diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases (n=8). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNE – SSW subvertical e uma NW – SE subvertical.

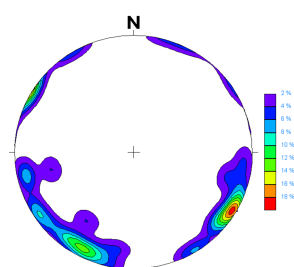


Ilustração 16: Diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases (n=30). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNE – SSW a NE – SW subvertical e uma NNW – SSE subvertical.

Pedreira da Costa Queimada – Peroselo – Penafiel

A pedreira da Costa Queimada, espacialmente representada pelas coordenadas GPS 41° 10' 47''N 8° 14' 21,8''W, apresenta excelentes condições para a exploração de rocha com fins ornamentais. Actualmente, nesta pedreira não só fazem a extracção do granito como também a sua transformação sendo os seus produtos mais comuns os blocos de granito, a pedra para muros e casas e os cubos e paralelos de várias medidas.

A fracturação predominante segue a direcção NW-SE, e apresenta-se suficientemente espaçada para que a extracção de blocos, com as dimensões exigidas, seja possível.



Ilustração 17: Vista aérea da Pedreira da Costa Queimada (Google Earth) e respectivo diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases (n=29). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNW – SSE a NW – SE subvertical e uma NNE – SSW a NE – SW subvertical.

Ilustração 18: Bancadas da Pedreira da Costa Queimada



Pedreira da Mimosa – Cabeça Santa – Peroselo – Penafiel

A pedreira da Mimosa, insere-se na bacia hidrográfica do Rio Douro e está compreendida entre os paralelos 40°20' e 40°10' de latitude Norte e os meridianos 8°43' e 8°40' de longitude Oeste.

Também esta pedreira se encontra actualmente em laboração, sendo o material extraído utilizado para diversos fins ligados à construção civil e obras públicas, tais como britas, enrocamento e balastro.

Predominam nesta pedreira os granitos monzoníticos porfiróides, de grão grosseiro de duas micas, essencialmente biotíticos. É notória a abundância de água que circula na pedreira, por entre fracturas cruzadas que facilitam a sua penetração.

Em diversos pontos da pedreira identifica-se a ocorrência de pontuações ferruginosas resultantes da oxidação dos minerais ferromagnesianos, conferindo à rocha uma tonalidade amarelada. Nas zonas que limitam a pedreira, surge granito desagregado e mesmo arenizado exibindo uma intensa alteração.

As frentes de desmonte evidenciam um elevado grau de fracturação, considerado em algumas zonas muito elevado. Por este facto a pedraira destina-se exclusivamente à produção de agregado. Posto isto e tendo em consideração as características estruturais do maciço, resultantes da intensidade da deformação e do grau de alteração, existem sérias limitações à possibilidade deste granito se estender para o mercado de rocha ornamental.

É importante referir que uma das condicionantes na recolha de dados numa pedraira em laboração é que nem todas as frentes estão acessíveis quer por apresentarem material que ainda não foi carregado, quer por estar a ser preparada a pega de fogo. Por vezes pode tornar-se difícil distinguir falhas naturais das falhas provocadas pelas diversas operações que ocorrem numa pedraira, como já foi referido anteriormente.

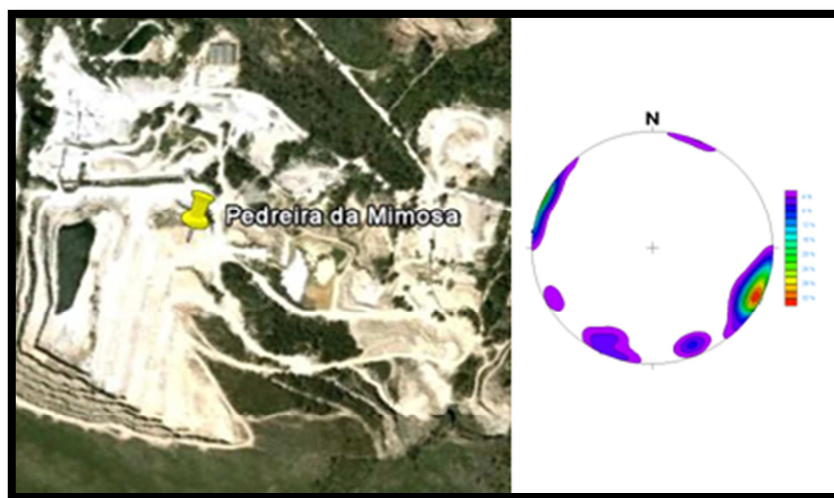


Ilustração 19: Vista aérea da Pedreira da Mimosa (Google Earth) e respectivo diagrama de densidade de pólos para os planos de diaclases ($n=44$). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, como orientações gerais NNW – SSE subvertical e uma NNE – SSW a NE – SE subvertical.



Ilustração 20: Bancadas já desmontadas que ilustram a extrema fracturação da Pedreira da Mimosa.

Pedreira nº 6328- Cabeça Santa

Como seria de esperar, tendo em vista a sua localização, também esta pedreira apresenta um sistema de fracturação semelhante aos anteriores, predominando as direcções NE-SW e NW-SE, apesar de ser visível uma pequena família próximo da direcção E-O.

Esta pedreira é identificada pelas coordenadas GPS 41° 08' 26,70"N 8° 16' 37,8 W. Apesar de ter verificado que muito do material pertencente à lavaria estava em excelente estado, esta pedreira já não se encontra em laboração, o que leva a pensar que possivelmente foi deixada ao abandono devido a dificuldades financeiras.

Os dados retirados neste local são reduzidos devido à impossibilidade de acesso às bancadas superiores uma vez que a formação de uma lagoa provocada pela escorrência da água das chuvas se alojou naquela que em tempos foi a área de desmonte.



Ilustração 21: Vista aérea da pedreira nº 6328 (Google Earth) e respectivo diagrama de densidade de pólos para os planos de diáclases (n=8). Reconhecem-se duas famílias de fracturas, com orientações gerais NNW – SSE a NW – SE subvertical e uma NE – SW subvertical.

Ilustração 22: Bancada da pedreira nº 6328 que evidencia a sua fracturação.



3.2. Diagramas de Roseta

Os diagramas de roseta surgem com o objectivo de complementar os diagramas de densidades de pólos para os planos de diáclases. Para a sua elaboração optou-se por recorrer ao *software Oriana*. Para este trabalho optamos por utilizar estes diagramas sob a forma circular, no entanto, pode ainda adquirir a forma semicircular ou em estrela. O valor 0 corresponde ao à direcção Norte, e a leitura faz-se no sentido dos ponteiros do relógio.

Pensamos ser interessante recorrer a estes diagramas uma vez que, para além de permitirem identificar as direcções estruturais predominantes de cada um dos locais de amostragem, permitem ainda conhecer a frequência dos dados que compõem cada “pétala” (através dos círculos internos a picotado), a direcção média para cada família de fracturas (representada pelo segmento de recta no interior do círculo), e o intervalo de confiança para cada uma das direcções médias, evidenciado pelo arco exterior ao círculo.

Tendo conhecimento de que já foram feitos muitos estudos prévios, a nível geológico, na área de Penafiel e que a fracturação local é já conhecida, estes diagramas vêm apenas confirmar esses estudos. De qualquer modo, numa situação em estejamos perante uma área totalmente desconhecida a nível de fracturação, a utilização destes diagramas de roseta tornam-se uma importante fonte de conhecimento.

3.2.1. Granodioritos

Penafiel - Portela

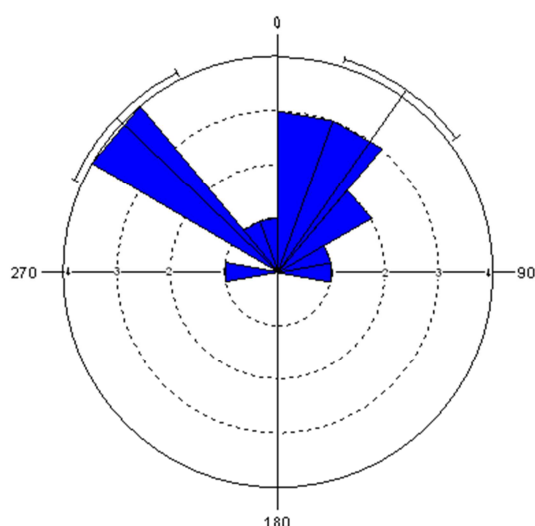


Ilustração 23: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação dos granodioritos e a sua frequência.

Quanto aos granodioritos, verificamos que existem duas famílias de fracturas predominantes, uma família NNW – SSE a NW – SE e outra NNE – SSW a NE – SW. Em termos dos valores dos intervalos de confiança, em torno do valor médio, para ambas as famílias, os dados são muito semelhantes.

