

4. Estudo de Caso

Para a elaboração deste estudo, foram analisados as condicionantes geológico-geotécnicas do maciço rochoso que suporta a Torre de Menagem e respetiva Muralha do Castelo de Marialva, assunto este de grande importância no contexto geral, no que respeita a estabilidades ou instabilidades do maciço rochoso.

4.1. Introdução

Foram identificadas as patologias existentes nos panos da Muralha, sobretudo a nível estrutural e foi dado especial destaque à caracterização do diaclasamento.

As principais patologias e/ou degradações verificadas no Monumento estão descritas e ilustradas, de forma a facilitar a identificação da situação anómala nas paredes da muralha. O diaclasamento do maciço é igualmente descrito e ilustrado de modo a obter uma fácil perceção das suas características e comportamento.

Como forma de caracterizar o material constituinte da muralha e maciço rochoso, foram elaborados ensaios “*in situ*” não destrutivos e ensaios laboratoriais, referido no capítulo 3.

4.2. Diagnóstico

Antes de se dar início a uma investigação mais profunda do caso, foi realizada uma busca de informação no sentido de nos enquadrarmos no estudo de caso.

4.2.1. Levantamento preliminar

Foi elaborado um levantamento preliminar que visou a recolha de dados do local de estudo (maciço rochoso e respetiva muralha envolvente da Torre de Menagem). Posto isto, foi descrita a localização do local de estudo, a caracterização da respetiva muralha e ainda o registo histórico de obras/intervenções realizadas.

4.2.1.1. Enquadramento geomorfológico

O Castelo de Marialva localiza-se na vila de Marialva, Freguesia e Concelho de Mêda, Distrito da Guarda, em Portugal.

Classificado como Monumento Nacional em 1978, situa-se no topo de uma colina, constituída por granito, a 613 metros de altitude, localizado a Oeste, aproximadamente a 500 metros da falha da Longroiva, como se mostra na Figura 4.1, em posição dominante sobre a vila e a planície cortada pela antiga estrada romana, encontrando-se estrategicamente colocado na região fronteira do rio Coa (Ribacoa).



Figura 4.1 - Vista aérea do Castelo de Marialva, (a) graben da Longroiva.

Em termos geomorfológicos, a área de estudo localiza-se numa zona de *Horst* que confina com um vale de fundo plano e bastante aberto conhecido por graben da Longroiva como se mostra na figura.

Segundo a carta geológica de Portugal ^[5] os granitos predominantes na região são os granitos de duas micas indiferenciados (Figuras 4.2 e 4.3). Se percorrermos a região, pelo menos em redor da aldeia, verificamos que a granularidade das rochas é bastante indiferenciada, com uma granulometria média a grosseira.

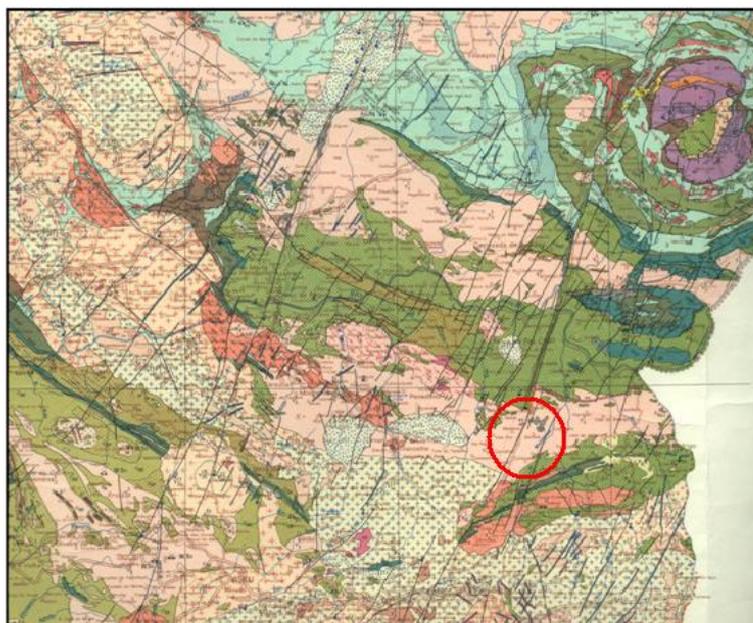


Figura 4.2 - Pormenor da carta geológica de Portugal à escala 1:500000 [5].

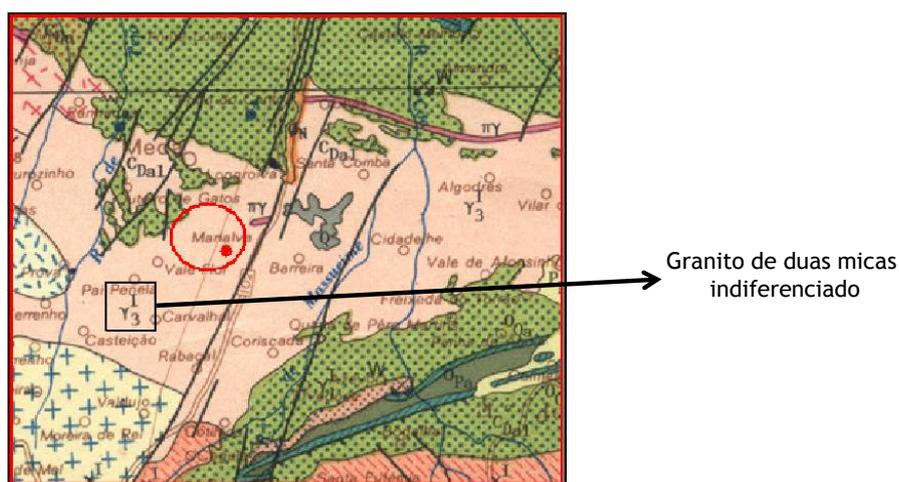


Figura 4.3 - Pormenor ampliado da carta geológica de Portugal à escala 1:500000 [5].

4.2.1.2. Caracterização

O Castelo, construído por volta de 1170 compõe-se de uma ampla muralha de configuração ovalada, construída em grandes silhares de pedra granítica da região e adaptada às condições topográficas da área em que foi implantada. Esta cerca viria a ser reforçada, no século XIV, por três torreões de planta quadrangular denominados do Relógio, do Monte e dos Namorados. No seu interior, em cota bastante elevada, sobressaindo de um imenso *maciço rochoso* (Figura 4.5), a Torre de Menagem domina toda a malha urbana. Trata-se de um edifício possivelmente dionisino, de planta quase trapezoidal, completado e acrescentado mais tarde (Figura 4.4) [48].



Figura 4.4 - Representação esquemática da zona intramuros [48].

Apesar das últimas intervenções realizadas, o conjunto está bastante arruinado. Foi estruturado em função do dispositivo militar, compreendido entre dois núcleos amuralhados [48].

- A cidadela, pólo militar situado na cota mais elevada do terreno, integrada pela Torre de Menagem (Figura 4.5), três torres defensivas e que se comunica com a vila por duas portas;
- O núcleo civil ou urbano, no qual se identificam dois pólos distintos: o administrativo, que compreende o pelourinho e a antiga Casa da Câmara, o Tribunal e a Cadeia; e o religioso, integrado por duas igrejas (ponto 16 e 17) e um cemitério (ponto 18).



Figura 4.5 - Visualização da Torre de Menagem, Muralha envolvente e respetivo Maciço Rochoso.

A muralha da Torre de Menagem é composta por cantaria de granito (abundante na região) apresentando uma planta trapezoidal, adaptando-se à conformação do terreno. O seu interior é preenchido por pedra e solo (saibro) com reboco em argamassa no topo da muralha como se observa no esquema realizado pelo autor na Figura 4.6.

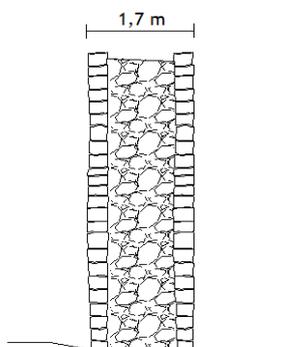


Figura 4.6 - Perfil em corte do pano da muralha da torre de menagem.

4.2.1.3. Registo histórico de obras/intervenções

Na década de 40 do século XX deu-se início à reconstrução/reparação do Castelo na sua globalidade. Como o nosso objeto de estudo é a zona da cidadela (Torre de Menagem), apenas se faz maior referência às intervenções realizadas nesse local.

1942 - Plano geral das obras de reparação e beneficiação do Castelo de Marialva: reconstituição total da Torre de Menagem segundo os elementos existentes, incluindo reconstrução dos respetivos pavimentos, comunicações e vedação; apeamento e reconstrução dos troços de muralha que ameaçavam ruir; assentamento de cantaria segundo o existente para melhor definir a estrutura do Castelo; regularização dos adarves e parapeitos; limpeza da cisterna; assentamento de portas; escavações em terra compacta; limpeza de cantarias [14].

Entre os anos 1943 a 1990, foram várias as intervenções realizadas no Castelo, como consolidação, preenchimento de vãos com argamassa, colocação de elementos em falta, limpeza, sondagens.

2001, Janeiro - Parte da muralha que envolvia a Torre de Menagem ruiu, devido às fortes chuvadas [14];

2001, Maio - Empreitada de “Recuperação e Reconstrução de Troços de Muralha” [14];

2003, Dezembro - Empreitada de “Recuperação e Reconstrução de Troços de Muralha - 2ª fase” [14].

4.2.2. Inspeção visual

Fez-se uma inspeção visual à muralha da Torre de Menagem recorrendo-se, de forma simples e sem recurso a instrumentos complexos, a uma visita à envolvente exterior e interior do edifício, registando-se o observado, de forma qualitativa e sempre apoiada na nossa experiência e capacidade de interpretação. Não se trata propriamente de uma avaliação técnica e apenas pode ser encarada como uma fase prévia de um processo de avaliação da zona em estudo.

Estas inspeções servem para perpetuar um retrato fiel e verdadeiro do bem vistoriado sendo estas constatações técnicas compostas por imagens acompanhadas de uma descrição precisa e detalhada.

Em muitos casos, as vistorias necessitam de ensaios tecnológicos, aferição de medidas (como temperatura, fissuras, ruídos), provas de carga, entre outros requisitos que dependem fundamentalmente de profissionais experientes e habilitados.

As vistorias na construção civil são indispensáveis pelas diversas particularidades do sector, como a grande quantidade de sistemas, pessoas e empresas envolvidos, a utilização de serviços artesanais, as interações com o meio e a constante necessidade de conservação e manutenção.

4.2.2.1. Mapeamento de anomalias

Elaborou-se um mapeamento de anomalias segundo uma inspeção visual relativo à muralha envolvente da Torre de Menagem. A Figura 4.7 identifica os quatro setores da muralha em observação, correspondendo cada um deles aos esquemas seguintes (Figuras 4.8 a 4.10), onde se observam as patologias mais visíveis a nível estrutural nos vários setores.

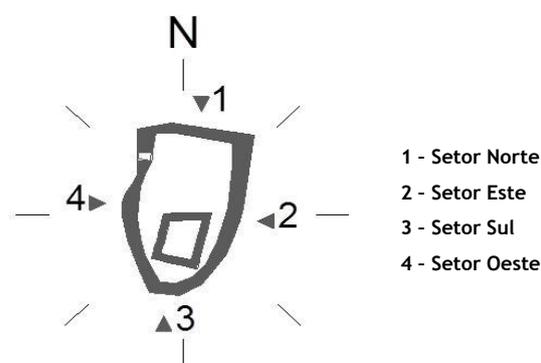


Figura 4.7 - Identificação dos setores de observação.

De maneira a qualificar as diversas patologias, foi elaborada uma escala que se divide em três graus:

- Patologias graves: abertura de juntas, fissuras, fratura/esmagamentos de silhares e maciço de fundação, movimento/deslocamento da muralha, falta de elementos constituintes da muralha, infiltração de água;
- Patologias intermedias: escamação de silhares, existência de vegetação, desagregação de partículas;
- Patologias leves: colonização biológica, alteração cromática dos materiais.

Setor Norte

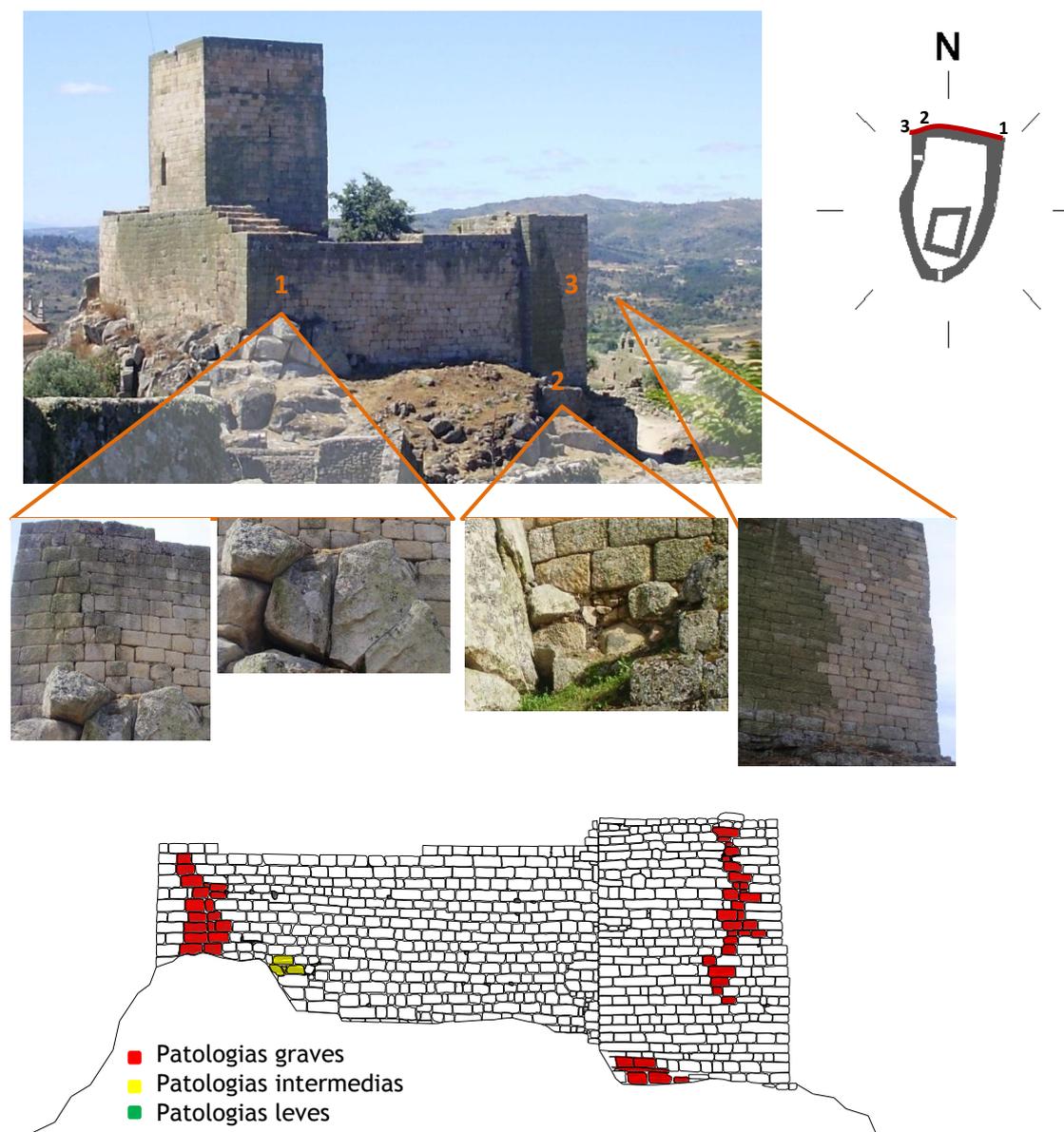


Figura 4.8 - Perfil Norte da muralha da Torre de Menagem (Autocad ^[14]) com visualização das patologias mais visíveis a nível estrutural.

1 - Deslocamento dos panos com abertura das juntas, bem como fracturação de silhares. Nesta zona, as patologias associam-se a movimentos ocorridos no maciço rochoso de fundação.

2 - Falta de elementos constituintes da base da muralha, fratura de alguns silhares e fratura do maciço rochoso.

3 - Deslocamento do cunhal da torre com abertura de juntas entre os silhares. Considera-se uma patologia com alguma gravidade, visto ter sido intervencionada recentemente, apresentando já indícios de movimentos/deslocamentos.