4.2.2.Granitos

Pedreira abandonada - Cabeça Santa – Penafiel

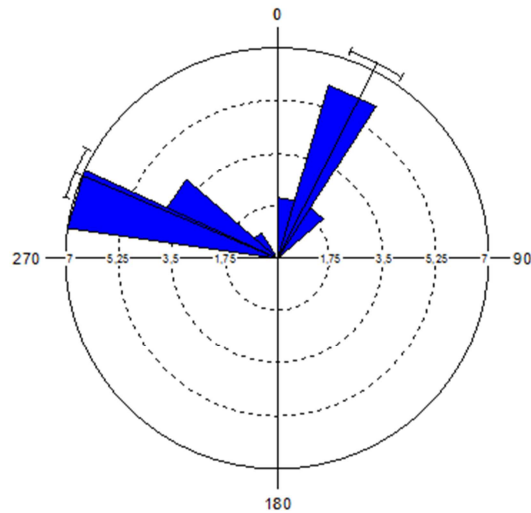


Ilustração 24: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação da Pedreira abandonada de Cabeça Santa e a sua frequência.

A Pedreira abandonada em Cabeça Santa, tal como já foi dito anteriormente, é um dos locais onde, atendendo às observações efectuadas, o granito apresenta melhores condições no que diz respeito ao espaçamento entre fracturas. As famílias de fracturas que medimos, (ilustração 24) formam praticamente um ângulo de 90° entre si bem como direcções médias correspondentes. Predominam duas famílias de fracturas, sendo uma NW – SE e outra NNE – SSW.

Estrada circundante da Pedreira de Cabeça Santa

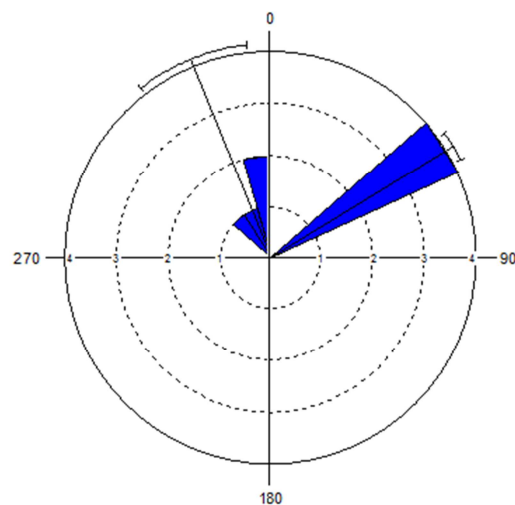


Ilustração 25: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação na estrada circundante da pedreira abandonada e a sua frequência.

Num afloramento próximo da Pedreira abandonada de Cabeça Santa fizeram-se algumas medições, e apesar de serem poucos dados mantêm-se as famílias de fracturas predominantes. Uma família NNW – SSE e outra NE – SW. O diagrama evidencia uma maior variação dos espaçamentos para o caso da família NNW – SSE.

Agrupamento dos dois locais de amostragem anteriores

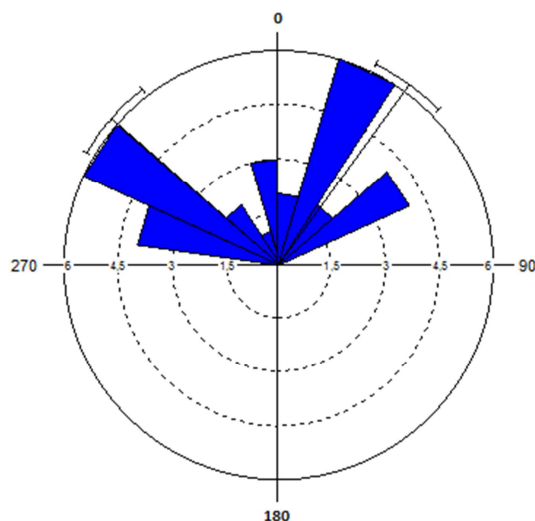


Ilustração 26: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação dos dois locais anteriores e a sua frequência.

Sendo os dados do afloramento reduzidos, e estando este tão próximo da pedreira, optou-se por agrupar os pontos amostrados desses dois locais. Resultam duas famílias de fracturas principais, uma família NNW – SSE a NW – SE e outra família NNE – SSW a NE – SW. A nível de variação das direcções médias, o intervalo de confiança é muito semelhante para ambas as famílias.

Pedreira da Costa Queimada – Peroselo – Penafiel

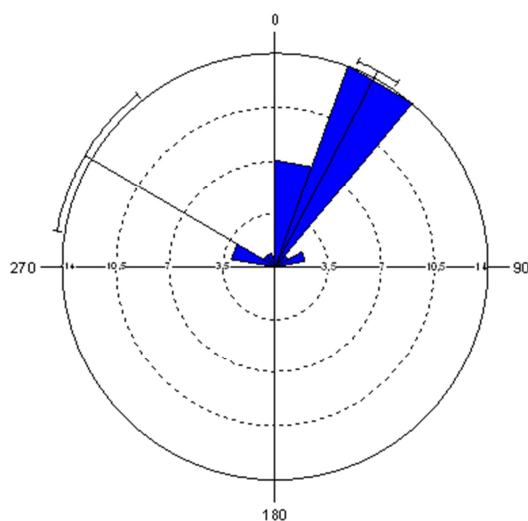


Ilustração 27: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação da Pedreira da Costa Queimada e a sua frequência.

Com o objectivo de facilitar a leitura da família de fracturas do quadrante NW (com uma expressão reduzida na ilustração 27) procedeu-se à elaboração da ilustração 28, onde houve uma ampliação da escala.

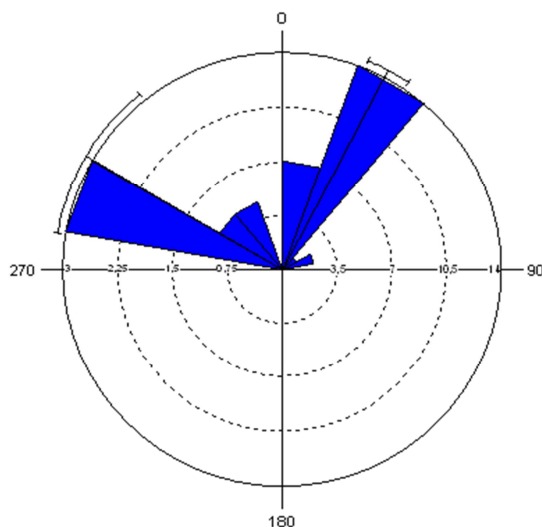


Ilustração 28: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação da Pedreira da Costa Queimada e a sua frequência, numa escala ampliada para facilitar a leitura.

A Pedreira da Costa Queimada distingue-se das restantes por apresentar uma maioria da fracturação com direcção NE, como se pode verificar pelos diagramas acima apresentados. É igualmente perceptível que o intervalo de confiança e consequentemente a variação da direcção média é muito menor para a direcção NE. A consideração destes dois factos, condicionando a exploração da pedreira, podem revelar-se decisivas na orientação das frentes de desmonte, a dimensão dos blocos a extrair, no dimensionamento das pegas de fogo, etc.

Pedreira da Mimosa – Cabeça Santa – Peroselo – Penafiel

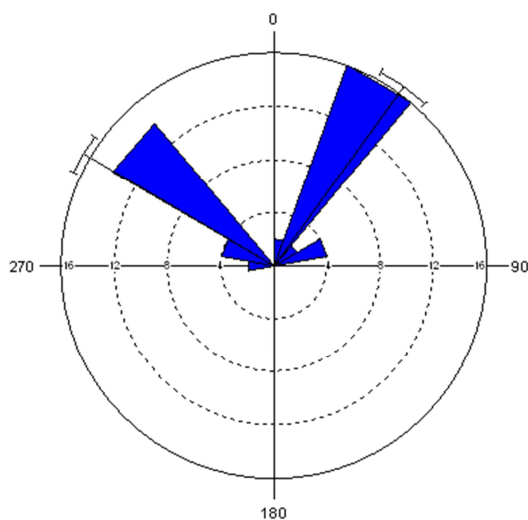


Ilustração 29: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação da Pedreira da Mimosa e a sua frequência.

Na Pedreira da Mimosa predominam igualmente duas famílias de fracturas NW – SE e NE – SW. As direcções médias calculadas formam entre si, aproximadamente, um ângulo de 90°. O intervalo de confiança é ligeiramente inferior para a direcção NW, mas a diferença para ambos os intervalos pode-se considerar insignificante. Facilmente se percebe que a maioria dos dados, tanto para a família NE como para a família NW, estão concentrados muito próximo do valor médio da respectiva direcção.

Pedreira nº 6328

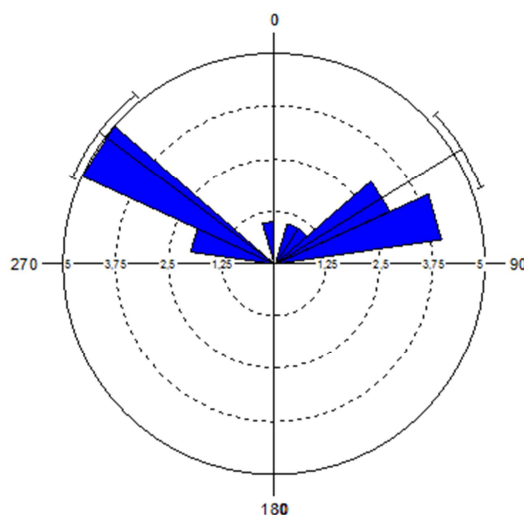
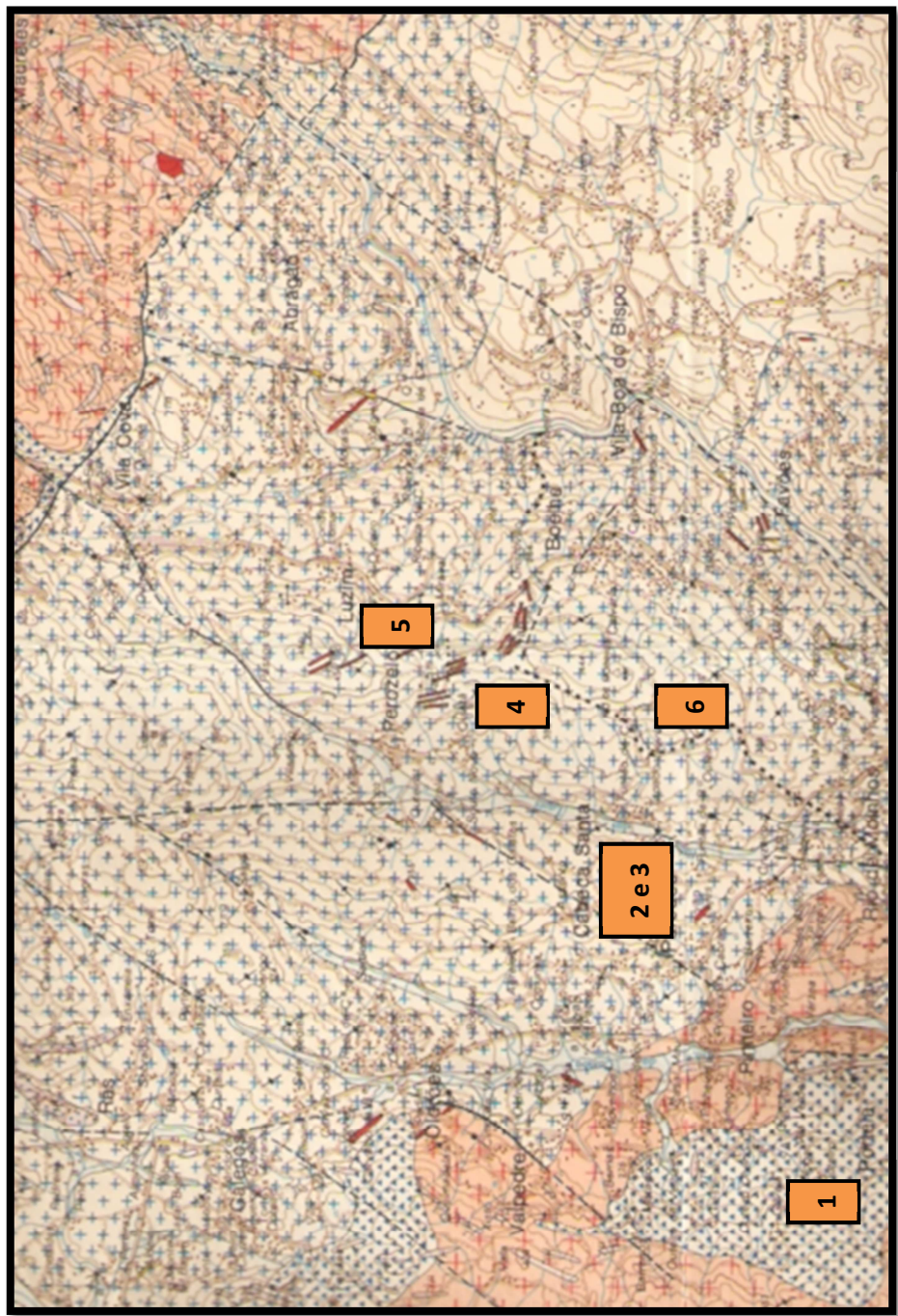


Ilustração 30: Diagrama de Roseta que evidencia as direcções dominantes da fracturação da Pedreira nº 6328 e a sua frequência.

Relativamente à Pedreira nº 6328, pouco se pode acrescentar em relação ao que já foi dito para todos os outros locais anteriores de amostragem. O sistema de fracturação principal mantém-se, uma família NW – SE e outra NE – SW. Para ambas as direcções médias, o intervalo de confiança é muito semelhante.

Em jeito de conclusão e abrangendo todos os diagramas, é notório que estes diagramas não só confirmam os resultados obtidos nos diagramas do *StereoNet*, como também reafirmam o conhecimento previamente adquirido sobre a fracturação do maciço de Penafiel. Não há dúvida que em todos os locais de amostragem predominam duas famílias de fracturas, uma família NW-SE e outra NE-SW, fornecendo assim uma informação extremamente importante sobre a fracturação local. Salienta-se uma vez mais, como mais-valia deste tipo de representação a possibilidade de inferirmos acerca da variabilidade (leia-se dispersão) dos registos em torno de uma direcção média.

3.3.Excerto da Carta geológica de Penafiel e representação dos locais amostrados.



- 1 – Granodioritos
- 2 – Pedreira abandonada
- 3 – Estrada circundante da Pedreira abandonada
- 4 – Pedreira da Mimosa
- 5 – Pedreira da Costa Queimada
- 6 – Pedreira nº 6328

Ilustração 31: Excerto da carta geológica 9D de Penafiel e respectivos locais amostrados (Medeiros *et al.*, 1980)

Capítulo 4.

Resultados obtidos

Discussão dos resultados

4.1.Estatísticos básicos

Tal como já referimos anteriormente, os estatísticos básicos podem não permitir obter resultados muito significativos, no entanto o seu cálculo é indispensável pela crescente importância que vão ganhando à medida que entramos na estatística mais profunda. Seguem-se então os resultados obtidos para os estatísticos básicos (quer para a variável linear quer para as variáveis circulares).

Tabela 8: Estatísticos básicos para a variável linear Espaçamento entre fracturas, atendendo às diferentes famílias. (NW e NE)

Estatísticos Básicos																							
Variável Linear - Espaçamento por famílias (NW e NE)																							
Número de observações	Máximo		Mínimo		Média		Moda		Mediana		Desvio Padrão		Variância		Curtose (k)		Coef. de assimetria		Coef. de variação (%)				
	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE			
Locais de amostragem	Granodioritos	7	10	4,50	8,50	0,40	0,65	1,85	2,92	0,40	0,65	1,50	1,50	1,38	2,80	1,91	7,81	4,84	3,03	1,20	1,18	74,77	95,73
	Estrada da Pedreira Abandonada	4	4	8,50	6,00	1,00	3,70	4,14	4,73	1,00	3,70	3,54	4,62	3,18	0,95	10,11	0,91	1,51	1,50	1,04	0,71	76,76	20,15
	Pedreira Abandonada de Cabeça Santa	12	10	7,40	5,80	0,90	0,90	2,37	3,34	1,00	4,50	1,63	3,85	1,86	1,68	3,45	2,85	4,69	-2,55	2,00	-0,21	78,26	50,60
	Agrupamento dos dois anteriores	16	14	8,50	6,00	0,90	0,90	2,82	3,74	1,00	4,50	2,23	4,50	2,28	1,62	5,18	2,61	2,07	-0,76	1,59	-0,55	80,83	43,25
	Pedreira da Mimosa	20	24	8,00	12,90	0,40	0,30	2,51	3,75	0,40	0,30	2,07	2,57	1,87	3,19	3,50	10,22	5,67	4,70	1,46	1,39	74,56	85,27
	Pedreira da Costa Queimada	5	24	5,60	8,50	3,50	1,00	4,83	3,92	4,83	1,40	4,92	3,80	0,71	1,90	0,51	3,63	3,27	0,31	-1,52	0,53	14,73	48,57
	Pedreira nº 6328	8	9	7,40	6,00	1,00	0,30	3,25	2,48	2,65	0,30	2,65	1,30	2,06	1,97	4,26	3,88	1,58	-0,90	1,28	0,66	63,57	79,31

Recorrendo aos estatísticos básicos é possível retirar algumas conclusões interessantes e que se podem tornar bastante relevantes para uma futura exploração.

Para ambas as direcções (NW e NE) o valor máximo de espaçamento encontrado ultrapassa largamente os valores exigidos para explorar rocha ornamental, contudo também se obtêm valores mínimos abaixo dos valores exigidos. Se nos focarmos na moda, valor que é mais frequente, e especialmente para o espaçamento da família de fracturas NW, os valores são significativamente baixos, com excepção para a Pedreira da Costa Queimada e para a Pedreira nº6328. No entanto, esta última fica fortemente condicionada se olharmos para o valor mais frequente do espaçamento nas direcções NE, que se apresenta muito baixo. Na maioria dos casos, a moda para o espaçamento da direcção NE é maior do que para o espaçamento da direcção NW.

Em média e para os espaçamentos de ambas as direcções, todos os locais de amostragem apresentam valores aceitáveis para a exploração de blocos de rocha ornamental. Importa agora investigar se esse indicador apresenta ou não uma grande variabilidade associada, uma vez que sabemos que a única pedreira que não se destina à produção de britas é a Pedreira da Costa Queimada.