Setor Este e Sul

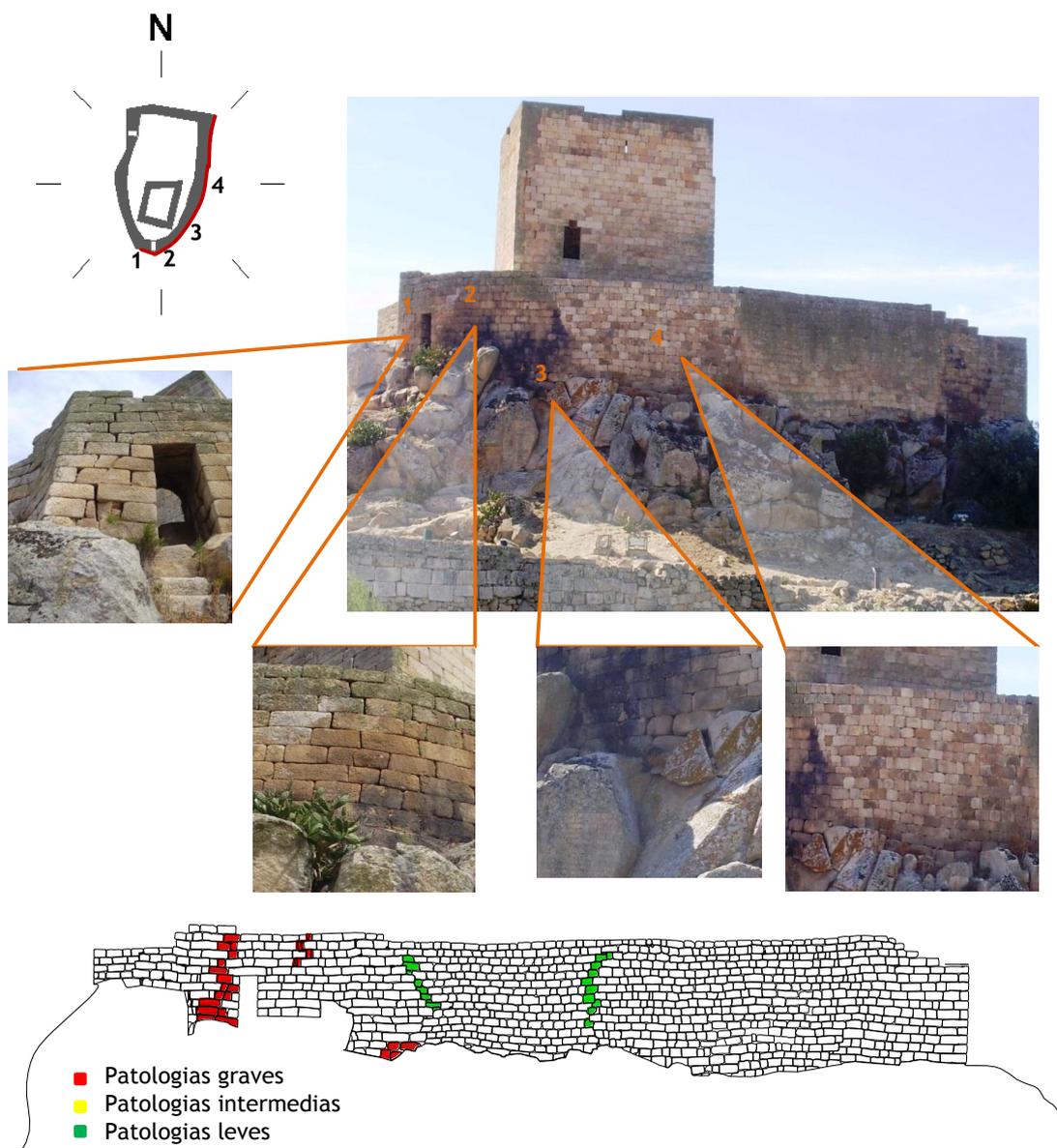


Figura 4.9 - Perfil Este e Sul da muralha da Torre de Menagem (Autocad ^[14]) com visualização das patologias estruturais mais relevantes.

- 1 - Deslocamento dos panos da muralha, fraturas de silhares, desagregação de partículas, vegetação e colonização biológica. Considerada zona de alto risco de desmoronamento.
- 2 - Deslocamento/abertura dos panos da muralha, vegetação e colonização biológica.
- 3 - Descalçamento de silhares na base da muralha por consequência da fratura do maciço rochoso e arrastamentos de finos. Esta patologia está igualmente relacionada com a existência de fundações ou “não fundações”.
- 4 - Esta zona não se trata propriamente de uma patologia, aborda-se apenas devido à derrocada ocorrida em 2001, havendo a necessidade de uma intervenção urgente no troço da muralha, constituída então por uma base bem ancorada ao maciço e protegida no seu interior, por uma malha geotêxtil (restauro em 2001 ^[14]) de forma a evitar ou retardar a saída de finos devido à percolação de água. No entanto, devem ser feitas inspeções periódicas de forma a prever ou minimizar o aparecimento de qualquer tipo de patologia.

Setor Oeste

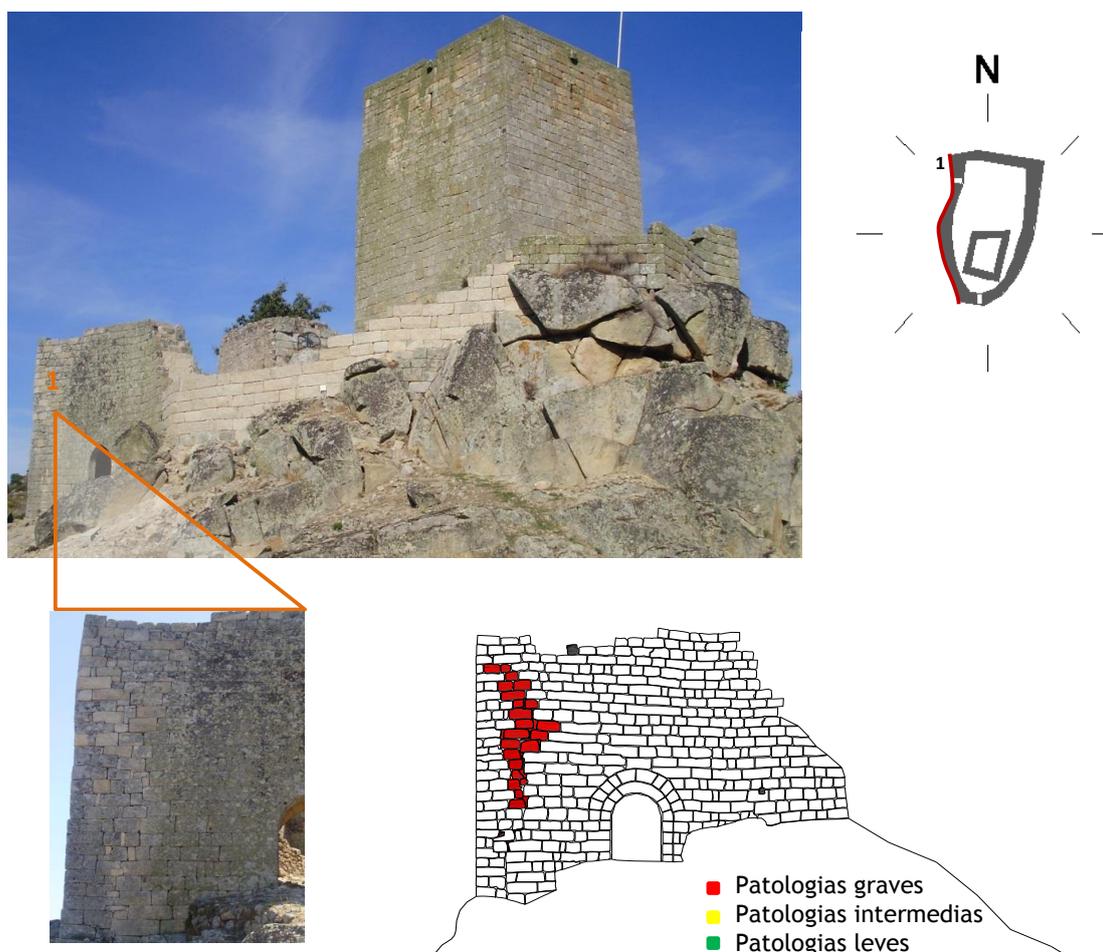


Figura 4.10 - Perfil Oeste da muralha da Torre de Menagem (Autocad ^[14]) com visualização das patologias estruturais mais visíveis.

1 - Apesar do restauro recente, a técnica de intervenção não foi a mais apropriada, notando-se já um deslocamento do cunhal da muralha com abertura das juntas entre os silhares, sendo também visíveis os caminhos preferenciais das águas provenientes das chuvas. A Figura 4.11 apresenta imagens antes (a), durante as obras de consolidação (b) e o estado atual do cunhal após a intervenção (c).

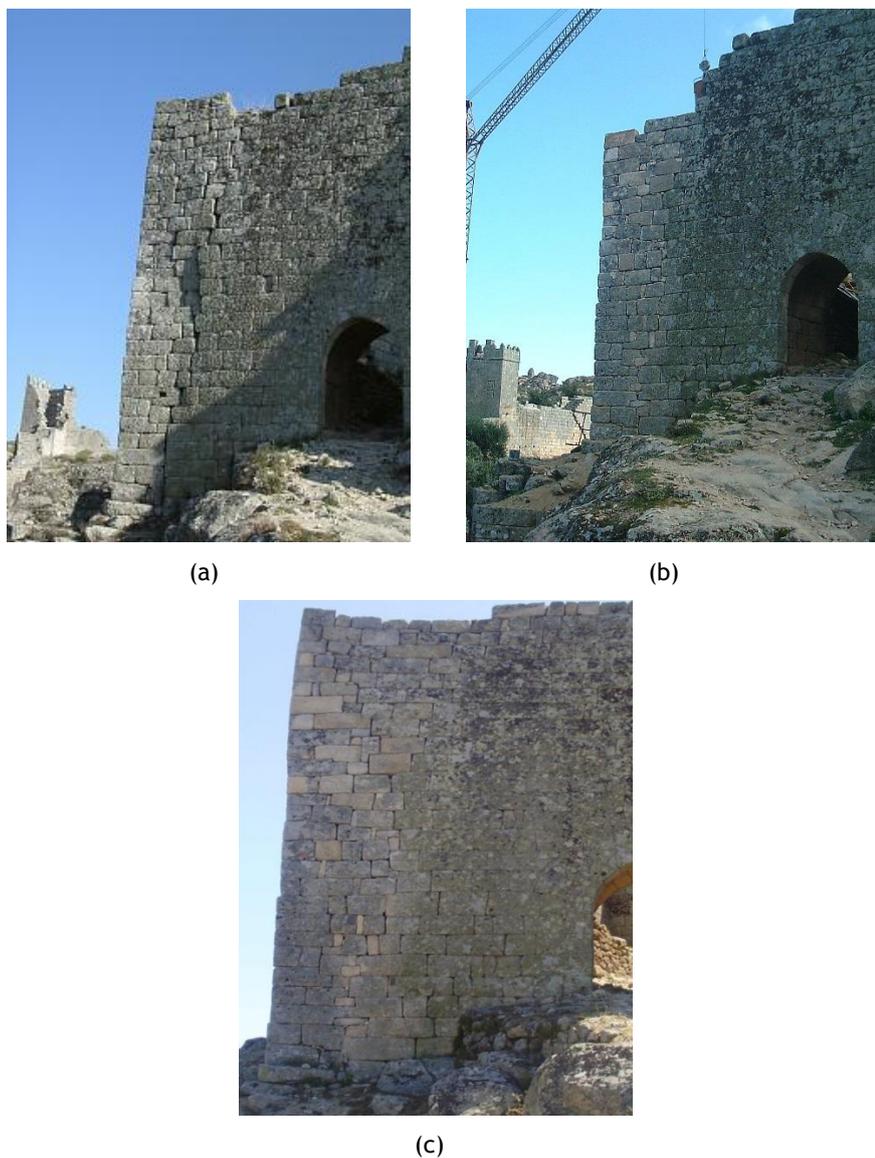


Figura 4.11 - Representação do cunhal da muralha; (a) antes da intervenção (Janeiro 2002), (b) fase de obras de consolidação (Fevereiro 2004) ^[14] e (c) cunhal da muralha (Junho 2012).

A Figura 4.12 mostra o antes (a) e o depois (b) da muralha envolvente. Na imagem (a) observa-se a interrupção da mesma devido a uma derrocada ocorrida no ano de 2001. A imagem (b) ilustra o resultado da intervenção nesse troço da muralha (2003).

Nota-se que em toda a extensão de reconstrução, os silhares usados são provenientes de uma pedreira perto do local de intervenção, uma vez que os elementos originais da muralha foram usados em reconstruções de outros troços, ou simplesmente desaparecera ^[14].



Figura 4.12 - Visualização da muralha interrompida (Maio 2002) ^[14] e o aspeto atual do troço, respetivamente.

4.3. Ensaios

No que respeita aos ensaios elaborados na zona de estudo, apenas foi possível a realização de ensaios não destrutivos e de baixo custo, não sendo possível a realização de trabalhos de prospeção no interior do maciço, por isso a obtenção dos elementos de estudo foi efetuada a partir da observação direta e indireta dos afloramentos.

No tocante à observação indireta dos afloramentos foi consultada fotografia aérea à escala 1:33000 do Instituto cartográfico Português.

4.3.1. Ensaios “*In Situ*”

Foram realizados vários ensaios de campo e laboratório que permitiram a obtenção de alguns resultados, de acordo com análises estatísticas e respetivo tratamento de dados no que diz respeito à descrição das diaclases existentes no maciço rochoso.

Para proceder à caracterização de diaclases, é regra serem estudadas estatisticamente, visto que estando associadas à compartimentação do maciço, ocorrem normalmente em grande número sendo associadas em família, o que justifica que o seu estudo se revista de um carácter estatístico ^[9]. Existe um número significativo de diaclases no maciço em estudo, pelo que se recorreu à análise estatística de acordo com as suas características, sobretudo das atitudes medidas, com vista a obter uma imagem do tipo de compartimentação. Apresenta-se

um conjunto de cartas com as respetivas densidades de diaclasamento e esquemas gráficos com o tratamento estatístico do conjunto das medições efetuadas no ponto 4.3.1.1.

4.3.1.1. Resultados do diaclasamento e espaçamento de diaclases

Após a recolha da informação relativa à atitude do maciço rochoso, para melhor perceção do diaclasamento, foi elaborado o levantamento do mesmo permitindo assim representar uma carta de densidades em cada um dos setores do maciço ao longo das linhas definidas por A-B, C-D, E-F e G-H (Figuras 4.15, 4.17, 4.19 e 4.21). Este levantamento baseou-se na técnica “scanline” [15] e foi desenhado com recurso ao programa informático *AutoCad*.

A Figura 4.13 representa a planta de localização dos quatro setores do maciço definido para o estudo.

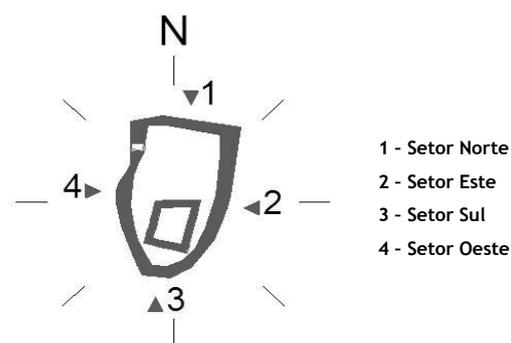


Figura 4.13 - Planta de localização dos setores definidos para estudo.

Setor Norte

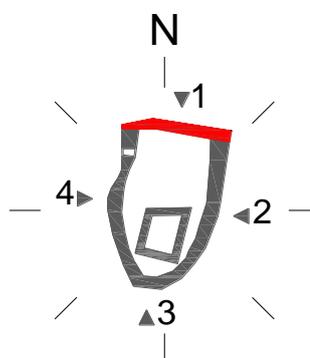
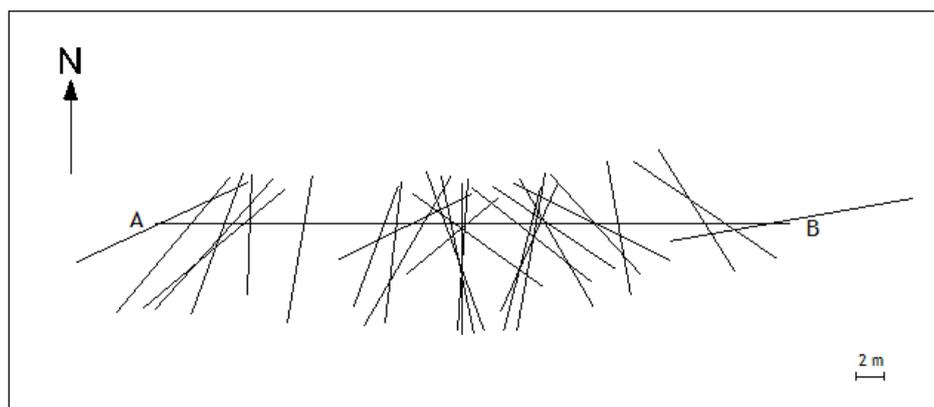
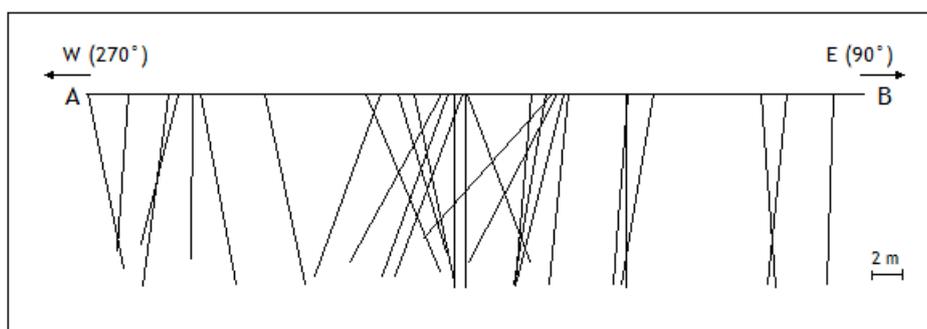


Figura 4.14 - Identificação do setor do maciço rochoso em análise.

A Figura 4.15 apresenta uma carta de densidades representativa do perfil ^[4].



a) Diaclases vistas em planta (A-B perfil da frente Norte do maciço).



b) Corte do perfil A-B.

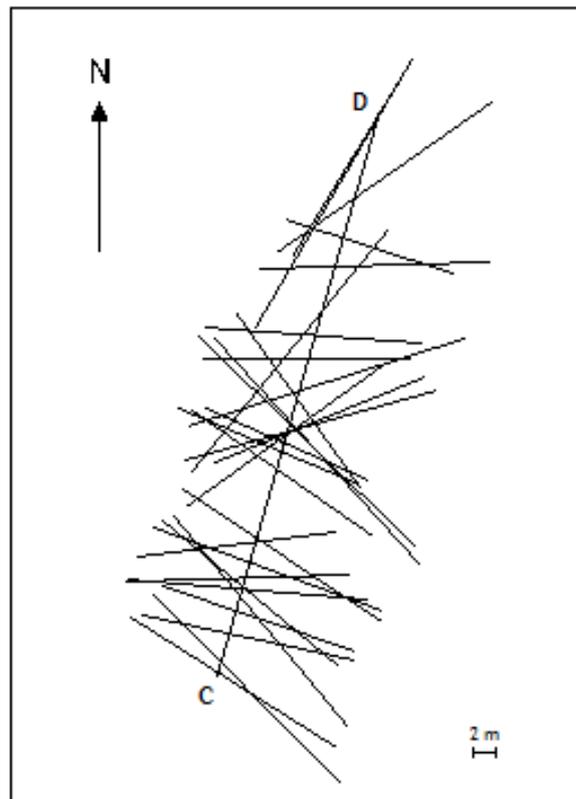
Figura 4.15 - Carta de densidades de diaclasamento do setor Norte do maciço.

Setor Este

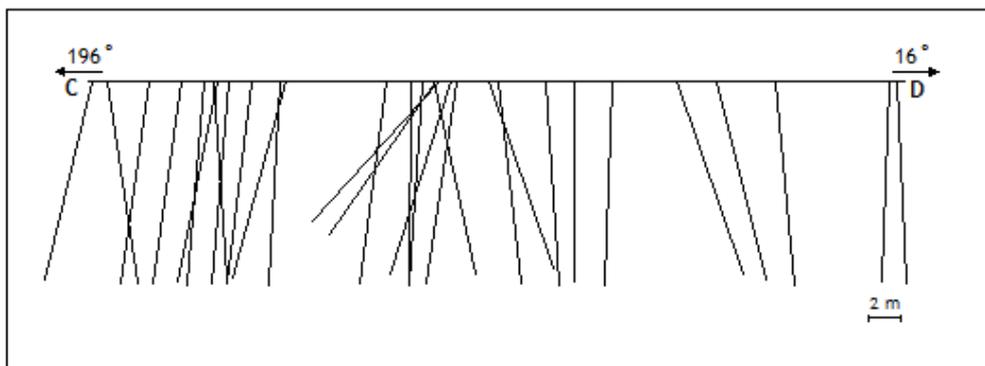


Figura 4.16 - Identificação do setor do maciço rochoso em análise.

A Figura 4.17 apresenta a carta de densidades de acordo com o respetivo perfil.



a) Diaclasas vistas em planta (C-D perfil da frente Este).



b) Corte do perfil A-B.

Figura 4.17 - Carta de densidades de diaclasamento do setor Este do maciço.

Setor Sul

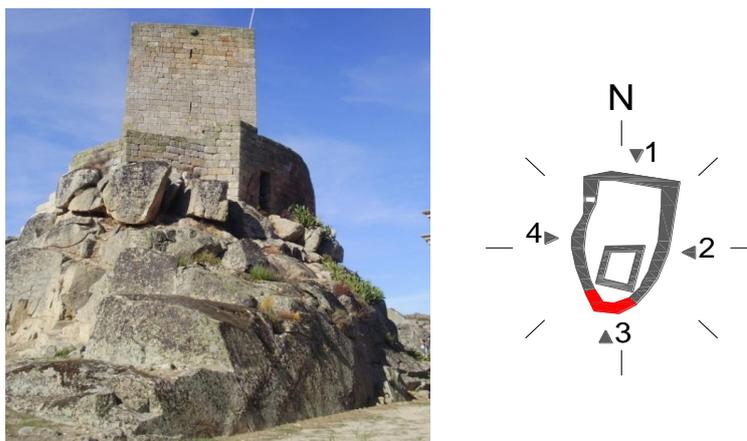
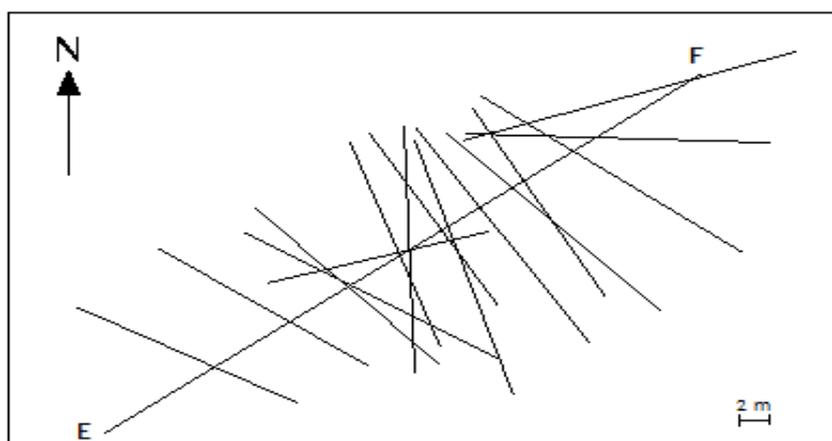
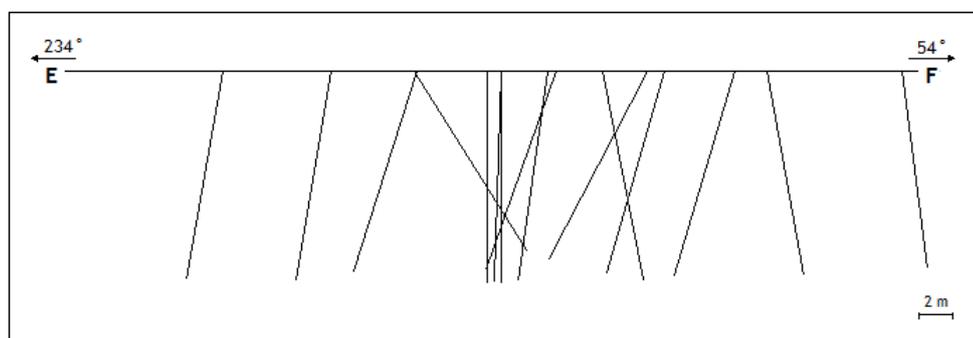


Figura 4.18 - Identificação do setor do maciço rochoso em análise.

A Figura 4.19 representa a carta de densidades de acordo com o perfil Sul.



a) Diaclases vistas em planta (E-F perfil da frente Sul).



b) Corte do perfil E-F.

Figura 4.19 - Carta de densidades de diaclasamento do setor Sul do maciço.

Setor Oeste

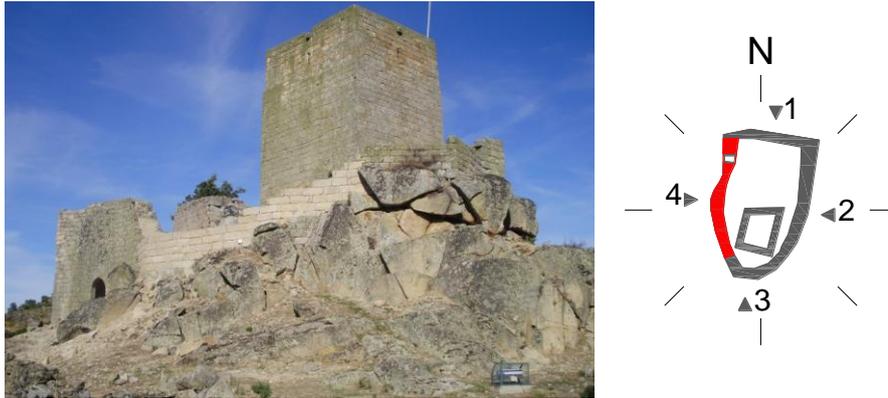
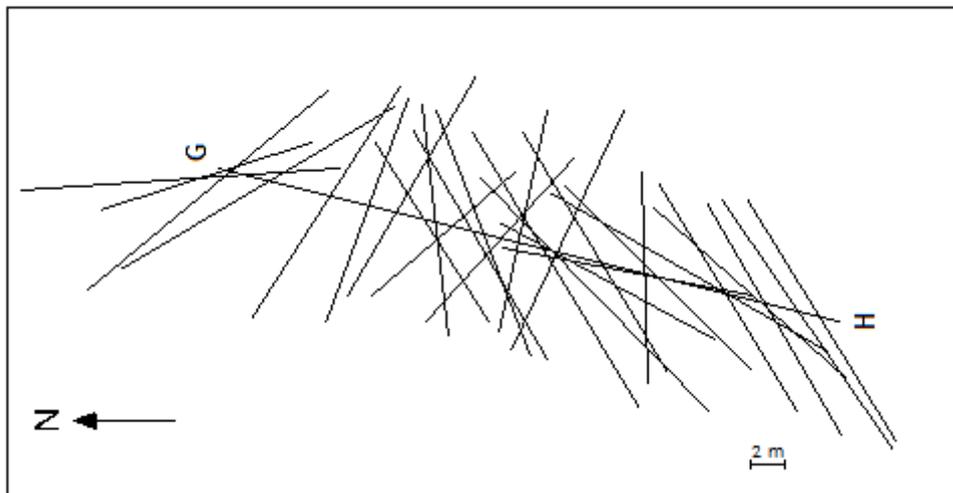
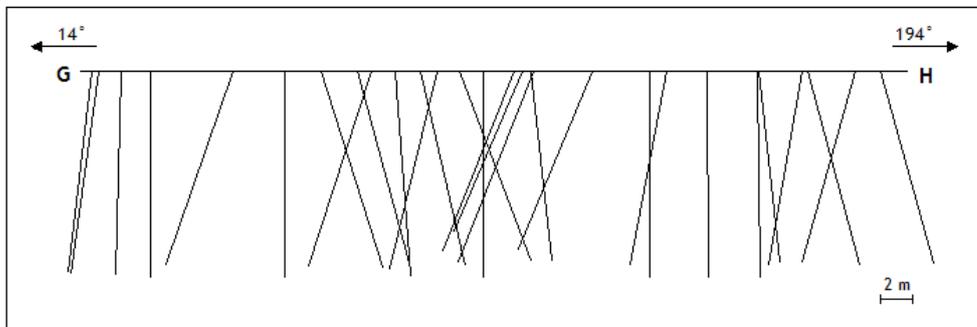


Figura 4.20 - Identificação do setor do maciço rochoso em análise.

A Figura 4.21 representa a carta de densidades de acordo com o perfil em análise.



a) Diaclases vistas em planta (G-H perfil da frente a Oeste).



b) Corte do perfil G-H.

Figura 4.21 - Carta de densidades de diaclasamento do setor Oeste do maciço.

Espaçamento das diaclases

Os dados utilizados foram recolhidos dos quatro setores do maciço rochoso, cuja altura varia de 1 a 8 metros com desenvolvimento horizontal de 14 a 45 metros. Após a colocação da linha na frente de cada setor em estudo, registaram-se os espaçamentos das diaclases relativos a cada família. A Tabela 4.1 mostra a média do espaçamento da respetiva família pertencente a cada setor, bem como o número de medições observado para cada uma delas. No ponto 4.3.1.2 são identificadas e representadas as famílias respeitantes de cada setor.

Tabela 4.1 - Valores de espaçamento médio por família de diaclases por setor analisado.

Setor	Família 1		Família 2		Família 3		Família 4	
	Número de Medições	Espaçamento Médio (mm)						
Norte	10	2781	13	4189	3	2257	3	2117
Este	12	4210	9	3947	5	2558	3	1200
Sul	11	4214	4	4850	-	-	-	-
Oeste	17	3844	11	3158	-	-	-	-

Características do diaclasamento do maciço

Em conformidade com as características das diaclases presentes no maciço rochoso, a Tabela 4.2 apresenta, de acordo com os parâmetros de descrição quantitativa indicados pela ISRM (1981): atitude, espaçamento, abertura, presença de material de preenchimento.

Tabela 4.2 - Características das diaclases global e de cada setor do maciço.

Setor	Número de medições	Direção/Pendor das famílias principais (°)	Espaçamento médio (mm)	Abertura (mm)
Norte	29	125/83SW	1707	34
Este	29	135/83SW	1757	20
Sul	15	140/76SW	2779	22
Oeste	28	235/69NW	1767	45
Registo maciço	101	135/80SW	1893	31

No que respeita ao preenchimento das diaclases, mais de 30 % delas apresentam-se secas e sem preenchimento, 18 % com solo e vegetação e 17 % preenchidas com solo (material argiloso), ver ponto 4.3.1.2. Registou-se ainda o espaçamento (S) médio total do maciço de 1893 mm, apresentando um S modal de 1400 mm.

4.3.1.2. Análises do diaclasamento e espaçamento de diaclases

Orientação e identificação de famílias

Na caracterização do diaclasamento do maciço, identificam-se várias famílias em cada um dos setores registrando a orientação preferencial das mesmas, determinadas pela direção e mergulho. No setor Norte assinalam-se quatro famílias, duas principais e duas com menor representatividade. No setor Este identificam-se igualmente quatro famílias, três delas com maior persistência. Os setores Sul e Oeste apresentam ambos duas famílias de diaclases. De notar que todos os sistemas identificados ostentam inclinações de muito inclinadas a verticais (60° a 90°). Contudo, existem algumas diaclases subhorizontais no maciço as quais não foi dado especial destaque, correspondendo à decompressão litostática do mesmo e mostrando-se pouco relevantes devido à sua fraca predominância.

O tratamento informático estatístico dos dados do levantamento e respetiva análise foi elaborado através do software *OpenStereo* ^[34].

Setor Norte

A Figura 4.22 mostra a representação dos planos das diaclases medidas no setor Norte do maciço através da projeção hemisférica de *igual área*. Visualiza-se alguma dispersão de atitudes nas vertentes Norte e Sul. Nota-se ainda uma maior concentração de planos a rondar o azimute de 125° .

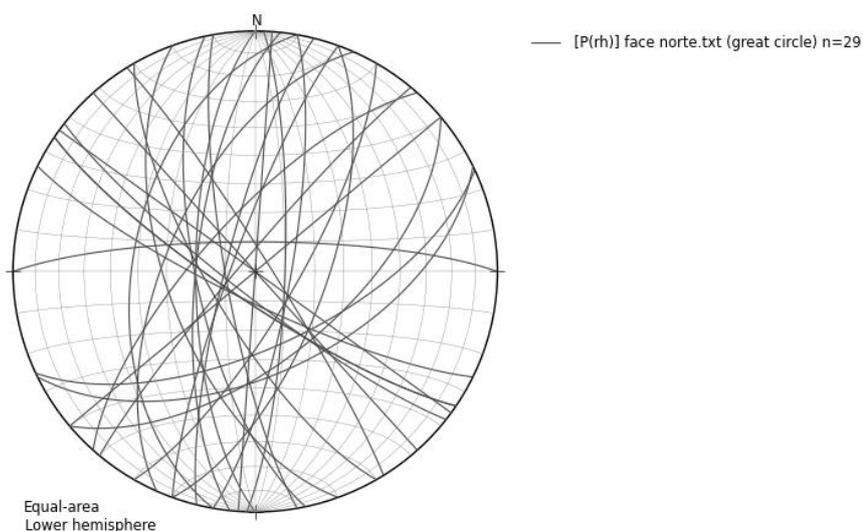


Figura 4.22 - Representação dos planos com base na rede de projeção *igual área* (Schmidt).

A partir da mesma projeção, analisou-se a concentração polar e determinação das orientações mais representativas das famílias num diagrama de densidades (Figura 4.23). Identificam-se dois sistemas principais de diaclases, ambos com inclinação subvertical, notando-se uma concentração dos *polos* junto ao contorno da área de projeção. O sistema principal, mais bem definido, apresenta a direção dos planos perto do azimute 125° com inclinação a rondar 83° , exibindo uma densidade polar máxima de 12% no quadrante NE. O segundo sistema apresenta maior dispersão, indicando um azimute na ordem dos 190° com pendor perto dos 80° . No entanto, verifica-se que apesar de haver uma maior concentração polar no quadrante NE devido a uma aproximação da atitude deles, apenas se contam 6 medições. Já no quadrante SE e NW existe maior número de *polos*, mas subsiste uma maior dispersão, o que faz com que a máxima concentração polar seja inferior à do quadrante NE.