Aquilo que interessa a nível de uma exploração, para além de ter espaçamentos que estejam dentro do exigido para extrair blocos, é também que esses mesmos locais apresentem um desvio padrão baixo, isto é, uma pequena dispersão em torno de um valor médio aceitável. Vejamos o exemplo da Pedreira abandonada de Cabeça Santa e a Pedreira da Mimosa, ambas apresentam médias muito semelhantes para as duas direcções em causa, e o desvio padrão para a direcção NW é praticamente igual, mas quanto à direcção NE, o desvio padrão é muito maior para a Pedreira da Mimosa. Tendo que optar por uma das pedreiras, e sabendo as suas características, deveríamos optar pela pedreira abandonada de Cabeça Santa, visto que, para a Pedreira da Mimosa podemos efectivamente ter espaçamentos, no caso da direcção NE, muito próximo dos 7m ($3,75+3,19$), mas também espaçamentos inferiores a 50 cm ($3,75-3,19$)¹. Do que foi acima exposto, poder-se-á afirmar que só a consideração de um valor médio do espaçamento entre fracturas (para obtenção ou não de blocos com as dimensões pretendidas) é por si só insuficiente e por vezes enganador. Ter-se-á que considerar igualmente a dispersão dos dados em torno dos valores de tendência central.

Consideramos que de todos os locais de amostragem, tendo apenas em consideração os estatísticos básicos para a variável linear espaçamento, que a Pedreira da Costa Queimada, reúne as condições necessárias para a extracção de blocos com dimensões suficientes para a comercialização de rocha ornamental. Para além de ter os maiores espaçamentos médios para ambas as direcções, tem também os menores desvios padrão, o que significa que os espaçamentos pouco se afastam do valor médio.

¹ Se por hipótese fosse assumida uma distribuição normal relativamente à variável espaçamento entre fracturas, 69% das observações estariam no intervalo $[\mu \pm \sigma]$.

Vemo-nos obrigados a referir que o local de amostragem denominado Estrada da Pedreira Abandonada, apresenta como se pode verificar, valores interessantes para o espaçamento médio, mas como se trata de uma amostragem reduzida, achamos que não se podem retirar conclusões relevantes quanto a esses dados.

Pelos resultados obtidos pode-se ainda constatar que, em média, os espaçamentos são menores para a direcção NW. Ora, sabe-se também que existem dois grandes cisalhamentos regionais com a direcção NW próximos da zona de Penafiel, podendo estes dois factos estar relacionados. Sabemos também que quanto maior for a proximidade relativamente a esses grandes cisalhamentos regionais, menor será o espaçamento médio entre fracturas. Por esta ordem de ideias, a pedreira mais afastada será a Pedreira da Costa Queimada, situada numa zona onde será viável fazer estudos para possível implementação de pedreiras de rocha ornamental. Esta afirmação tem um peso extremamente importante para futuros estudos que se pretendam fazer na zona de Penafiel, pois tendo conhecimento que quanto mais afastado dos grandes cisalhamentos maior será o espaçamento obtido, torna-se assim possível reduzir inicialmente a área de trabalho aquando do estudo de determinado maciço.

Tabela 9: Estatísticos básicos para a variável circular Direção entre fracturas, atendendo às diferentes famílias. (NW e NE)

Estatísticos Básicos																							
Variável Circular - Direção por famílias (NW e NE)																							
Nº de observações	Direção média (u)(°)		Direção Mediana		Moda (°)		Vector Resultante (R)		Variância Circular (V)		Desvio Padrão Circular (s)(°)		Dispersão Circular (δ)		Coeficiente de concentração (k)		Assimetria Circular (sk)		Curtose Circular (kc)				
	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE			
Granodioritos		7	10	313	35	311	29,5	NV	9	0,937	0,913	0,063	0,087	21	24	0,132	0,191	7,587	5,230	29,511	-21,739	-11,390	-1,796
Estrada da Pedreira Abandonada		4	4	338	59	339	59	NV	NV	0,985	0,999	0,015	0,001	10	3	0,030	0,002	33,113	454,545	-487,247	2,36x10 ⁴	-20,212	-228,360
Pedreira Abandonada de Cabeça Santa		12	10	302	27	301	30	NV	39	0,957	0,984	0,044	0,016	17	10	0,086	0,033	11,696	30,675	-81,533	357,690	-5,081	-10,966
Agrupamento dos dois anteriores		16	14	311	36	306	32	348	39	0,929	0,957	0,071	0,043	22	17	0,153	0,089	6,553	11,236	22,343	-60,983	-9,838	-17,728
Pedreira da Mimosa		20	24	300	36	307	30	309	30	0,978	0,957	0,022	0,045	12	17	0,137	0,046	7,305	21,930	-269,739	-75,673	-24,719	-4,826
Pedreira da Costa Queimada		5	24	289	28	294	26	NV	26	0,809	0,955	0,191	0,033	37	15	0,355	0,064	2,820	15,625	-3,374	-24,578	0,080	-26,983
Pedreira nº 6328		8	9	307	58	305	62	307	NV	0,961	0,968	0,039	0,032	16	15	0,076	0,066	13,228	15,244	108,562	-153,841	-8,503	-15,825
Locais de amostragem																							

NV – Nenhum valor encontrado.

Tabela 10: Estatísticos básicos para a variável circular Inclinação, por famílias (NW e NE)

Estatísticos Básicos																				
Variável Circular - Inclinação por famílias (NW e NE)																				
Nº de observações	Inclinação média (u)(°)		Inclinação Mediana		Moda (°)		Vector Resultante (R)		Variância Circular (V)		Desvio Padrão Circular (s)(°)		Dispersão Circular (δ)		Coeficiente de concentração (k)		Assimetria Circular (sk)		Curiose Circular (kc)	
	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE	NW	NE
Granodioritos																				
9	8	81	77	80	80	80	0,998	0,994	0,017	0,006	3	6	0,004	0,012	285,714	81,967	-12670	-205,857	-172,926	-0,409
Estrada da Pedreira Abandonada																				
4	4	86	83	88	84	88	0,999	0,993	0,001	0,001	3	2	0,003	0,014	400	71,429	5552	-10234	-786,531	-1384
Pedreira Abandonada de Cabeça Santa																				
10	12	82	80	82	82	80	0,998	0,985	0,002	0,015	4	10	0,005	0,031	208,333	32,68	-7552	151,236	-116,759	-1,441
Agrupamento dos dois anteriores																				
14	16	83	81	83	83	87	0,998	0,988	0,003	0,012	4	9	0,005	0,024	200,000	41,841	-4372	677,324	-32,805	-24,908
Pedreira da Mimosa																				
22	22	81	84	80	87	80	0,994	0,990	0,006	0,010	6	8	0,011	0,019	89,286	53,191	432,950	376,358	-174,632	-3,507
Pedreira da Costa Queimada																				
24	5	84	83	83	85	80	0,997	0,995	0,003	0,006	5	6	0,007	0,011	153,846	90,090	4633	-1467	-77,800	-157,934
Pedreira nº 6328																				
9	8	85	77	86	80	86	0,998	0,990	0,002	0,101	3	8	0,004	0,020	270,270	49,020	-9658	-56,166	-448,991	-0,088
Locais de amostragem																				

Locais de amostragem

NV – Nenhum valor encontrado.

Analisar a variável direcção poderá tornar-se interessante para adoptar determinado método ou direcção de desmonte para a exploração de uma pedreira. Para inferir sobre este facto interessam-nos particularmente três estatísticos básicos circulares, a direcção média, o desvio padrão e a dispersão circular.

Em média, é a família de fracturas com direcção NW que apresenta uma maior dispersão, ou seja, ainda que pertencendo todas à mesma família, as fracturas estão mais “espalhadas”, podendo dificultar o desmonte. O desvio padrão mostra que tal afirmação é verdade, visto que, com excepção para a Pedreira da Mimosa, também estes valores são superiores para a direcção NW. Deste modo, o intervalo de confiança para a direcção média torna-se maior na direcção NW em comparação com as fracturas da direcção NE.

A título de exemplo, vejamos duas pedreiras que se comportam de forma oposta, mas que apresentam direcções médias NW semelhantes, como é o caso da Pedreira abandonada de Cabeça Santa e a Pedreira da Mimosa. Na pedreira abandonada de Cabeça Santa o desvio padrão é superior para a direcção média NW, mas na Pedreira da Mimosa é manifestamente superior para a direcção NE. Quanto menor for desvio padrão das fracturas e portanto menor o seu “espalhamento”, mais fácil será o desmonte das bancadas, como facilmente se compreende. Será de esperar que o desmonte na Pedreira da Mimosa incida sobre a direcção NE, e que na Pedreira abandonada de Cabeça Santa, aquando da sua laboração, incidisse sobre a direcção NW.

Relativamente à inclinação das fracturas, e para todos os locais de amostragem, a dispersão é maior para a inclinação NE. Tal resultado vai de encontro ao que foi dito anteriormente, porque para a grande maioria dos dados recolhidos, à direcção NW corresponde uma inclinação NE.

É também evidente que a dispersão para a variável inclinação, seja NW ou NE, apresenta sempre valores baixos, que se manifestam ainda mais baixos quando comparados com a variável direcção. Sabemos, por este motivo, que a inclinação não será um problema para o planeamento do desmonte, visto que os seus valores estão pouco dispersos em torno do valor médio, para cada uma das famílias de fracturas.

4.2. Medidas de associação de variáveis

Concluída a análise dos estatísticos básicos, vamos agora analisar se há alguma associação entre as variáveis, isto é, se as variáveis são independentes, através do coeficiente de correlação linear – circular (tabela 11 e 12) e através do coeficiente circular – circular (tabela 13).

Tabela 11: Coeficiente de correlação linear – circular para a variável linear Espaçamento e a variável circular Direcção.

		Coeficiente de correlação $r_{x\theta}$, por famílias		Probabilidade associada a $r_{x\theta}$		Direcção - Espaçamento	Probabilidade associada
		Noroeste (RENW)	Nordeste (RENE)	Noroeste	Nordeste		
Locais de amostragem	Granodioritos	0,416	0,645	0,497	0,045	0,372	0,143
	Estrada da Pedreira abandonada	0,480	0,995	0,791	0,071	0,222	0,782
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	0,334	0,774	0,365	0,080	0,389	0,056
	Agrupamento dos dois anteriores	0,334	0,755	0,232	$8,09 \times 10^{-4}$	0,289	0,105
	Pedreira da Costa Queimada	0,918	0,051	0,085	0,948	0,156	0,530
	Pedreira da Mimosa	0,397	0,440	0,014	0,016	0,440	$0,319 \times 10^{-4}$
	Pedreira nº 6328	0,373	0,582	0,497	0,120	0,375	0,138

Antes da discussão propriamente dita é necessário fazer uma breve descrição da disposição dos dados na tabela. Optou-se por analisar os dados de duas formas distintas mas aplicando as mesmas fórmulas e testes. Fazendo uma leitura da tabela, da direita para a esquerda, as duas últimas colunas correspondem aos resultados para as amostras sem individualizar as famílias de fracturas. Para as restantes colunas, os resultados vêm distribuídos por famílias de fracturas, como facilmente se percebe.

Para testar o nível de significância do coeficiente de correlação linear – circular, das variáveis espaçamento e direcção, calculadas, colocam-se as seguintes hipóteses:

H_0 : As variáveis não estão associadas.

H_1 : As variáveis estão associadas.

Se a probabilidade associada a $r_{x\theta}$ for superior ao valor de significância estipulado, neste caso $\alpha=0,05$, então rejeita-se a hipótese nula, e as variáveis não são independentes, isto é, encontram-se associadas. A distribuição de Fisher – Snedecor, tal como foi dito anteriormente, vem avaliar a robustez do coeficiente de correlação, uma vez que sabemos que há uma determinada associação entre as variáveis, a partir do momento em que o resultado

do coeficiente de correlação não é nulo, mas não sabemos até que ponto essa associação tem alguma validade estatística.

Tal como se pode verificar pela tabela 11, os valores do coeficiente de correlação linear – circular são, na sua maioria, mais elevados para a direcção nordeste, com excepção do referente à Pedreira da Costa Queimada. Contudo e mesmo sendo estes valores diferentes de zero, verificamos pelo teste de Fisher – Snedecor que somos obrigados em alguns locais de amostragem, a rejeitar a independência das amostras.

O coeficiente de correlação, por famílias, permite-nos afirmar que com excepção da Pedreira da Mimosa em que rejeitamos a hipótese nula e portanto concluímos que, para esta pedreira, as variáveis Direcção e Espaçamento são independentes, para todos os outros locais de amostragem não rejeitamos a associação entre as variáveis e concluímos deste modo que o Espaçamento e a Direcção são variáveis que dependem uma da outra e cujo grau de dependência detectado tem validade provada pela distribuição de Fisher – Snedecor.

Quanto aos resultados obtidos para o coeficiente de correlação linear – circular, sem considerar famílias de fracturas, verificamos que os valores de $r_{x\theta}$ são de um modo geral inferiores aos que obtemos considerando fracturação por famílias, o que nos indica que o grau de associação diminui quando os dados são tratados sem diferenciação. Foi também por uma razão de comparação que se optou por calcular o coeficiente $r_{x\theta}$ de duas formas distintas. Exceptuando a Pedreira abandonada de Cabeça Santa, relativamente à qual rejeitamos a independência das variáveis, todos os outros locais de amostragem apresentam dependência entre a variável Direcção e Espaçamento.

Em suma, e focando-nos no coeficiente de correlação linear – circular, por famílias, que achamos ser o mais correcto, podemos afirmar que o Espaçamento e a Direcção de fracturas, seja NW ou NE, são dependentes uma da outra.

Tabela 12: Coeficiente de correlação linear – circular para a variável linear Espaçamento e a variável circular Inclinação.

		Coeficiente de correlação $r_{x\phi}$ por famílias		Probabilidade associada a $r_{x\phi}$		Inclinação - Espaçamento	Probabilidade associada
		Noroeste (RENW)	Nordeste (RENE)	Noroeste	Nordeste		
Locais de amostragem	Granodioritos	0,434	0,290	0,318	0,657	0,107	0,853
	Estrada da Pedreira abandonada	0,839	0,689	0,417	0,597	0,520	0,250
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	0,429	0,336	0,271	0,361	0,298	0,183
	Agrupamento dos dois anteriores	0,519	0,320	0,048	0,263	0,343	0,041
	Pedreira da Costa Queimada	0,268	0,480	0,221	0,625	0,237	0,231
	Pedreira da Mimosa	0,379	0,281	0,064	0,221	0,267	0,053
	Pedreira nº 6328	0,353	0,495	0,472	0,286	0,351	0,176

Para o coeficiente de correlação linear – circular entre as variáveis Espaçamento e Inclinação, e em conformidade com o que atrás foi dito para a variável Direcção, optou-se igualmente por estudar estas variáveis de duas formas distintas mas usando os mesmos processos de cálculo. Primeiro, calculou-se um coeficiente de correlação considerando que se trata de duas famílias de fracturas e a respectiva probabilidade associada, tendo por base a distribuição de Fisher – Snedecor. Em seguida, e ignorando que se trata de duas famílias de fracturas, calculou-se um coeficiente de correlação sem fazer qualquer distinção entre as inclinações predominantes e respectivos espaçamentos. Também para este coeficiente se calculou uma probabilidade associada, tendo igualmente por base a distribuição de Fisher – Snedecor.

Tal como no caso anterior, também aqui a probabilidade associada aos valores de $R_{x\theta}$ vai ser o factor decisivo para aceitar ou rejeitar a hipótese nula, sendo que:

H_0 : As variáveis não estão associadas.

H_1 : As variáveis estão associadas.

Se a probabilidade associada a $r_{x\phi}$ for superior ao valor de significância estipulado, neste caso $\alpha=0,05$, então rejeita-se a hipótese nula, e as estão variáveis associadas.

Analizando o coeficiente de correlação linear – circular, por famílias, verificamos que todas as probabilidades associadas ao valor de $r_{x\phi}$, são superiores ao valor do nível de significância estipulado ($\alpha=0,05$), o que nos leva a rejeitar a hipótese H_0 , o que querará dizer que as variáveis não são independentes e que o grau de associação encontrado tem efectivamente validade estatística, perante a distribuição de Fisher – Snedecor. Com excepção para a Pedreira da Costa Queimada e para a Pedreira nº 6328, os valores do coeficiente de correlação são menores para a inclinação Nordeste, podendo indicar que mesmo havendo

dependência das variáveis para ambas as inclinações, é na inclinação NW que se verifica uma maior associação e consequentemente maior dependência das variáveis.

Focando agora a atenção nas duas últimas colunas da tabela 12, verificamos que os valores do coeficiente de correlação, não considerando as famílias, são, no geral, inferiores. Este facto demonstra a necessidade de separar as amostras por famílias, considerando a totalidade das amostras, o coeficiente de correlação tem tendência a diminuir. Mesmo sendo menor, continua-se a verificar a dependência das variáveis, uma vez que a probabilidade associada é superior ao α estipulado, exceptuando no caso do agrupamento da estrada da Pedreira abandonada com a Pedreira abandonada de Cabeça Santa.

Concluindo, e para ambos os coeficientes de correlação atrás calculados, podemos afirmar que, de uma modo geral, o conjunto de variáveis Espaçamento - Direcção e Espaçamento - Inclinação, não são independentes. Queremos com isto dizer que estas variáveis estão associadas.

Tabela 13: Coeficiente de correlação circular – circular para as variáveis Direcção e Inclinação.

		Coeficiente de correlação $r_{\theta\phi}$, por famílias		Direcção - Inclinação
		Noroeste	Nordeste	
Locais de amostragem	Granodioritos	0,567	0,775	0,341
	Estrada da Pedreira abandonada	-	-	0,842
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	0,766	0,789	0,432
	Agrupamento dos dois anteriores	0,688	0,533	0,303
	Pedreira da Costa Queimada	0,810	0,365	0,273
	Pedreira da Mimosa	0,450	0,488	0,563
	Pedreira nº 6328	0,669	0,464	0,551

Tal como referimos anteriormente, o coeficiente de correlação circular é sensível a amostras pequenas, podendo originar resultados erráticos. Por esta razão, e para este parâmetro, ignoraram-se os resultados obtidos para a estrada da pedreira abandonada, que por ser um local de amostragem com poucas medições, originava resultados inconsistentes.

Pretendemos agora saber se há algum tipo de associação entre a Direcção de fracturas e a Inclinação correspondente. Fizemos duas análises diferentes para o mesmo conjunto de dados, isto é, primeiramente tratou-se os dados tendo em conta as famílias de fracturas, e em seguida tratou-se os dados sem fazer distinção entre as famílias de fracturas existentes.

Para qualquer local de amostragem verificamos que existe sempre uma correlação circular positiva. Verifica-se que as variáveis direcção e inclinação, não são independentes, sendo que o grau de dependência varia conforme o local de amostragem.