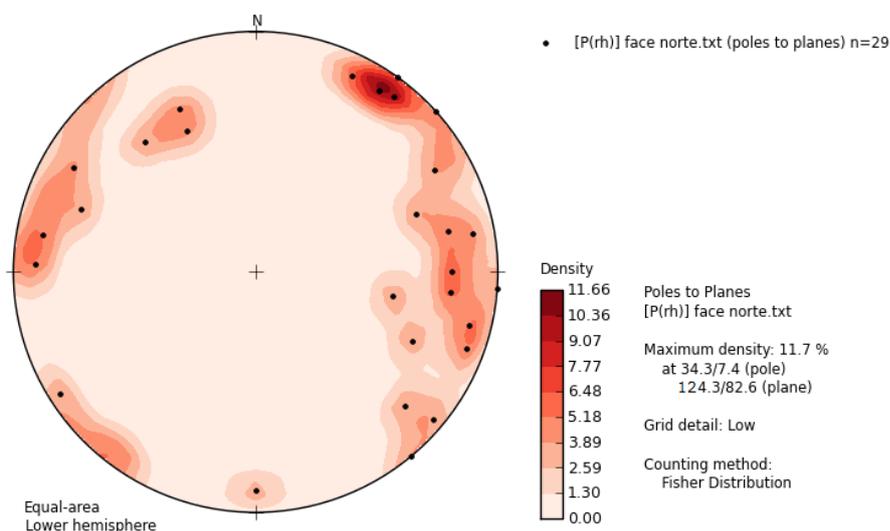


Figura 4.23 - Representação dos *polos* das diaclases e curvas de densidades de concentração dos *polos* segundo a projeção de *igual área* (*Schmidt*) na face Norte.

De acordo com o diagrama de roseta (Figura 4.24), é exposto graficamente a orientação das diaclases. Como já observado na projeção anterior e analisando agora o diagrama estatístico de fracturação, identificam-se no sistema de diaclasamento fundamentalmente duas famílias, onde a principal está bem definida apresentando um maior número de medições com a direção de 125° e sentido de mergulho para Sudoeste. O segundo sistema, não menos significativo, na vertente N-S, mostra maior dispersão na direção e uma variação na inclinação. Registam-se ainda dois sistemas com menor importância (menor número de medições), um com direção de 65° pendendo para Sudeste, outro apresenta uma direção de 225° e inclinação para Noroeste.

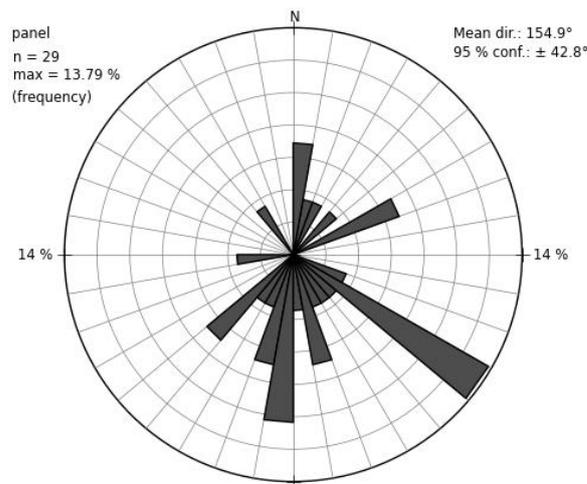


Figura 4.24 - Representação da orientação das diaclases segundo diagrama de roseta.

A partir do mesmo software e para uma visualização mais detalhada, foi elaborado um histograma (Figura 4.25) representando a inclinação das diaclases. Observa-se que 75% delas estão acima dos 70°, estando compreendidas entre muito inclinadas e verticais. Apenas um número menos significativo, ostenta menores inclinações.

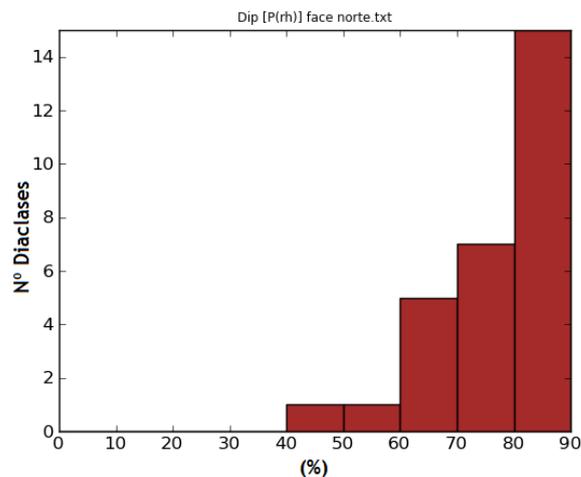


Figura 4.25 - Histograma representativo da inclinação das diaclases.

Setor Este

A Figura 4.26 mostra os planos de diaclases deste setor, onde se visualiza um conjunto de quatro famílias, apresentadas na ordem de maior para menor importância. A primeira entre os quadrantes SE-NW com azimuth 135° e pendor subvertical apresenta-se como mais representativa expondo uma maior densidade polar, na ordem dos 14% (Figura 4.27). A

segunda família bastante próxima da primeira com azimute de 115° e pendor subvertical mostra-se bem definida, embora com menor representatividade. A terceira expõe planos segundo a direção E-W. A última com caráter penetrativo mais baixo apresenta direção SW-NE.

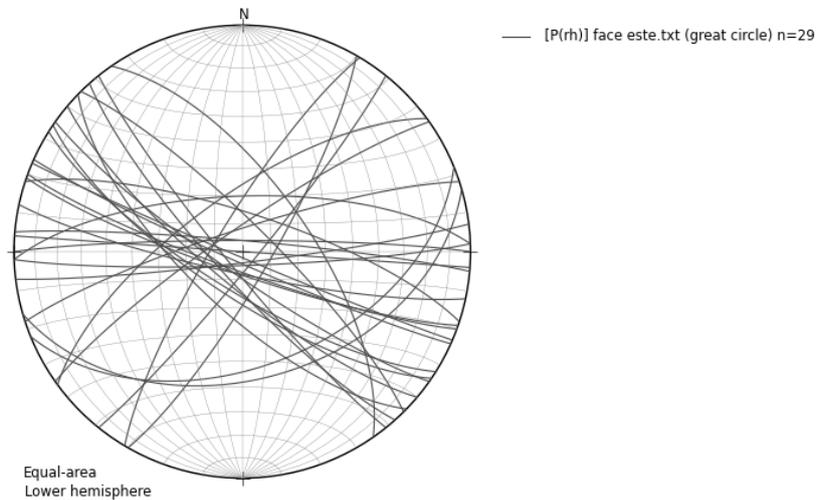


Figura 4.26 - Representação dos planos com base na rede de projeção *igual área* (Schmidt).

De acordo com o diagrama de densidades da Figura 4.27 visualiza-se que a maior concentração polar está localizada próxima do extremo Norte e extremo Sul junto ao contorno da área de projeção, surgindo alguma dispersão no quadrante NE. Nota-se ainda a existência de dois polos no quadrante NW possuindo inclinação inferior.

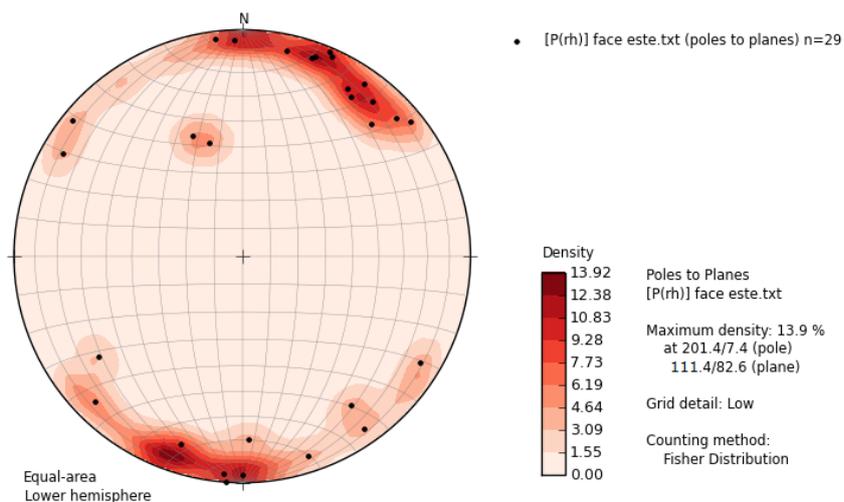


Figura 4.27 - Representação dos *polos* das diaclases e curvas de isodensidades de concentração de *polos* segundo a projeção de *igual área* (Schmidt).

O diagrama de roseta (Figura 4.28) identifica igualmente as quatro famílias, sendo que três delas se apresentam com maior importância. A mais esclarecida com azimute 135° e sentido de mergulho para Sudoeste, registra maior número de medições, apresentando maior densidade de diaclasamento. A segunda, também com alguma importância, exibe a direção 115° e sentido de inclinação para Sul. A terceira família E-W apresenta variação na inclinação, registrando também alguma importância. A última família com azimute 235° assinala menor número de medições expondo menor representatividade.

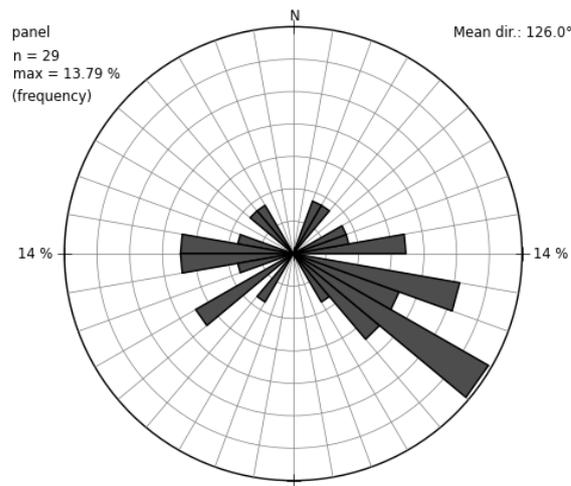


Figura 4.28 - Diagrama relativo à orientação do diaclasamento segundo método de roseta.

Na Figura 4.29 nota-se um ângulo de mergulho subvertical a vertical na maior parte do sistema de diaclasamento a rondar os 90° , existindo apenas uma pequena percentagem com inclinação inferior.

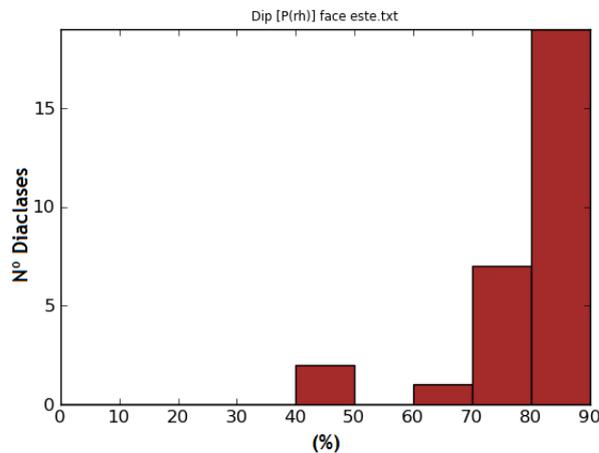


Figura 4.29 - Histograma representativo da inclinação das diaclasas.

Setor Sul

O setor Sul é o que regista menor número de planos de diaclasamento, identificando-se duas famílias (Figura 4.30). A primeira e mais representativa entre os quadrantes SE-NW com inclinação acima dos 70° regista uma densidade polar na casa dos 19% no quadrante NE (Figura 4.31) mostrando, ainda assim, alguma dispersão de planos. A segunda família, com menos representatividade indica um azimute próximo de 260° com pendor subvertical.

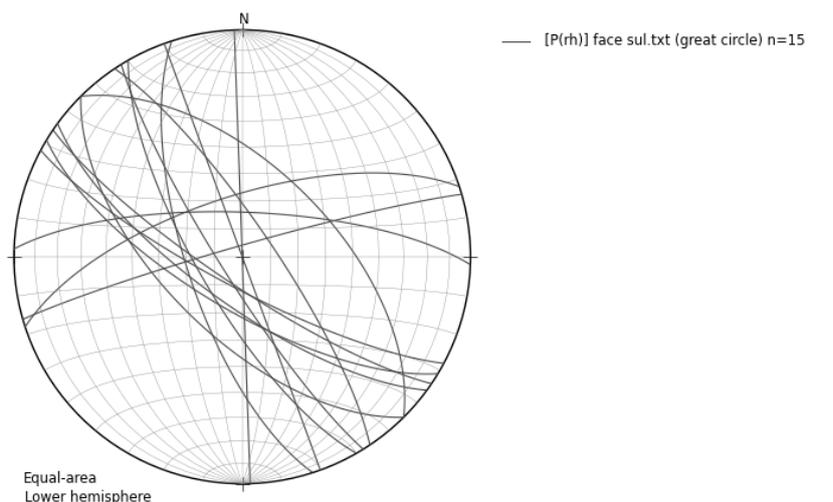


Figura 4.30 - Representação dos planos com base na rede de projeção *igual área* (Schmidt).

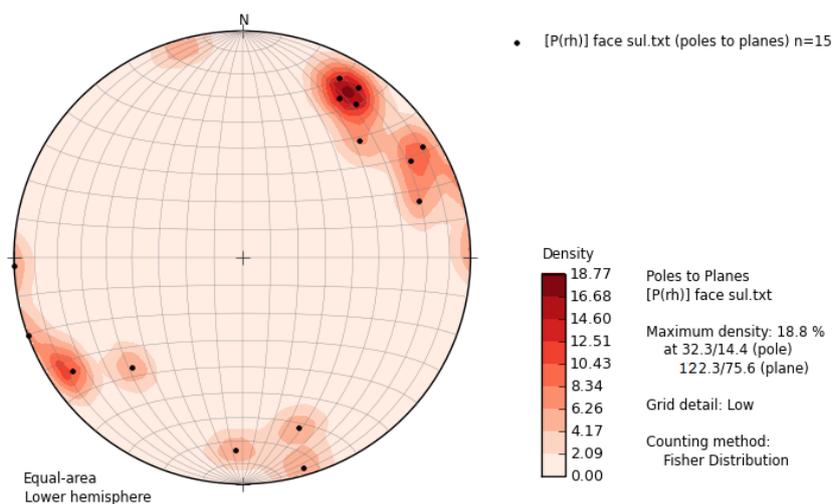


Figura 4.31 - Representação dos *polos* das diaclases e curvas de isodensidades de concentração polar segundo a projeção de *igual área* (Schmidt) no setor Sul.

O diagrama de roseta (Figura 4.32) apresenta as duas famílias de diaclases. A primeira é bastante mais representativa e, apesar de possuir alguma dispersão, indica um azimute de $135^{\circ} \pm 15^{\circ}$ registando maior número de medições, com pendore para Sudoeste. A segunda família exibe um azimute de 255° e inclinação para Norte, apresentando dispersão de fraturas pouco significativa. É, aparentemente, menos importante pelo facto da máxima concentração de diaclases ser bastante inferior à primeira.

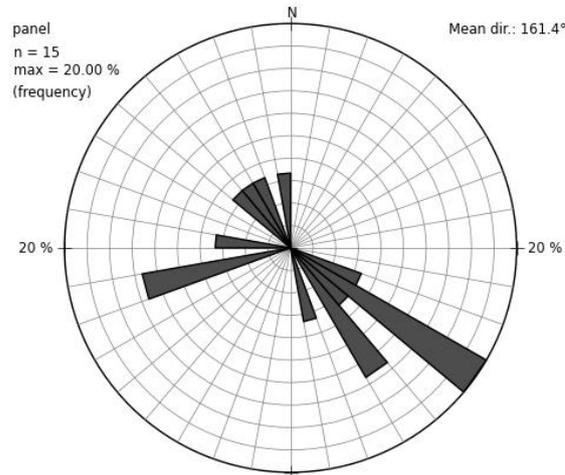


Figura 4.32 - Diagrama relativo à orientação do diaclasamento segundo método de roseta.

A Figura 4.33 apresenta em forma de histograma a inclinação do diaclasamento. Esta é na sua maioria subvertical mostrando que 80% delas se situa entre os 70° e 90° , onde apenas se regista uma reduzida percentagem com direção menos inclinada, entre os 50° e 70° .

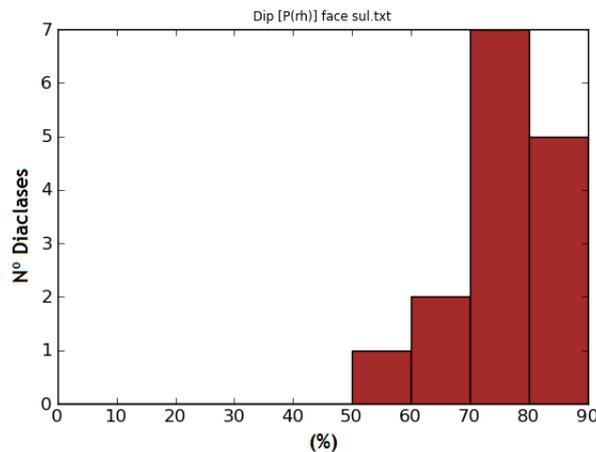


Figura 4.33 - Histograma representativo da inclinação das diaclases.

Setor Oeste

A Figura 4.34 representa os planos do diaclasamento onde se nota a existência de duas famílias de diaclases. A primeira bem definida segundo a direção SW e NE, já a segunda apresenta maior dispersão de planos nos quadrantes NW e SE.

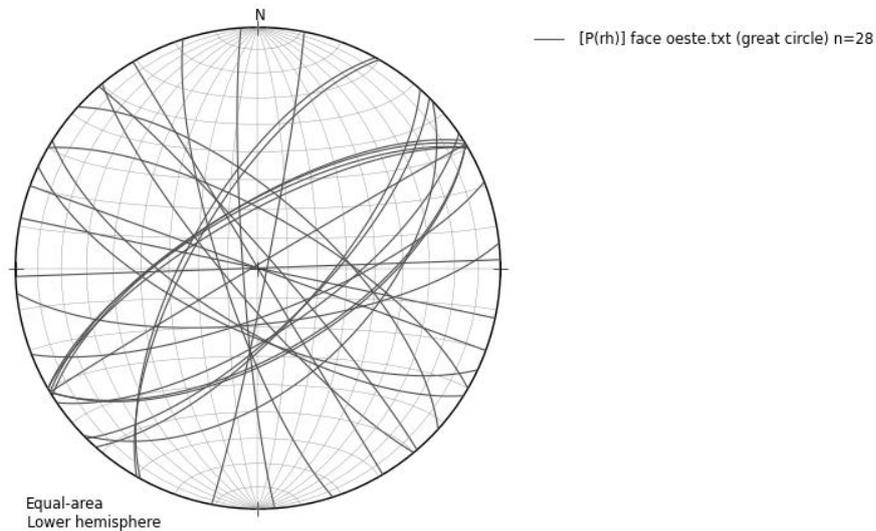


Figura 4.34 - Representação dos planos com base na rede de projeção *igual área* (Schmidt).

Como é demonstrado na projeção da Figura 4.35, a família com maior representatividade apresenta máxima densidade polar situando-se no quadrante SE e correspondendo a 13.5%. No quadrante NW nota-se alguma concentração polar, mas expõe certa dispersão. A família com menor caráter apresenta maior dispersão polar nomeadamente no quadrante NE.

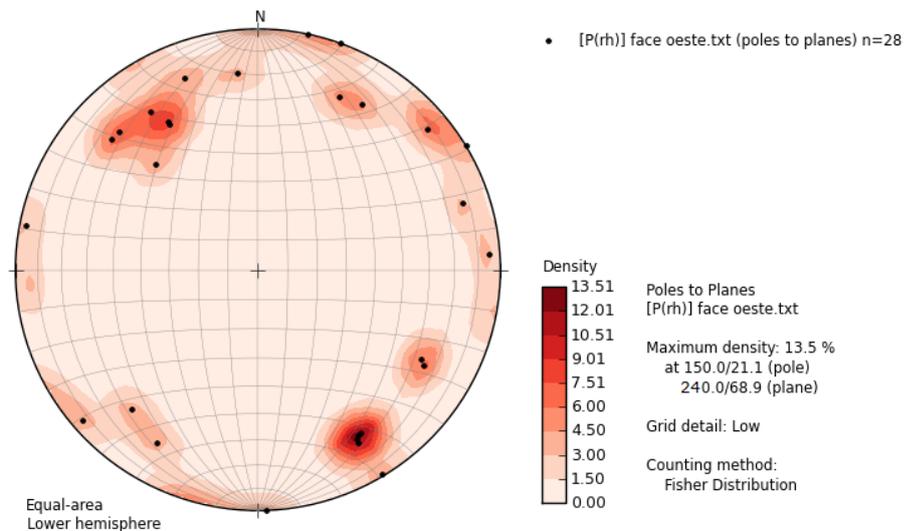


Figura 4.35 - Representação dos *polos* das diaclases e curvas de densidades de concentração dos *polos* segundo a projeção de *igual área* (Schmidt).

De acordo com a Figura 4.36, identificam-se os dois sistemas mencionados. O principal e bem mais representativo, mostra uma direção principal de 235° surgindo variação na inclinação. O sistema de menor representatividade surge com direção 315° com pendor para Nordeste. Nota-se ainda uma dispersão de fraturas menos significativa no quadrante Sudeste.

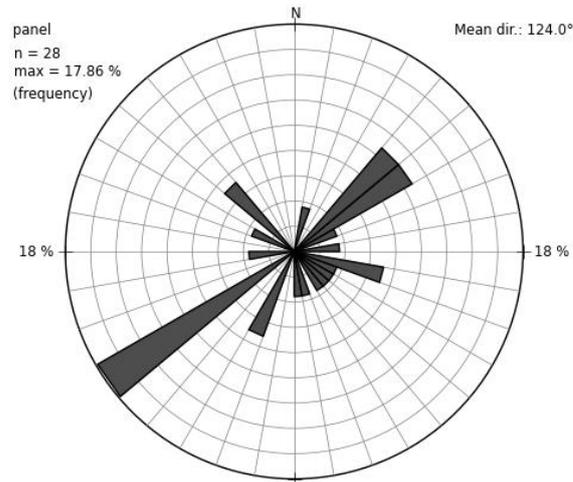


Figura 4.36 - Diagrama relativo à orientação do diaclasamento, segundo método de roseta.

Do histograma da Figura 4.37 extraem-se os valores do ângulo de mergulho do diaclasamento, em que praticamente está tudo acima dos 60°, estando compreendido entre o muito inclinado e o vertical.

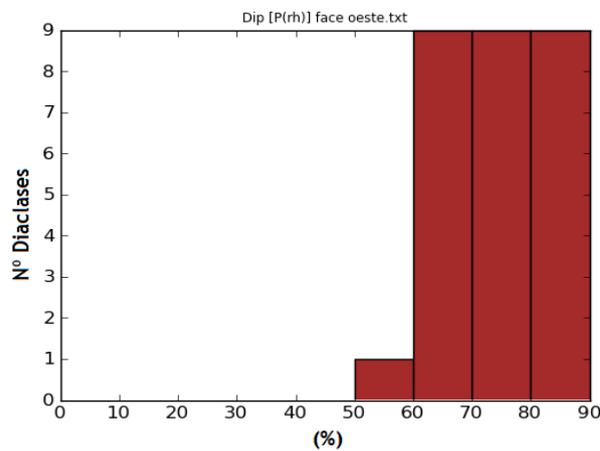


Figura 4.37 - Histograma representativo da inclinação das diaclases.

Registo do maciço considerando todos os setores

Após a apresentação de resultados dos setores do maciço rochoso e considerando todas as medições realizadas, mostram-se os resultados globais da atitude do maciço de acordo com o

diagrama de densidades, método de roseta e histograma representativo da inclinação, revelando assim outra perspectiva da atitude do diaclasamento.

A Figura 4.38 indica a densidade polar do maciço rochoso em estudo, assinalando uma distribuição polar em praticamente todo o contorno da área de projeção, apresentando várias direções de diaclasamento. Verifica-se que a maior concentração de polos está situada no quadrante NE, aproximando-se dos 9%.

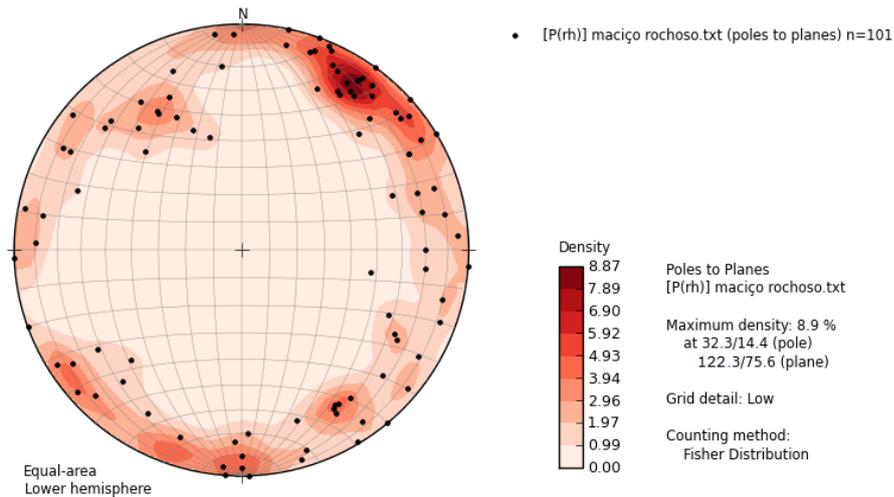


Figura 4.38 - Diagrama de densidade polar total do maciço rochoso.

De acordo com o diagrama de roseta (Figura 4.39), são identificados dois sistemas de diaclases. O principal e de maior representatividade com direção 135° e pendur para Sudoeste. Destaca-se apresentando um grande número de medições. A segunda família com direção 235° encontra-se bem representada embora com menor frequência, mostrando alguma variação da inclinação. Além da identificação destes dois sistemas, nota-se ainda alguma dispersão de fraturas pouco significativas em torno dos quatro quadrantes.

Conforme a orientação dos principais sistemas identificados no diagrama de roseta (Figura 4.39), observa-se que a bissetriz obtusa (maior ângulo) está compreendida na direção N-S. Na direção E-W está situada a bissetriz aguda, correspondente ao menor ângulo (componente em compressão).

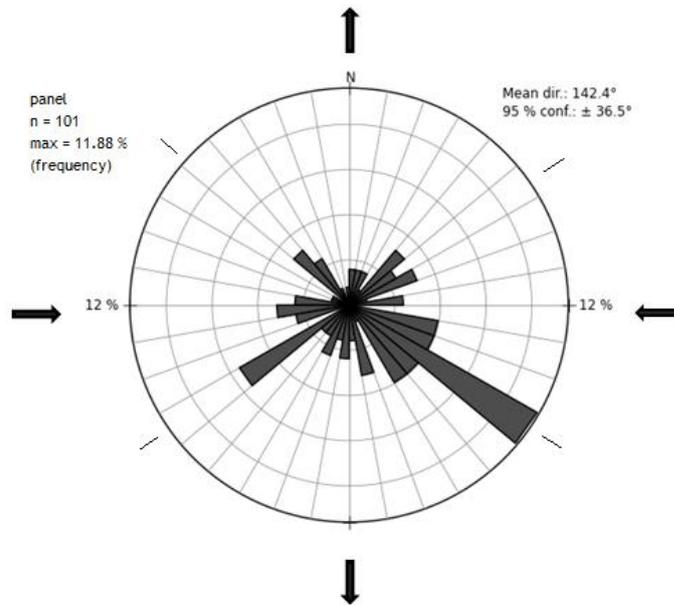


Figura 4.39 - Diagrama de roseta mostrando o sentido de direção das principais famílias e representação das bisettrizes.

Do histograma da Figura 4.40 e de acordo com o diagrama de densidade polar (Figura 4.38), nota-se que a grande maioria das diaclases apresenta elevados pendores. Evidencia-se uma grande percentagem (80%) de inclinações acima dos 70°, estando compreendidas entre subverticais a verticais. As restantes apresentam inclinações inferiores, existindo uma pequena percentagem entre os 40° e 60°.

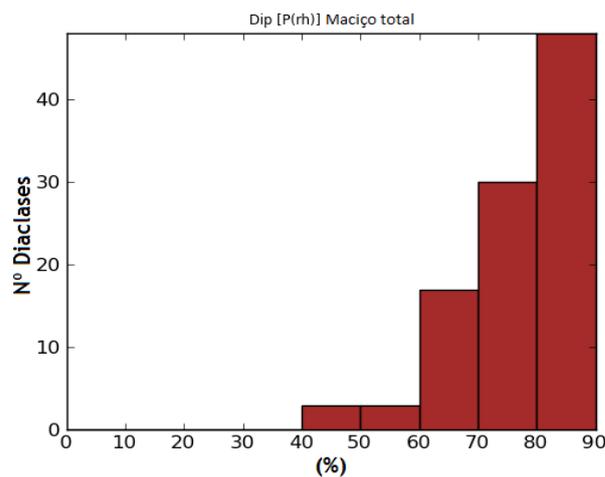


Figura 4.40 - Histograma relativo à inclinação do diaclasamento global no maciço.

Espaçamento de diaclases

Com o levantamento efetuado, foram elaborados dois histogramas, um para o espaçamento médio para cada setor e outro relativo a todos os dados do maciço, apresentando o espaçamento modal (S) do diaclasamento .

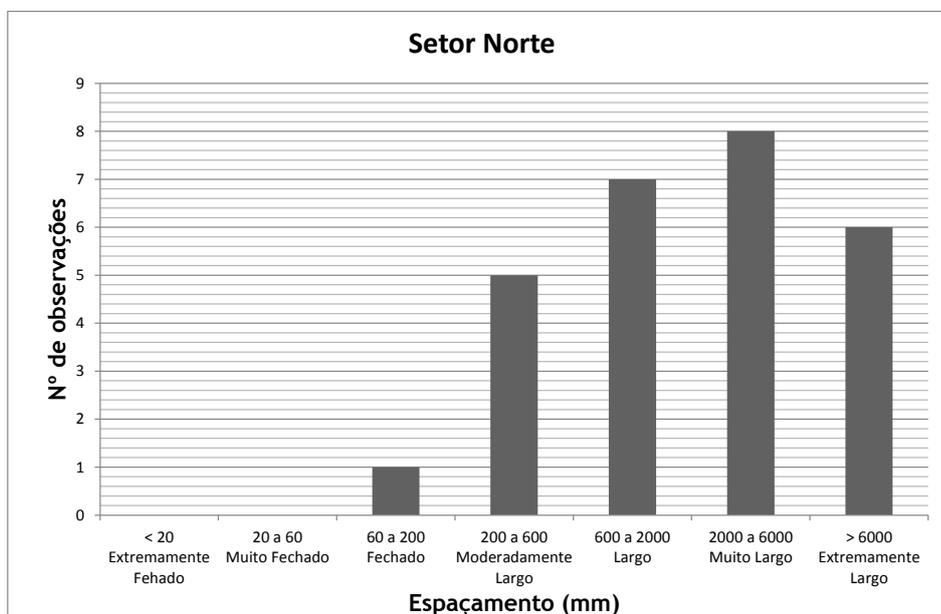


Figura 4.41 - Histograma relativo ao espaçamento de diaclases do setor Norte. Destaca-se o facto do espaçamento modal estar no intervalo de 600 a 2000 mm.

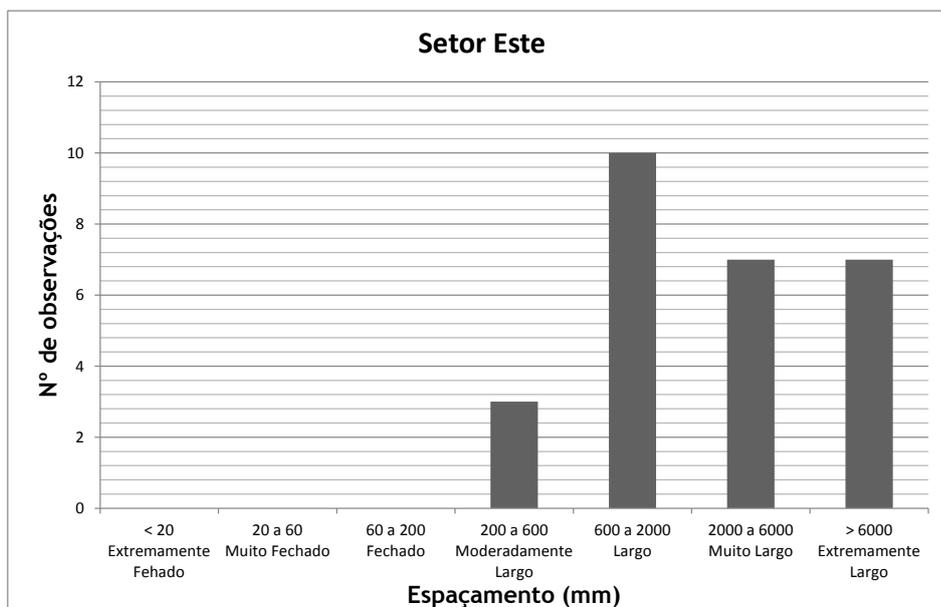


Figura 4.42- Histograma construído para o setor Este. Neste caso o espaçamento modal encontra-se no intervalo de 2000 a 6000 mm.

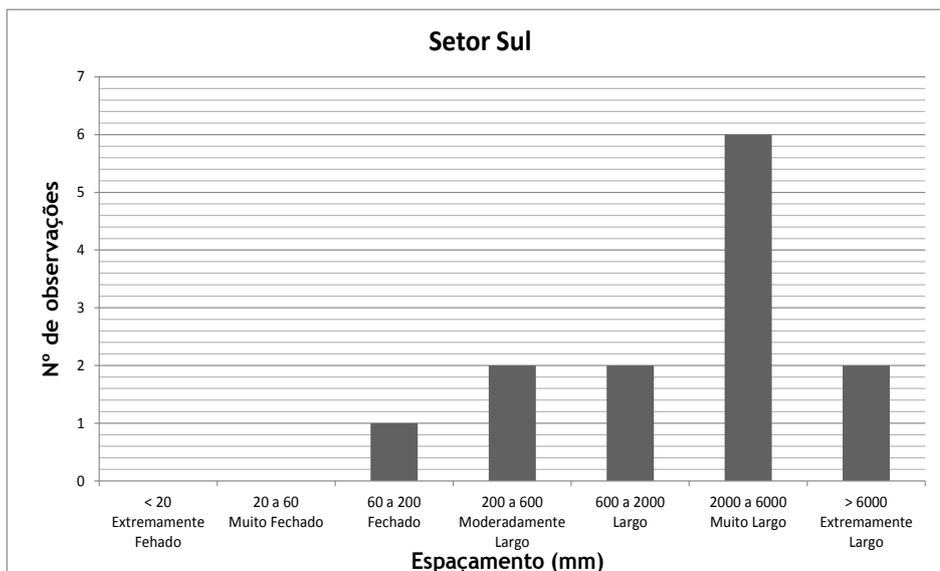


Figura 4.43 - Histograma relativo ao setor Sul. O espaçamento modal situa-se no intervalo de 2000 a 6000 mm, bem destacado em relação aos outros.