O valor mais elevado para o coeficiente de correlação circular - ocorre na Pedreira da Costa Queimada, para a direcção noroeste e respectiva inclinação. Poderá deste modo concluir-se que é nesta pedreira que se verifica a maior associação entre as variáveis. Se nos remetermos aos estatísticos básicos lineares, em que consideramos que os espaçamentos médios poderiam estar relacionados com a proximidade aos grandes cisalhamentos, também este valor do coeficiente poderá estar relacionado com o mesmo fenómeno. Contudo, o valor é elevado apenas para a direcção noroeste, porque na direcção nordeste, o coeficiente é substancialmente mais baixo. Analisando ambas as direcções (NW e NE) para os diferentes locais de amostragem, é na Pedreira abandonada de Cabeça Santa que se verificam os valores mais elevados.

Nada podemos inferir quanto ao coeficiente de correlação circular ser, em geral, superior ou inferior para uma das famílias de fracturas, pois como facilmente se verifica, este valor varia em função do local de amostragem.

Para os valores obtidos quando se trabalham os dados todos juntos, sem considerar a existência de famílias de fracturas distintas, e para a maioria dos locais de amostragem, os valores do coeficiente de correlação circular diminuem. Mais uma vez, pareceu-nos mais adequado utilizar estes valores apenas como termo de comparação.

4.3. Testes estatísticos aplicados às variáveis e respectivas respostas

Com o objectivo de aprofundar o estudo da fracturação do maciço de Penafiel, realizaram-se alguns testes estatísticos cujos resultados obtidos são apresentados nas tabelas seguintes. Pretendemos com estes testes e respectivas conclusões que daí advêm relacionar os resultados obtidos estatisticamente com a geologia envolvente.

Tabela 14: Testes de hipótese aplicados à variável circular Direcção.

		Testes de hipótese aplicados à variável Direcção para $\alpha=0,05$							
		Teste de Rayleigh		Teste de tendência específica		Teste de Watson		Teste de Kuiper	
		(Z)	(p)	Limite Sup.	Limite Inf.	von Mises, U^2	(p)	(von Mises, V)	(p)
Locais de amostragem	Granodioritos	8,098	0,143	383	323	0,063	0,25 > p > 0,15	1,264	> 0,15
	Estrada da Pedreira abandonada	4,570	0,265	58	-21	**	**	1,475	> 0,15
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	11,376	0,119	360	321	0,272	< 0,005	2,102	< 0,01
	Agrupamento dos dois anteriores	14,574	0,137	375	326	0,175	< 0,005	1,802	< 0,05
	Pedreira da Costa Queimada	16,684	0,087	364	329	0,413	< 0,005	2,429	< 0,01
	Pedreira da Mimosa	16,121	0,217	30	0	0,454	< 0,005	2,780	< 0,01
	Pedreira nº 6328	5,077	0,274	40	-24	0,215	< 0,005	1,932	< 0,025

** Insuficiência de dados.

Tabela 15: Resposta aos testes estatísticos aplicados à variável circular Direcção.

		Direcção			
		Teste de Rayleigh	Teste de tendência específica	Teste de Watson	Teste de Kuiper
Locais de amostragem	Granodioritos	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0
	Estrada da Pedreira abandonada	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	**	Não Rejeito H_0
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Agrupamento dos dois anteriores	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira da Costa Queimada	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira da Mimosa	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira nº 6328	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0

** Insuficiência de dados.

Enquanto para as outras tabelas de resultados optamos por fazer uma análise global dos resultados obtidos, para os testes estatísticos vamos abordar separadamente cada um dos testes aplicados, começando sempre por indicar as hipóteses estipuladas².

Teste de Rayleigh:

H_0 : A população distribui-se uniformemente em torno do círculo.

H_1 : A população não se distribui uniformemente em torno do círculo.

O teste de Rayleigh não deixa ficar dúvidas. Para todos os locais de amostragem, não rejeitamos a hipótese nula. Podemos então afirmar que a população, ou seja, as fracturas medidas, não seguem uma direcção preferencial, distribuindo-se uniformemente em torno do círculo.

Teste de tendência específica:

H_0 : O sistema de fracturação medido está relacionado com os grandes cisalhamentos, situados próximo da zona de Penafiel.

H_1 : O sistema de fracturação medido não está relacionado com os grandes cisalhamentos, situados próximo da zona de Penafiel.

Tal como o teste de Rayleigh, também o teste estatístico da tendência específica, resulta igual para todos os locais de amostragem. Não rejeitamos a hipótese nula para nenhum local amostrado. Concluimos assim que, a direcção do sistema de fracturação medido está efectivamente relacionado com os grandes cisalhamentos que se situam próximo das zonas onde foram recolhidos os dados.

Teste de Watson:

H_0 : A amostra provém de uma distribuição de von Mises.

H_1 : A amostra não provém de uma distribuição de von Mises.

Teste de Kuiper:

H_0 : A amostra provém de uma população com distribuição de von Mises.

H_1 : A amostra não provém de uma população com distribuição de von Mises.

Quer o teste estatístico de Watson, quer o teste estatístico de Kuiper, avaliam a qualidade do ajustamento das amostras a uma distribuição de von Mises. Por esta razão, e tendo ambos o mesmo objectivo, tratámos os dois em conjunto.

Verificamos que para os granodioritos, não rejeitamos a hipótese nula, o que provavelmente significa que provém de uma população possível de ser ajustada a uma distribuição de von Mises.

² As hipóteses estipuladas foram adaptadas a este trabalho recorrendo à bibliografia Davis, 2002.

Os restantes locais de amostragem, (mais uma vez ignoramos a estrada da pedreira abandonada por insuficiência de dados), indiciam-nos a rejeitar a hipótese nula. Deste modo, a variável direcção provém de uma população com distribuição uniforme no que diz respeito aos granitos. Os granodioritos por sua vez, não só seguem uma distribuição uniforme como também uma distribuição de von Mises.

A ser verdade, que através destes dois testes estatísticos, concluímos pelo ajustamento de uma distribuição teórica (no caso deste trabalho foi utilizada a distribuição de von Mises) aos dados experimentais, passamos a dispor de um modelo matemático, função densidade de probabilidade de von Mises, que nos permite abordar estes fenómenos do ponto de vista probabilístico.

Tabela 16: Testes de hipótese aplicados à variável Inclinação.

Testes de hipótese aplicados à variável Inclinação para $\alpha=0,05$									
		Teste de Rayleigh		Teste de tendência específica		Teste de Watson		Teste de Kuiper	
		(Z)	(p)	Limite Sup.	Limite Inf.	(von Mises, U^2)	(p)	(von Mises, V)	(p)
Locais de amostragem	Granodioritos	16,845	aprox. 0,00	82	77	0,148	< 0,025	1,786	< 0,05
	Estrada da Pedreira abandonada	7,979	aprox. 0,00	87	82	**	**	1,012	> 0,15
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	21,580	aprox. 0,00	84	77	0,244	< 0,005	2,109	< 0,01
	Agrupamento dos dois anteriores	29,522	aprox. 0,00	84	79	0,319	< 0,005	2,431	< 0,01
	Pedreira da Costa Queimada	28,786	aprox. 0,00	85	80	0,193	< 0,005	1,899	< 0,025
	Pedreira da Mimosa	43,299	aprox. 0,00	85	82	0,235	< 0,005	2,463	< 0,01
	Pedreira nº 6328	16,729	aprox. 0,00	84	77	0,099	0,1 > p > 0,05	1,487	> 0,15

** Insuficiência de dados.

Tabela 17: Resposta aos testes estatísticos aplicados à variável circular Inclinação.

Testes de hipótese aplicados à variável inclinação para $\alpha=0,05$					
		Teste de Rayleigh	Teste de tendência específica	Teste de Watson	Teste de Kuiper
Locais de amostragem	Granodioritos	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Estrada da Pedreira abandonada	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	**	Não Rejeito H_0
	Pedreira abandonada de Cabeça Santa	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Agrupamento dos dois anteriores	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira da Costa Queimada	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira da Mimosa	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Rejeito H_0
	Pedreira nº 6328	Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0	Não Rejeito H_0

** Insuficiência de dados.

À semelhança dos testes estatísticos aplicados e respectivas hipóteses estipuladas à variável circular Direcção, também a variável Inclinação foi alvo do mesmo estudo. Deste modo os testes de hipótese são os mesmos para ambas as variáveis, como mostramos de seguida.

Teste de Rayleigh:

H_0 : A população distribui-se uniformemente em torno do círculo.

H_1 : A população não se distribui uniformemente em torno do círculo.

O teste de Rayleigh, contrariamente ao que acontecia com variável direcção, sugere-nos a rejeição da hipótese nula, querendo com isto dizer que as observações não se distribuem uniformemente em torno do círculo. Se pensarmos bem, faz todo o sentido que assim seja, uma vez que as inclinações da fracturação podem variar em 0° e 90° e as direcções podem variar entre 0° e 360° . Ou seja, é muito mais fácil ocorrer uma distribuição uniforme para as direcções do que para as inclinações. É importante referir que, apesar da gama de valores em que pode variar a inclinação, neste trabalho poucos são os valores abaixo de 60° , tornando ainda mais “concentrada” a amostra.

Teste de tendência específica:

H_0 : O sistema de fracturação medido está relacionado com os grandes cisalhamentos, situados próximo da zona de Penafiel.