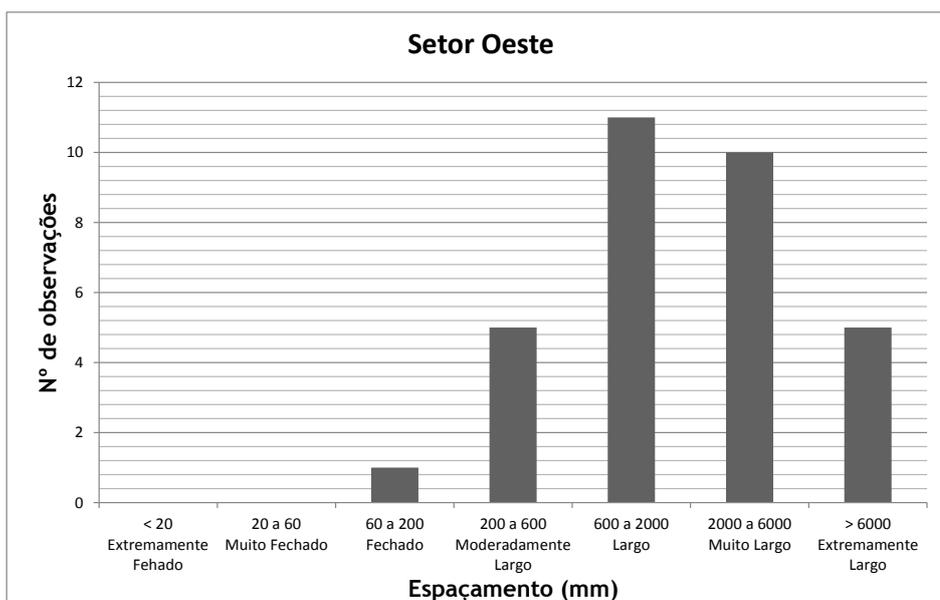


Figura 4.44 - Histograma referente ao setor Oeste, apresentando o espaçamento modal no intervalo de 600 a 2000 mm.

Dos histogramas representados, nota-se uma aproximação do espaçamento médio nos setores Norte, Este e Oeste apresentando comportamento semelhante, onde apenas o Sul apresenta média superior, adquirindo por isso menor fracturação. Destaca-se que o número de fraturas (medições) ao ser bastante inferior aos restantes poderá influenciar esta diferença de espaçamento.

Ao analisar o histograma da Figura 4.45, que considera todos os dados do maciço (setores), verifica-se um espaçamento modal de 1400 mm e uma média de fracturação dentro da escala de “largo”, correspondente a um F2 (Tabela 2.5), confirmando-se um espaçamento de diaclases de elevadas dimensões.

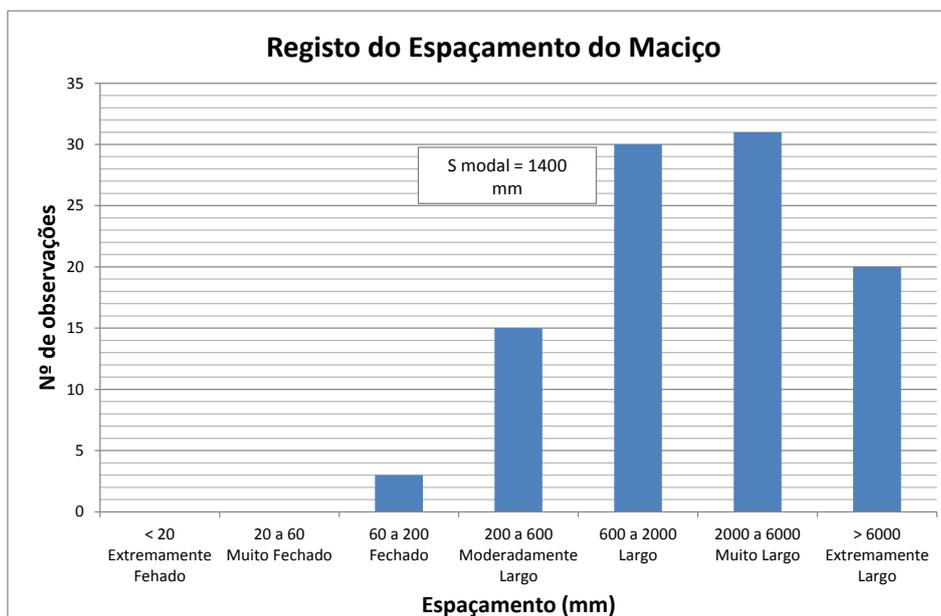


Figura 4.45 - Histograma relativo ao espaçamento medido no maciço rochoso, considerando todas as medidas feitas em todos os setores da área de estudo.

Abertura do Diaclasamento

Relacionado com o espaçamento está a abertura de diaclases e seu preenchimento, componentes bastante importantes no comportamento do maciço rochoso. Os histogramas seguintes (Figura 4.46 a 4.49) apresentam a média de abertura em cada setor do maciço, e o gráfico circular correspondente ao preenchimento das mesmas.

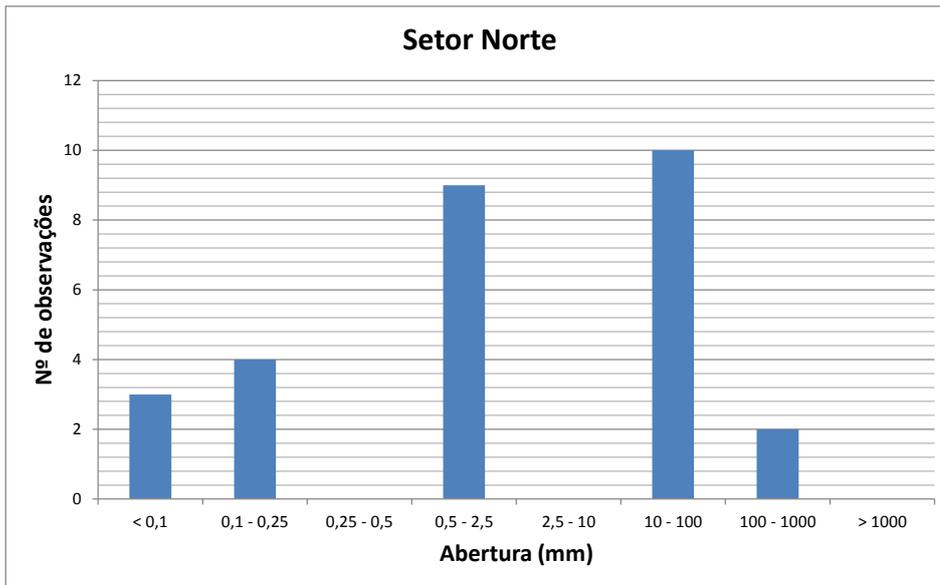


Figura 4.46 - Histograma relativo à abertura de diaclases no setor Norte. Evidenciam-se, com maior número de observações, os intervalos 0,5 a 2,5 mm e 10 a 100 mm.

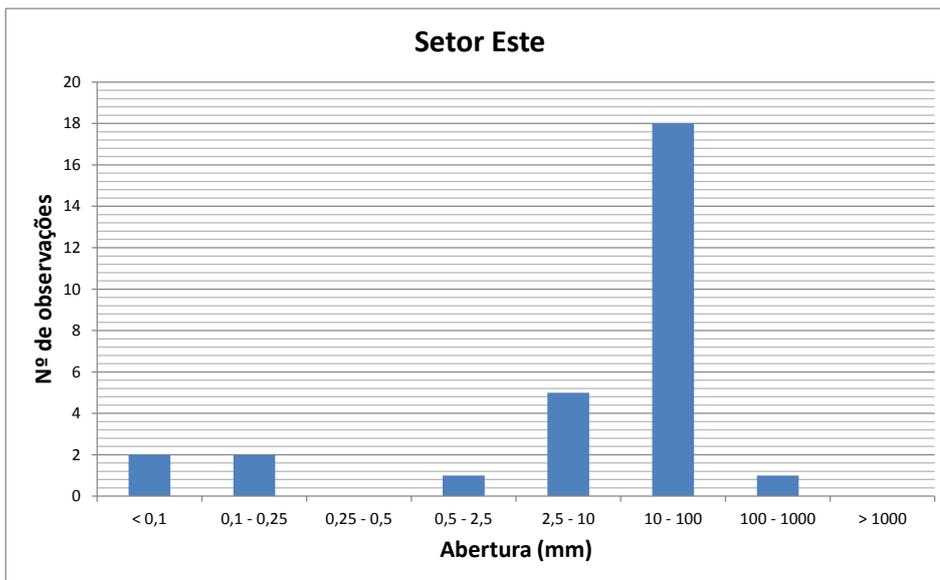


Figura 4.47 - Histograma construído para o setor Este do maciço. Destaca-se o facto do intervalo de abertura de 10 a 100 mm ser muito superior aos restantes.

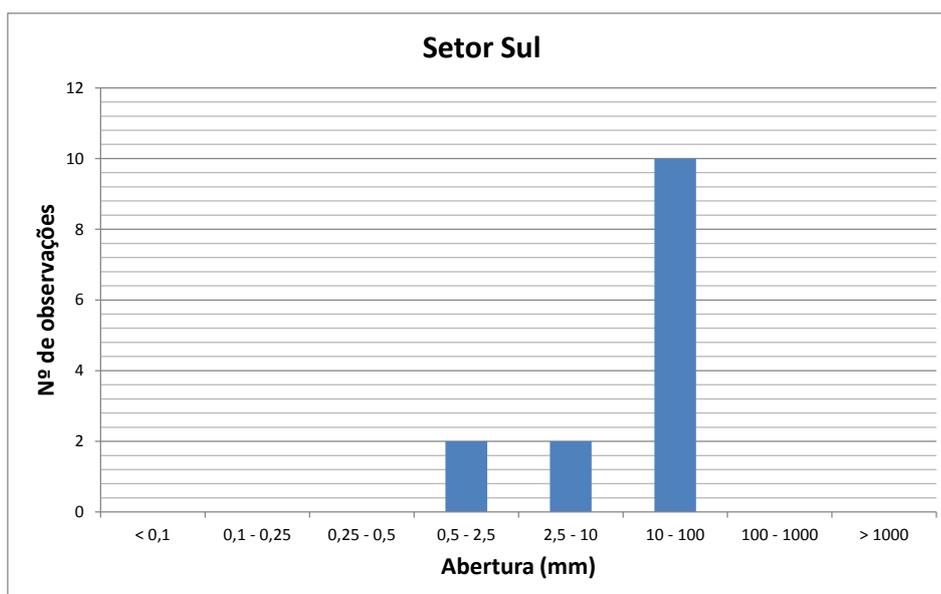


Figura 4.48 - Histograma referente ao setor Sul. Comprova-se também que o intervalo predominante situa-se entre 10 a 100 mm.

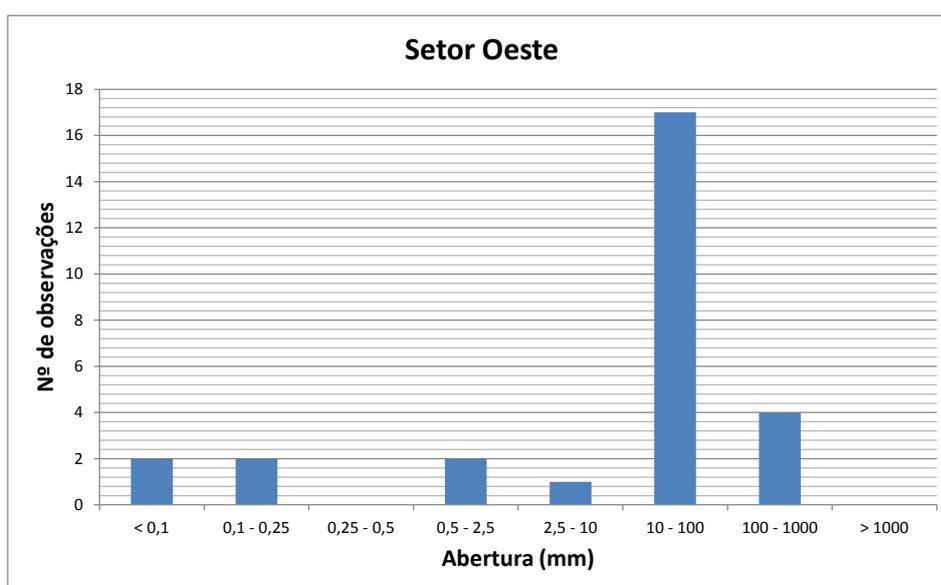


Figura 4.49 - Histograma relativo à abertura medida no campo para o setor Oeste.

Percebe-se uma grande semelhança de aberturas em todos os setores do maciço no intervalo 10 - 100 mm, o que levar a concluir a uma certa homogeneidade de valores encontrados.

A Figura 4.50 apresenta uma perspetiva geral da abertura do diaclasamento no maciço, considerando as medidas feitas, em todos os setores. A média de abertura dos quatro setores corresponde à descrição de “muito larga”, estando compreendidas de 20 a 44 mm, situando-

se no intervalo de 10 a 100 mm, que de acordo com o histograma, este intervalo tem uma percentagem muito superior de observações em relação aos outros.

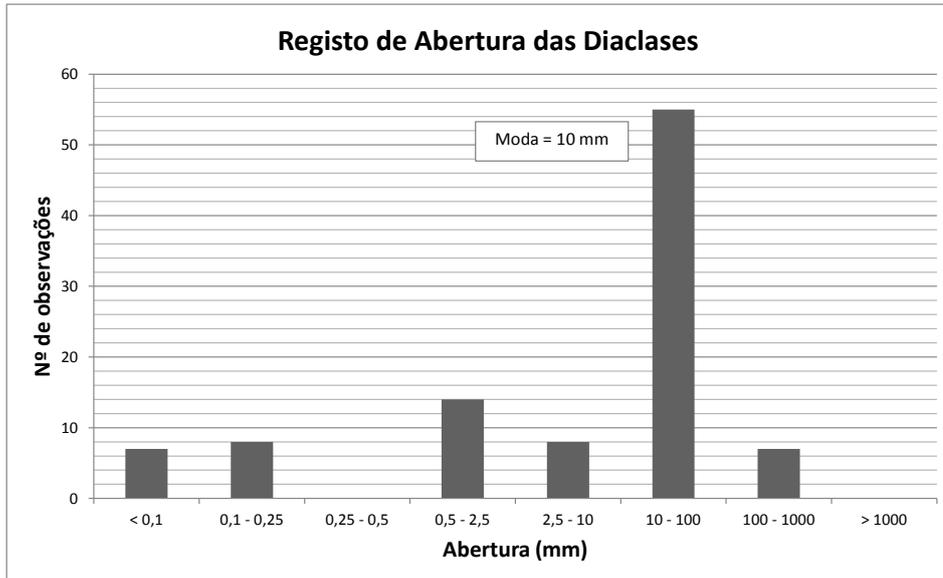


Figura 4.50 - Histograma relativo ao total de abertura medido no campo do diaclasamento do maciço.

Preenchimento de diaclases

O gráfico da Figura 4.51 mostra o tipo de preenchimento das diaclases do maciço em forma de percentagem. Grande parte da abertura das diaclases apresenta-se sem preenchimento. O preenchimento com solo e vegetação; e solo, compreendem igualmente uma importante percentagem do mesmo nas aberturas.

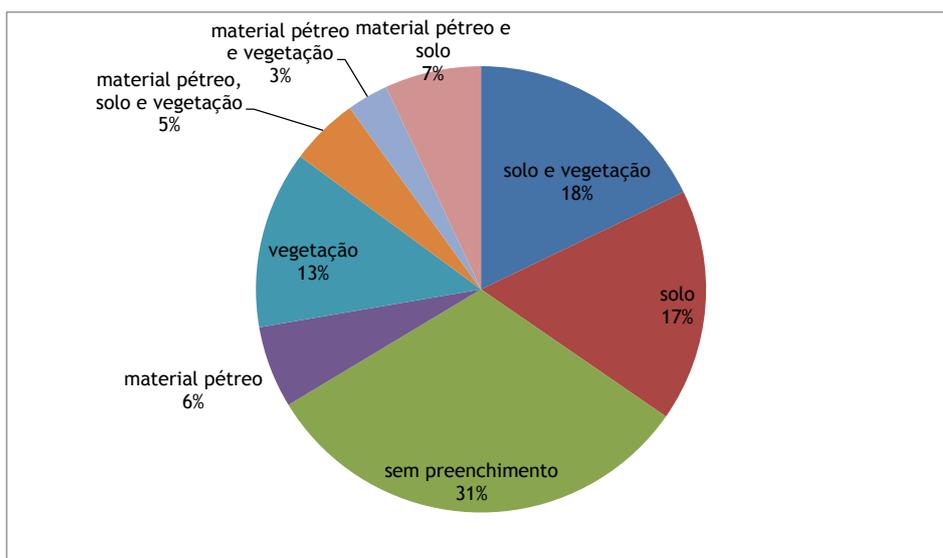


Figura 4.51 - Preenchimento das diaclases no maciço rochoso.

4.3.1.3. Resultados dos ensaios com o esclerómetro Schmidt

A partir dos dados obtidos com o martelo de Schmidt, seguindo a metodologia recomendada por Vallejo (2002), realizaram-se em cada ponto de medição 10 ensaios, eliminando os 5 menores, e calculando-se o valor médio de ressalto dos 5 mais elevados. Os ensaios foram realizados em blocos pertencentes a diaclases e à muralha, bem como na globalidade das diaclases do maciço rochoso, pertencentes à envolvente da Torre de Menagem do Castelo.

Como já referido no capítulo 3, trata-se de um ensaio não destrutivo com a vantagem de permitir estimar a resistência á compressão uniaxial das rochas de forma rápida e expedita, podendo ser utilizado quer no campo, quer em laboratório (Figura 4.52).



Figura 4.52 - Utilização do Martelo (esclerómetro de Schmidt) “*in situ*” para determinar o valor da dureza Schmidt (R) no setor Oeste.

Seguindo os procedimentos descritos no capítulo 3 e com recurso ao ábaco da Figura 3.10, foram registados nas Tabelas em anexo (Anexo 1) os valores estimados de resistência à compressão simples os quatro setores estudados, tendo por base o valor da dureza de Schmidt (R), a orientação do martelo em relação ao material ensaiado e o peso volúmico da rocha de 26 kN/m^3 . Apresenta-se ainda nas respetivas tabelas em anexo, a avaliação do estado de alteração do material ensaiado a partir dos valores de dureza Schmidt ^[4].

Foram também realizados ensaios com martelo em blocos de rocha pertencentes à muralha (bloco 3, bloco 4 e bloco 5), bem como em blocos pertencentes a diaclases do maciço rochoso (bloco 1 e bloco 2), por forma a estabelecer uma relação do estado de alteração e resistência à compressão uniaxial do material. A Tabela 4.3 mostra os registos e medições médias dos respetivos ensaios.

Com os resultados obtidos do martelo de Schmidt (R) e pela observação direta, foi possível escalonar o material nos diferentes blocos e setores em função do seu grau de alteração numa escala de granito são (W1), granito pouco alterado (W2) e granito alterado (W3), (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Comparação de resultados dos blocos usados no ensaio com a média de ressalto (R) dos setores do maciço.

Ensaio	Dureza (R) medio	Valores estimados à resistência à compressão uniaxial (MPa)	Grau de alteração	Classificação	Observações
Bloco 1 (↓)	37,50	73	W2	Granito pouco alterado	Diaclase do maciço
Bloco 2 (↓)	38,70	79,7	W2	Granito pouco alterado	Diaclase do maciço
Bloco 3 (↓)	27,50	43,3	W3	Granito alterado	Original - base
Bloco 4 (↓)	34,00	57,7	W2	Granito pouco alterado	Original - Topo
Bloco 5 (↓)	41,00	89,7	W1	Granito são	Rocha Reconstrução
Setor Norte (→)	48,50	105	W1	Granito são	Maciço
Setor Este (→)	40,70	88	W1	Granito são	Maciço
Setor Sul (→)	48,50	105	W1	Granito são	Maciço
Setor Oeste (→)	39,00	82	W2	Granito pouco alterado	Maciço

(→), (↓) orientação do Martelo de Schmidt.

4.3.2. Ensaio laboratoriais

O recurso a esta metodologia não dispensa, normalmente, os serviços de um fornecedor qualificado de inspeções e ensaios, dado que, desde logo, a seleção dos ensaios a realizar e do laboratório deve ser criteriosa. A recolha das amostras deve satisfazer determinados requisitos e, por fim, a interpretação dos resultados pode não ser simples e precisar de ser analisada no contexto da obra e articulada com outras informações, fornecidas, por exemplo, por outros ensaios, também em laboratório ou “*in situ*”^[40].

A informação obtida a partir de ensaios realizados “*in situ*” foi complementada através de ensaios realizados em laboratório, com blocos recolhidos no local de estudo.

4.3.2.1. Resultados do ensaio da resistência mecânica à compressão uniaxial (UCS)

De acordo com a metodologia recomendada pela ISRM (1981), apresentam-se os resultados obtidos dos ensaios nos diferentes provetes extraídos dos blocos (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Valores de resistência à compressão uniaxial (σ_c) dos provetes ensaiados.

Amostragem nº de provetes	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm ³)	Resistência à compressão uniaxial [σ_c] (MPa)
3 provetes extraídos (Bloco 1)	139	54	318,34	44,72
	139	54	318,34	52,01
	139	54	318,34	49,16
	Média			48,63
3 provetes extraídos (Bloco 2)	139	54	318,34	51,04
	139	54	318,34	53,12
	139	54	318,34	49,37
	Média			51,18
3 provetes extraídos (Bloco 3)	110	54	251,92	22,49
	110	54	251,92	21,86
	110	54	251,92	19,34
	Média			21,23
3 provetes extraídos (Bloco 4)	139	54	318,34	37,45
	110	54	251,92	36,84
	110	54	251,92	32,31
	Média			35,53
3 provetes extraídos (Bloco 5)	139	54	318,34	59,80
	139	54	318,34	63,11
	139	54	318,34	55,21
	Média			59,37

Dos 15 provetes ensaiados, os valores máximos de tensão à rotura foram registados dos provetes extraídos do bloco 5 ($\sigma_c = 59,37$ MPa). Os valores mínimos foram registados dos provetes extraídos do bloco 3 ($\sigma_c = 21,23$ MPa); Este valor anómalo poderá ficar a dever-se à geometria dos provetes ensaiados e ao seu estado de alteração (W3).

A Figura 4.53 apresenta os tipos de rotura registados após a realização dos ensaios mecânicos.



Figura 4.53 - Rotura dos corpos de prova após ensaio de resistência à compressão uniaxial.

4.3.2.2. Análise do ensaio de resistência à compressão uniaxial em laboratório e “*in situ*”

Considerou-se necessário apresentar uma comparação entre os resultados obtidos no ensaio com o Martelo de Schmidt “*in situ*”, com os ensaios realizados à compressão uniaxial em laboratório.

Como se verifica na Figura 4.54, os valores registados nos dois ensaios (“*in situ*” e em laboratório), estão dentro dos padrões esperados para cada tipo de bloco. Os valores mais elevados são registados no bloco 5 que é uma rocha de reconstrução; os valores mais baixos são registados no bloco 2 - rocha pertencente à base da muralha e supostamente original.

Os resultados obtidos no ensaio com Martelo de Schmidt, em qualquer um dos blocos, estão substancialmente acima dos obtidos no ensaio em laboratório, onde a diferença de resultados vai sendo mais significativa consoante a rocha se encontra mais ou menos alterada.

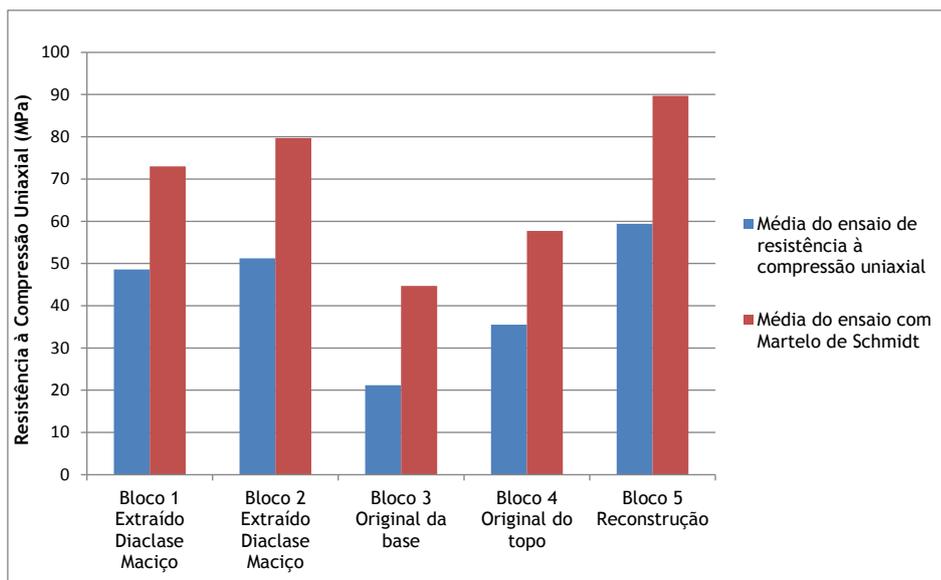


Figura 4.54 - Comparação entre a média de resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e ensaio com recurso ao martelo de Schmidt (MPa).

Na Figura 4.55 observa-se a elevada relação entre os dois métodos podendo verificar-se uma correlação com R^2 na ordem de 0,92.

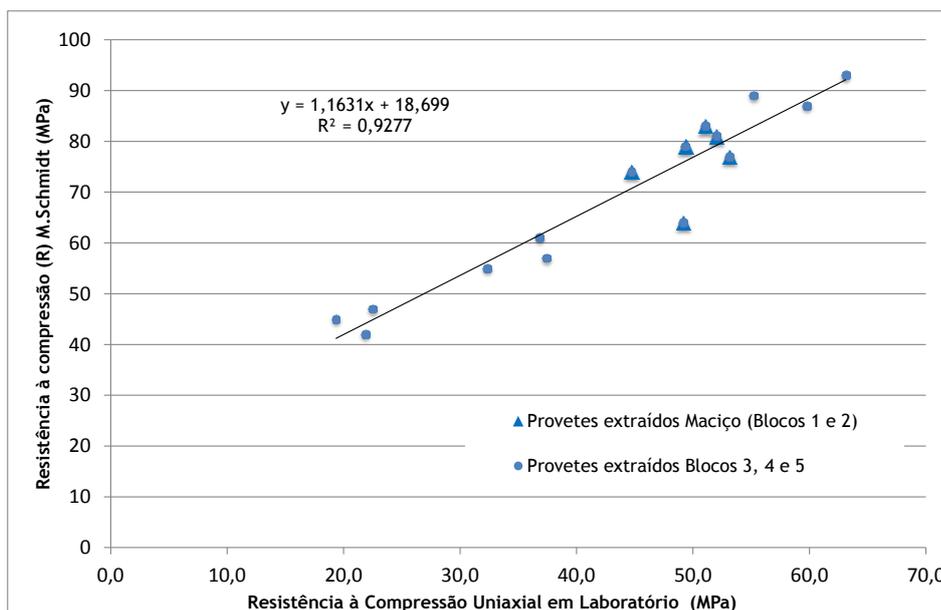


Figura 4.55 - Relação entre os valores obtidos de resistência à compressão uniaxial “*in situ*” e em laboratório.

4.3.2.3. Resultados do ensaio de velocidade de propagação de ondas de ultra-sons

Tratando-se de mais um ensaio não destrutivo, foram ensaiados 15 corpos de prova, como se observa na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - valores obtidos da velocidade de propagação de ultra-sons nos provetes ensaiados.

Amostragem nº provetes	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm ³)	Leitura de Ultra-sons	Velocidade Ultra- sons
				seco (µ.s) [□]	seco (m/s) [□]
3 provetes extraídos (bloco 1)	139	54	318,34	63,4	2192,4
	139	54	318,34	58,3	2384,2
	139	54	318,34	62,7	2216,9
	Média			61,5	2264,5
3 provetes extraídos (bloco 2)	139	54	318,34	56,7	2451,5
	139	54	318,34	54,3	2559,9
	139	54	318,34	64,2	2165,1
	Média			58,4	2392,2
3 provetes extraídos (bloco 3)	110	54	251,92	81,5	1349,7
	110	54	251,92	85,4	1288,1
	110	54	251,92	91,4	1203,5
	Média			86,1	1280,4
3 provetes extraídos (bloco 4)	139	54	318,34	94,7	1408,31
	110	54	251,92	75,8	1378,45
	110	54	251,92	72,3	1423,03
	Média			80,9	1403,3
3 provetes extraídos (bloco 5)	139	54	318,34	51,8	2683,4
	139	54	318,34	53,7	2588,5
	139	54	318,34	57,8	2404,8
	Média			54,4	2558,9

Dos 15 provetes ensaiados, os valores máximos de velocidade de ultra-sons foram registados dos provetes extraídos do bloco 5 ($V_p = 2558,9$ m/s).

Assim como já se tinha verificado nos corpos de prova do bloco 3 nos ensaios de resistência á compressão uniaxial, as tensões de rotura mais baixas, também neste ensaio se registam os valores mais baixos de velocidade de propagação de ultra-sons ($V_p = 1280,4$ m/s).

4.3.2.4. Análise do ensaio de resistência à compressão uniaxial e ensaio de velocidade de propagação de ultra-sons

No que respeita à relação existente entre os valores dos dois ensaios, a Figura 4.56 permite observar a existência de uma boa relação entre estas duas variáveis, R^2 de 0,8948.

Dado que, a velocidade de propagação de ultra-sons é tanto maior quanto mais denso for o material, uma vez que a onda se propaga por vibração das partículas sólidas que o constituem. Assim, é possível detetar alterações significativas nas características dos materiais ensaiados, através da variação da velocidade de transmissão. Os provetes que apontam valores destas duas variáveis mais baixas correspondem a um estado de alteração mais elevado.

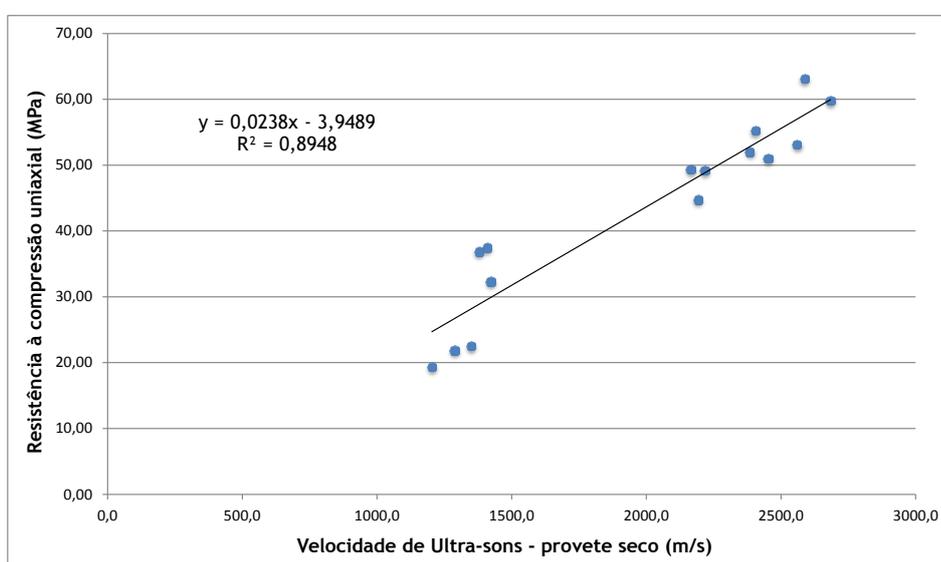


Figura 4.56 - Relação entre os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e a propagação da velocidade de ultra-sons (m/s).

4.3.2.5. Resultados do ensaio da absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente

Os provetes foram ensaiados de acordo com o método descrito no ponto 3.7. Os resultados obtidos apresentam-se Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Valores obtidos dos parâmetros, absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente dos provetes ensaiados.

Amostragem n° provetes	Massa do provete seco (m3) [g]	Massa do provete saturado (m2) [g]	Massa do provete imerso (m1) [g]	Absorção de água (%)	Porosidade aberta (%)	Densidade aparente [kN/m ³]
3 provetes extraídos (bloco 1)	819,60	835,40	510,10	1,59	3,29	25,32
	817,90	833,40	511,50	1,22	2,89	25,60
	822,50	836,40	514,50	1,61	3,22	25,43
	Média			1,47	3,13	25,45
	D. Padrão			0,22	0,21	0,14
3 provetes extraídos (bloco 2)	837,00	845,40	519,20	1,27	2,65	25,53
	814,90	823,60	506,20	1,14	2,74	25,65
	818,20	827,30	509,10	1,44	2,83	25,38
	Média			1,28	2,74	25,52
	D. Padrão			0,15	0,09	0,14
3 provetes extraídos (bloco 3)	628,60	648,60	389,10	3,18	7,71	24,20
	636,20	655,90	394,40	3,10	7,53	24,30
	623,30	643,40	389,00	3,22	7,90	24,48
	Média			3,17	7,71	24,33
	D. Padrão			0,07	0,18	0,14
3 provetes extraídos (bloco 4)	806,8	821,2	499,9	1,78	4,48	25,09
	644,4	656,2	399,1	1,83	4,59	25,07
	648,9	660,4	402,1	2,01	4,72	25,11
	Média			1,80	4,51	25,07
	D. Padrão			0,03	0,07	0,03
3 provetes extraídos (bloco 5)	812,80	826,00	504,20	1,07	2,63	25,67
	815,30	829,40	507,60	1,02	2,27	25,74
	817,30	829,80	510,20	1,19	2,72	25,46
	Média			1,09	2,54	25,63
	D. Padrão			0,09	0,24	0,15

Dos 15 corpos de prova ensaiados, os valores médios obtidos nos parâmetros da porosidade aberta mais elevados (7,7 %) registam-se nos 3 provetes do bloco 3. Os parâmetros de absorção de água e densidade aparente encontram-se em conformidade com a porosidade aberta. Para o primeiro parâmetro de absorção de água valor médio de 3,17 % e de densidade aparente de 24,33 kN/m³.