H_1 : O sistema de fracturação medido não está relacionado com os grandes cisalhamentos, situados próximo da zona de Penafiel.

Tal como acontecia com a variável direcção, também para a inclinação não rejeitamos a hipótese H_0 , o que possivelmente nos indica que também as inclinações do sistema de fracturação medido estão relacionadas com os grandes cisalhamentos próximo da zona de Penafiel.

Teste de Watson:

H_0 : A amostra provém de uma distribuição de von Mises.

H_1 : A amostra não provém de uma distribuição de von Mises.

Teste de Kuiper:

H_0 : A amostra provém de uma população com distribuição de von Mises.

H_1 : A amostra não provém de uma população com distribuição de von Mises.

Curiosamente para o teste de Watson, os resultados para a inclinação surgem exactamente ao contrário dos resultados obtidos para a direcção. Com excepção para os granodioritos, para os quais rejeitamos a hipótese nula e por esse motivo podemos pensar que provavelmente, e relativamente à variável inclinação, a amostra não provém de uma população com distribuição de von Mises. Para todos os outros locais de amostragem, não

rejeitamos a hipótese nula e portanto as amostras podem ser ajustadas a uma distribuição de von Mises. Deste modo, é à semelhança do que aconteceu com a variável direcção, também para a inclinação, passamos a dispor de um modelo matemático, (função densidade de probabilidade de von Mises), que nos permite abordar estes fenómenos do ponto de vista estatístico.

O teste de Kuiper, gera aqui alguma controvérsia relativamente aos resultados obtidos. Ora sabemos que ambos, os testes acima referidos testam a qualidade do ajustamento, mas para os dois testes os valores não são concordantes. Para os granodioritos continuamos a rejeitar a hipótese da amostra ser proveniente de uma população que segue a distribuição de von Mises, e para a Pedreira nº6328 mantém-se que não rejeitamos a hipótese H_0 . São estes os únicos locais de amostragem onde temos semelhança de resultados, obtendo respostas iguais para ambos os testes.

Os restantes locais de amostragem, para o teste de Kuiper, mostram-nos que não podemos rejeitar a hipótese nula, e portanto a amostra retirada de cada um destes locais provém de uma população com distribuição de von Mises, contrariando o teste de Watson.

Para ultrapassar esta aparente contradição dos resultados dos testes e face à relativa escassez de dados em cada local de amostragem, impor-se-ia a realização complementar de mais testes baseados num maior número de registos.

Conclusões finais

Conclusões

Tendo em conta o que foi dito ao longo deste trabalho e recorrendo aos resultados obtidos através das ferramentas estatísticas, prova-se aqui que existe uma associação entre a fracturação local e o espaçamento, querendo com isto dizer que o espaçamento está dependente da fracturação local e vice-versa. Também a fracturação local está intimamente ligada aos grandes cisalhamentos regionais que afloram na zona de Penafiel. Em suma, os grandes cisalhamentos afectam a fracturação regional que por sua vez vai condicionar a fracturação local.

Cada pedreira tem o seu próprio sistema de fracturação, no entanto, e tendo em conta as características do maciço rochoso de Penafiel, predominam as direcções NE – SW e NW – SE, que definem o sistema de fracturação regional, como evidenciam os diagramas de famílias de fracturas e como confirmam os diagramas de Roseta. Saber qual o sistema de fracturação que estamos a tratar é um ponto-chave para avaliar e estudar o maciço.

Ainda que se verifiquem ligeiras diferenças de local para local onde foram recolhidos os dados, verificou-se durante o trabalho de campo e com os resultados obtidos, que os granitos estudados pertencem a uma mesma população, isto é, trata-se do mesmo tipo genético de granito em todos os locais.

Penafiel é efectivamente uma zona muito forte no que diz respeito à indústria extractiva mas o maciço onde está inserido não reúne as condições necessárias para a implementação de pedreiras de rocha ornamental. Além da meteorização intensa que sofre e da presença de penalizantes, o granito apresenta-se muito fracturado.

Salvo raras excepções, com este trabalho apercebemo-nos do porquê da existência de uma imensidade de pedreiras na zona de Penafiel que se destinam exclusivamente à produção de britas e outros agregados. No entanto, também passamos por muitas pedreiras abandonadas o que pode ser indicativo de inúmeros factores, tendo-nos sido dado a conhecer que um deles é a inexistência de um estudo geológico prévio e consequentemente o desconhecimento total da zona que se pretendia explorar.

Pretende-se mostrar com este trabalho que um estudo baseado em dados de campo e posterior análise estatística pode contribuir para evitar o insucesso sofrido por parte de algumas pedreiras. Conseguiu-se também confirmar o conhecimento teórico prévio sobre este assunto com o auxílio da estatística circular.

Por falta de tempo não foi possível recolher mais dados e ir um pouco mais longe, de encontro à blocometria, sendo que deste modo e em desenvolvimentos futuros seria interessante partir do que até aqui foi feito e avançar um pouco mais no vasto campo da prospecção geológica.

Bibliografia

Referências bibliográficas

- Aguiar, J. M. E. (2000) *Modelação da Rede de Fracturação para o Planeamento da Exploração de Rochas Ornamentais*. Tese de Mestrado em Georrecursos.
- Barton, N. (1978) *Suggested Methods for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. Vol.15, nº 6, pp. 319 – 368.
- Berens, P. (2009) *CircStat: A Matlab Toolbox for Circular Statistics*. Journal of Statistical Software. Vol. 31, Edição nº 10.
- Cândido de Medeiros, A., Pereira, E., Moreira, A. (1980) *Notícia Explicativa da folha 9-D, Penafiel*. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000.
- Casal Moura, A., Grade, J., Farinha Ramos, J. (1997) *Rochas Ornamentais Silicatadas de Portugal e Rochas Afins: Características Gerais*. Boletim de Minas, Vol.34, nº1, pp.3 – 15.
- Casal Moura, A., Grade, J., Farinha Ramos, J., Ferreira, N. (1995) *Aspectos Metodológicos do Estudo e Caracterização de Maciços Graníticos tendo em vista a sua Exploração para Produção de Rochas Ornamentais e Industriais*. Boletim de Minas, Vol.32, nº1, pp. 15 – 22.
- Casal Moura, A., Grade, J., Farinha Ramos, J. M., Moreira, A. D., Gomes, L. (2000) *Granitos e Rochas Similares*.
- Cohen, J., Cohen P., West, S.G., & Aiken, L.S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. (3rd ed.) Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Davis, J. C (2002) *Statistics and Data Analysis in Geology*.
- Farinha Ramos, J. M., Casal Moura, A., Grade, J. (1984) *Exploração de Rochas Ígneas para Pedra Ornamental* Nº33. (Separata do volume XXVI, fascículos 1 – 4, de “Estudos, Notas e Trabalhos”.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L. (1987) *Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu Enquadramento Geodinâmico*. Geologia dos granitóides e rocas associadas del Macizo Hespérico. pp. 37 – 51.
- Fiúza, A. (2003) *Texto Pedagógico para uma Disciplina do 3º ano de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente*.
- Jones, T. A. (2006) *Matlab functions to analyze directional (azimuthal) data – I: Single-sample inference*. Computers and Geosciences. Vol. 32, pp. 166 – 175.
- Lamas, L. N. (1989) *Estudo da Compartimentação de Maciços Rochosos por uma Técnica de Amostragem Linear e dos Blocos Formados pelas Descontinuidades. Aplicação a uma Galeria do Alto Lindoso*. III Encontro Nacional de Geotecnia. Vol. 1, pp. C-33 – C-44.
- Mardia, K. V., Jupp, P. E. (2000) *Directional Statistics*.
- Marques de Sá, J. P. (2003) *Applied Statistics using SPSS, Statistica and Matlab*.
- Miranda, A. M. (2005) *A Fracturação dos Maciços de Rochas Ornamentais e a sua Importância Técnico – Económica*. Revista “ROCHAS E EQUIPAMENTOS”.
- Moreira, A. (1995) *Reconhecimento Geológico com vista à Instalação de uma Pedreira para Extracção de Blocos para Pedra Ornamental*. Bol. Minas, Vol.32, nº2, pp. 75 – 81.

- Peixoto, L. J. S. (2008) *O Património Geomorfológico – Glaciário do Parque Nacional da Peneda Gerês: Proposta de Estratégia de Geoconservação*. Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação.
- Rabaçal Martins, O. (1990) *Prospecção e Exploração de Granitos Ornamentais*.
- Rabaçal Martins, O. (2010) *Rochas ornamentais portuguesas*. Revista Ingenium, edição de 2010.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Carvalho, D., Monteiro. (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*.
- Santos Pereira, C. M., Chaminé, H.I., Vieira, A.R., Teixeira, J., Gomes, A., Fonseca, P.E. (2005) *Geologia Estrutural e Geotecnia do Maciço Granítico de Cabeça Santa (NW de Portugal): implicações para a gestão do georrecurso da pedreira da Mimosa*. Cadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. Vol.30, pp.39 – 56.
- Santos Oliveira, J. M., Pereira, E. (1979) *Geoquímica dos Granitóides da Região de Penafiel – Oliveira de Azeméis*. I Encontro de Geociências.
- Sant’ovaia, CH., Noronha, F. (2005) *Classificação de Granitos Hercínicos Portugueses com base nas suas Características Petrofísicas*. Cadernos Lab Xeolóxico de Laxe Coruña. Vol. 30, pp. 75 – 86.
- Silva, P. B. (1992) *Prospecção de Granitos Ornamentais na Região de Castelo de Paiva – Cinfães (Nw of Portugal)*. Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, Vol.17, pp. 383 – 391.
- Simões Cortez A *engenharia da Pedra Natural*. Revista Ingenium.
- Sousa, L. M. O., (2007) *Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying*. Bulletin of International Association of Engineering Geology 92, 146 – 159.
- Sousa, L. M. O., (1999) *A Fracturação do Granito de Pedras Salgadas: Caracterização e Implicações na Exploração de Rocha Ornamental*. Actas VII Congresso Nacional de Geotecnia.
- Sousa, L. M. O., Pires, C. A. C. (1998) *A Influência da Fracturação na Exploração de Rochas Ornamentais: o caso do Granito de Pedras Salgadas (Vila Real, Norte de Portugal)*. Cadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. Vol.23, pp. 59 – 69.

Teses de Mestrado e/ou Doutoramento sobre esta problemática

- Aguiar, J. M. E. (2000) *Modelação da Rede de Fracturação para o Planeamento da Exploração de Rochas Ornamentais*. Tese de Mestrado em Georrecursos.
- Albuquerque, M. (1993) *Análise Multivariada de Dados e Geoestatística da Recuperação de Pedreiras de Mármore*. Tese de Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro. Universidade Técnica de Lisboa.
- Ricardo Pereira (2009) *Pigmentação de rochas*. Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Luís, A. G., 1995. *Caracterização, avaliação e simulação da blocometria de um jazigo de mármore*. Tese de Mestrado, IST-UTL, Lisboa.

Anexos

Anexos

Dados de Portela – Granodioritos

Tabela 18: Dados de Portela - Granodioritos

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
2,40	309	80 NE	Fechada	-	sem
0,57	311	80 NE	Fechada	-	"
0,40	319	80 NE	Fechada	-	"
1,50	330	73 NE	Fechada	-	"
4,50	300	89 NE	Fechada	-	"
6,25	260	75 NE	0,20	Solo	"
2,15	278	70 NE	Fechada	-	"
1,42	348	68 NE	Fechada	-	"
2,55	39	82 NW	0,15	Solo	"
1,60	11	80 NW	Fechada	-	"
8,50	9	80 NW	Fechada	-	"
0,65	20	88 NW	Fechada	-	"
5,50	66	80 NW	Fechada	-	"
1,10	20	86 NW	Fechada	-	"
0,90	50	76 NW	Fechada	-	"
1,40	9	80 NW	Fechada	-	"
0,75	51	81 NW	Fechada	-	"

Dados da estrada circundante à Pedreira abandonada de Cabeça Santa

Tabela 19: Dados da estrada circundante à Pedreira abandonada de Cabeça Santa.

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
4,14	326	86 NE	Fechada	-	sem
8,50	348	83 NE	Fechada	-	"
1,00	347	80 NE	Fechada	-	"
2,93	330	84 NE	Fechada	-	"
4,73	55	88 NW	Fechada	-	"
6,00	62	88 NW	Fechada	-	"
4,5	60	86 NW	Fechada	-	"
3,7	57	81 NW	Fechada	-	"

Dados da Pedreira abandonada de Cabeça Santa

Tabela 20: Dados da Pedreira abandonada de Cabeça Santa.

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
3,16	305	87 NE	Fechada	-	sem
1,00	304	60 NE	Fechada	-	"
1,45	348	60 NE	Fechada	-	"
2,65	307	80 NE	Fechada	-	"
3,30	294	88 NE	Fechada	-	"
7,40	306	82 NE	Fechada	-	"
4,50	18	73 NW	Fechada	-	"
4,50	27	88 NW	Fechada	-	"
3,20	15	80 NW	Fechada	-	"
5,80	5	80 NW	Fechada	-	"
1,57	39	82 NW	Fechada	-	"
2,50	30	82 NW	Fechada	-	"
1,30	39	83 NW	Fechada	-	"
0,90	32	86 NW	0,04	Solo	"
1,27	280	70 NE	Fechada	-	"
1,80	283	82 NE	Fechada	-	"
0,90	290	82 NE	Fechada	-	"
1,10	298	87 NE	Fechada	-	"
1,57	32	81 NW	Fechada	-	"
4,60	30	86 NW	Fechada	-	"
1,27	319	87 NE	Fechada	-	"
1,00	297	89 NE	Fechada	-	"

Dados da Pedreira da Costa Queimada

Tabela 21: Dados da Pedreira da Costa Queimada.

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
4,83	301	80 NE	Fechada	-	sem
5,00	292	72 NE	Fechada	-	"
5,60	332	82 NE	Fechada	-	"
3,50	283	87 NE	Fechada	-	"
5,20	208	89 NE	Fechada	-	"
3,86	34	80 NW	Fechada	-	"
5,90	27	80 NW	Fechada	-	"
1,30	26	83 NW	Fechada	-	"
5,10	25	72 NW	Fechada	-	"
1,00	23	86 NW	Fechada	-	"
1,40	20	80 NW	Fechada	-	"
3,50	30	78 NW	Fechada	-	"
4,20	18	82 NW	Fechada	-	"
8,50	30	80 NW	Fechada	-	"
2,80	17	88 NW	Fechada	-	"
2,60	45	88 NW	Fechada	-	"
3,00	28	89 NW	Fechada	-	"
3,48	29	87 NW	Fechada	-	"
2,40	16	82 NW	Fechada	-	"
4,50	8	89 NW	Fechada	-	"
5,30	28	89 NW	Fechada	-	"
3,80	19	82 NW	Fechada	-	"
1,40	32	87 NW	Fechada	-	"
4,83	295	89 NE	Fechada	-	"
5,23	14	88 NW	Fechada	-	"
5,50	10	88 NW	Fechada	-	"
7,40	26	89 NW	Fechada	-	"
4,30	70	80 NW	Fechada	-	"
3,70	67	78 NW	Fechada	-	"

Dados da Pedreira da Mimosa

Tabela 22: Dados da Pedreira da Mimosa.

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
6,29	8	82 NW	Fechada	-	sem
2,60	30	74 NW	Fechada	-	"
2,70	22	80 NW	Fechada	-	"
7,20	17	89 NW	Fechada	-	"
12,90	27	78 NW	Fechada	-	"
5,80	29	80 NW	Fechada	-	"
10,00	38	78 NW	Fechada	-	"
4,80	25	72 NW	Fechada	-	"
4,30	27	89 NW	Fechada	-	"
3,05	300	87 NE	Fechada	-	"
1,60	210	88 NE	Fechada	-	"
1,20	287	84 NE	Fechada	-	"
4,15	304	90 NE	Fechada	-	"
5,10	300	87 NE	Fechada	-	"
3,20	309	89 NE	Fechada	-	"
2,54	23	68 NW	Fechada	-	"
4,00	27	79 NW	Fechada	-	"
4,60	30	80 NW	Fechada	-	"
0,60	40	87 NW	Fechada	-	"
2,00	31	74 NW	Fechada	-	"
7,70	36	78 NW	Fechada	-	"
0,30	50	89 NW	Fechada	-	"
1,00	74	89 NW	Fechada	-	"
1,20	75	89 NW	Fechada	-	"
1,50	70	80 NW	Fechada	-	"
2,54	309	88 NE	Fechada	-	"
1,30	318	90 NE	Fechada	-	"
8,00	307	88 NE	Fechada	-	"
1,90	307	76 NE	Fechada	-	"
1,10	312	73 NE	Fechada	-	"
0,40	315	77 NE	Fechada	-	"
1,75	30	88 NW	Fechada	-	"
1,30	30	77 NW	Fechada	-	"
2,20	33	80 NW	Fechada	-	"
1,93	284	87 NE	Fechada	-	"
0,40	279	87 NE	Fechada	-	"
2,50	311	89 NE	Fechada	-	"
1,30	303	85 NE	Fechada	-	"
2,20	285	81 NE	Fechada	-	"
0,60	279	90 NE	Fechada	-	"
1,10	245	54 NE	Fechada	-	"
1,50	285	88 NE	Fechada	-	"
3,10	303	87 NE	Fechada	-	"
4,70	309	82 NE	Fechada	-	"

Dados da Pedreira nº 6328

Tabela 23: Dados da Pedreira nº 6328.

Espaçamento (m)	Direcção (°)	Inclinação (°)	Abertura (m)	Preenchimento	Movimento
3,65	55	88 NW	Fechada	-	sem
6,00	62	86 NW	0,05	Solo	"
1,30	39	83 NW	Fechada	-	"
0,90	32	86 NW	Fechada	-	"
2,65	307	80 NE	Fechada	-	"
3,30	294	88 NE	Fechada	-	"
7,40	306	82 NE	Fechada	-	"
4,30	70	80 NW	Fechada	-	"
3,70	67	78 NW	Fechada	-	"
2,53	301	80 NE	Fechada	-	"
5,00	292	72 NE	Fechada	-	"
1,00	304	60 NE	Fechada	-	"
1,45	348	70 NE	Fechada	-	"
2,65	307	80 NE	Fechada	-	"
0,30	50	85 NW	Fechada	-	"
1,00	74	87 NW	Fechada	-	"
1,20	75	89 NW	Fechada	-	"