Estes valores vêm confirmar o grau de alteração do material (W3). Os valores mais baixos, para os parâmetros de absorção de água e porosidade aberta, registam-se nos corpos de prova do bloco 5, (1,0 % e 2,5 %, respetivamente), sendo a densidade aparente destes corpos de prova mais elevados (25,6 kN/m³), o que confirma o estado de alteração do material tendo ficado integrada no grupo classificado como rocha sã (W1).

4.3.2.6. Análise do ensaio de resistência à compressão uniaxial e ensaios de caracterização da absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente

Apresentam-se nas Figuras 4.57 e 4.58 a relação entre os parâmetros da resistência à compressão uniaxial com absorção de água e porosidade aberta. Pela análise dos gráficos, podemos observar as elevadas correlações encontradas, 0,92 quer para absorção de água quer para porosidade.

Os resultados estão dentro do esperado, visto que, tanto os valores da absorção de água como porosidade aberta vão aumentando consoante a alteração do material.

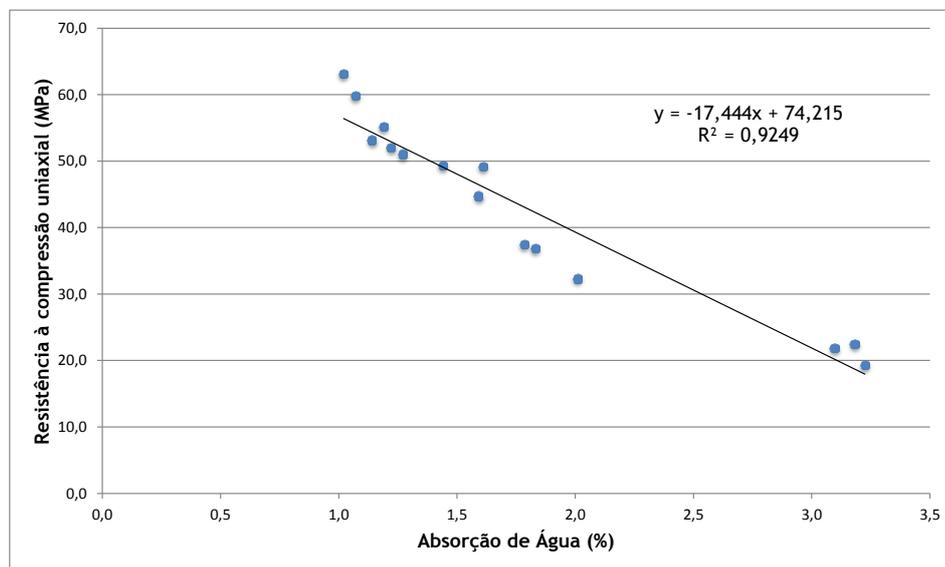


Figura 4.57 - Relação entre os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão uniaxial (MPa) e a absorção de água (%).

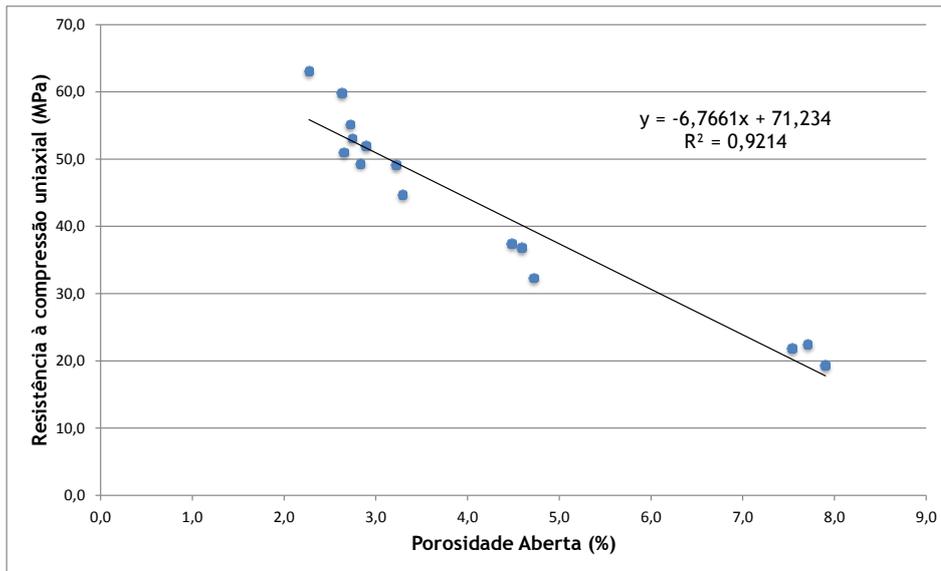


Figura 4.58 - Relação entre os valores obtidos da resistência à compressão uniaxial (MPa) e porosidade aberta (%).

No que respeita à densidade aparente do material, verifica-se na Figura 4.59 uma correlação na ordem de um R^2 0,91 para o mesmo grupo de provetes.

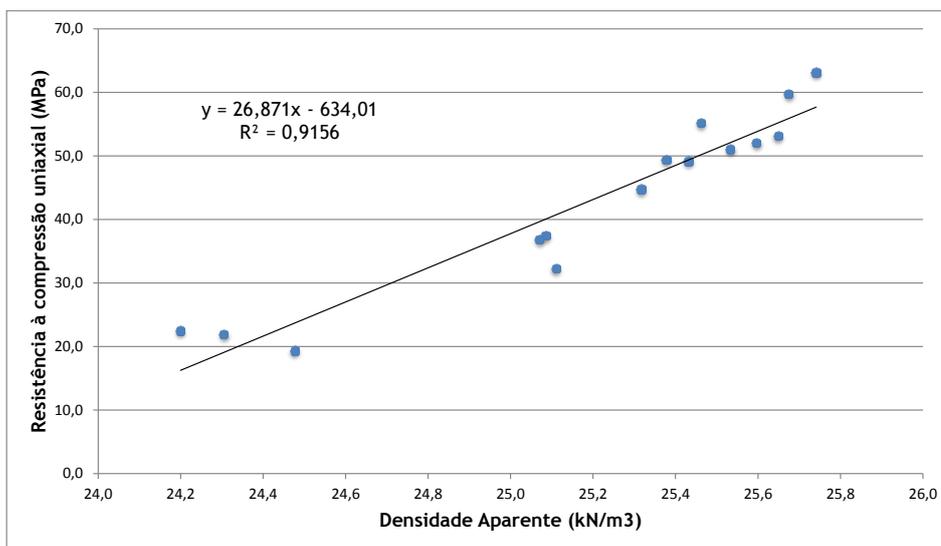


Figura 4.59 - Relação entre os valores da resistência à compressão uniaxial (MPa) e densidade aparente (kN/m^3).

4.3.2.7. Resultados e análise do ensaio *Tilt test*, coeficiente de rugosidade da rocha e tensão de corte

Ângulo de atrito básico (ϕ_b)

Conforme descrito na metodologia, foram realizados 30 ensaios do *tilt test* para o mesmo conjunto de provetes. Durante o ensaio, e como forma de obter um ângulo de atrito básico (ϕ_b) com menor erro, foi-se alternando a direção do plano de deslizamento dos corpos de prova, para que fossem corrigidas quaisquer irregularidades em relação a possíveis estruturas nos corpos, que alterassem o valor do ângulo de deslizamento. Trata-se basicamente, de um ensaio de corte direto, executado num plano com inclinação variável, sob baixas tensões normais. A Figura 4.60 mostra a realização do respetivo ensaio.



Figura 4.60 - Ensaio *tilt test* realizado em laboratório com equipamento construído pelo autor.

A análise de todos os provetes ensaiados, indica um valor médio de ângulo de atrito básico das juntas (ϕ_b) de $36,35^\circ$. Este valor está dentro do intervalo admitido por Vallejo (2002), que para este tipo de rocha, com paredes planas e de baixo grau de alteração, vai de 29° a 38° .

Coeficiente de rugosidade (JRC) e ângulo de atrito residual (ϕ_r)

O ângulo de atrito residual, contabilizando todos os provetes, estimou-se de acordo a expressão (9) do ponto 3.8 da metodologia um valor médio de $28,71^\circ$. Com base na expressão (8) do mesmo ponto, determinou-se um coeficiente de rugosidade das juntas (JRC) médio de 4 a 6. O perfil de rugosidade das fraturas enquadra-se no tipo “plana rugosa” segundo ISRM

(1981). Segundo Barton et al (1990), os valores de JRC são inferiores a 10, permitindo assim a execução deste tipo de ensaio, validando o método selecionado.

Resistência ao corte da rocha (τ)

Com o registo dos valores atrás obtidos, foi possível obter os valores da tensão de corte. Apresenta-se uma grande variação de valores, registando um valor mínimo de 19,32 MPa e um máximo de 58,5 MPa.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados de cada provete ensaiado de acordo com o ângulo de atrito básico (ϕ_b) através do *tilt test*, ângulo de atrito residual (ϕ_r) [1], coeficiente de rugosidade das diaclases (JCR) [39] e a tensão de corte (τ) [37].

Tabela 4.7 - Resultados do ângulo de atrito básico (ϕ_b), ângulo de atrito residual (ϕ_r), coeficiente de rugosidade (JCR) e tensão de corte (τ) referentes aos provetes ensaiados.

	ϕ_b (°)	ϕ_r (°)	JCR	τ [MPa]
Provetes Bloco 1	35,54 ± 1,65	27,90	4,61	41,94
			4,91	48,81
			5,87	46,13
Média			5,13	45,63
Provetes Bloco 2	35,97 ± 1,63	28,33	4,70	48,64
			5,27	50,62
			4,77	47,04
Média			4,91	48,77
Provetes Bloco 3	37,75 ± 2,67	29,66	3,66	22,46
			3,98	21,83
			3,29	19,32
Média			3,64	21,20
Provetes Bloco 4	37,31 ± 1,90	30,10	5,03	37,98
			4,62	37,36
			4,49	32,76
Média			4,71	36,03
Provetes Bloco 5	35,18 ± 1,30	27,54	5,26	55,44
			5,19	58,50
			4,75	51,19
Média			5,07	55,04

4.3.2.8. Análise de resultados do ensaio de deslizamento

Da análise obtida para as tensões normais (σ_n) e tensões de corte (τ), a Figura 4.61, representa, para os provetes ensaiados, o diagrama com a representação dos pontos de (σ_n , τ), para valores de tensão residual onde se traçou uma reta (Mohr-Coulomb) por regressão linear. Com base nesta reta é possível determinar os parâmetros que caracterizam a resistência ao corte da fratura, nomeadamente o ângulo de atrito residual (ϕ_r), e coesão residual (C_r).

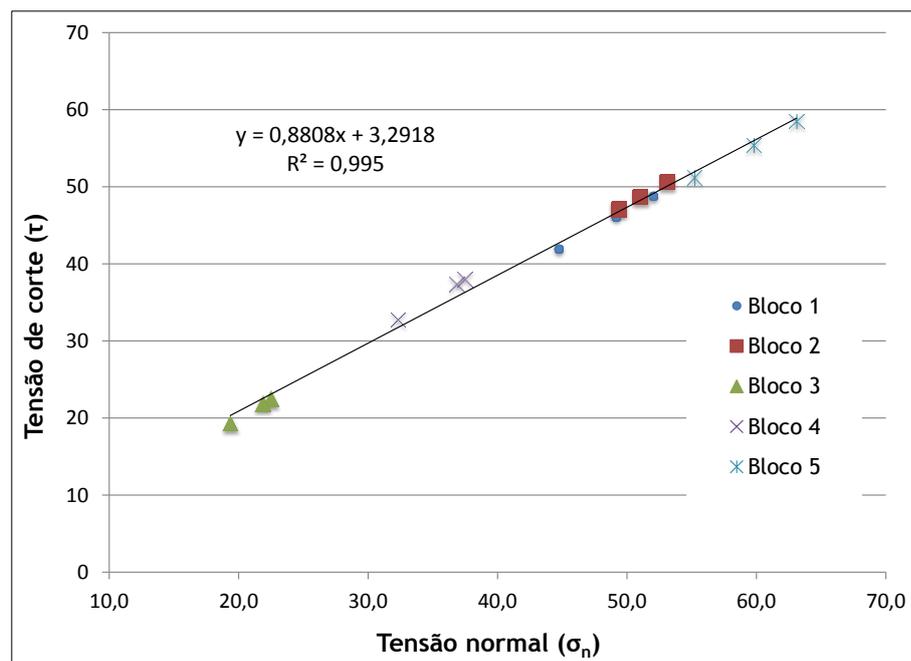


Figura 4.61 - Diagrama de tensões tangenciais - tensões normais, para os provetes ensaiados.

Verifica-se uma boa relação (R^2 de 0,99) entre as tensões tangenciais e tensões normais.

4.3.2.9. Resultados da análise granulométrica

Na Figura 4.62 apresentam-se os resultados da análise granulométrica do solo de fundação do setor Norte. Trata-se de um solo bem graduado, não plástico com uma percentagem de finos inferior a 10 %. De acordo a classificação AASHTO trata-se de um solo tipo A-1b (0).

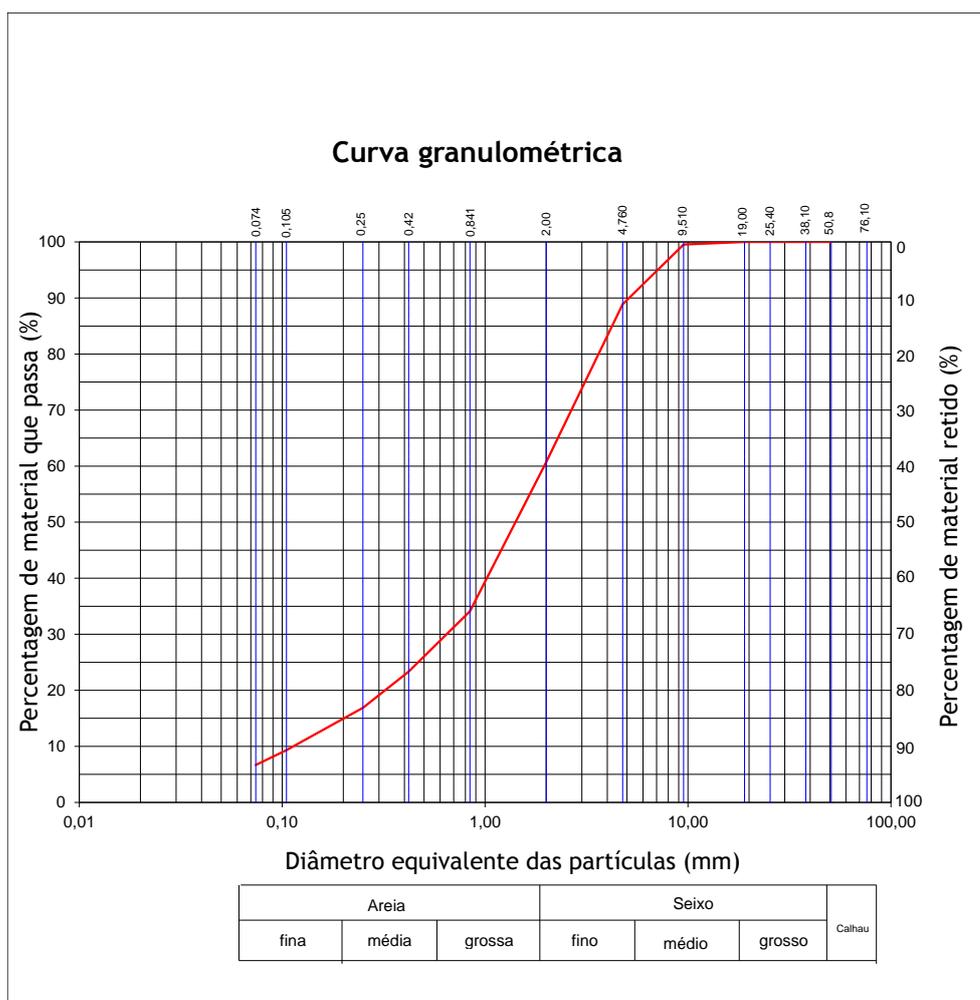


Figura 4.62 - Análise granulométrica do solo de fundação do setor norte.

4.3.2.10. Resultados do equivalente de areia

O ensaio do equivalente de areia seguiu a especificação (LNEC E 199-1967). Os valores obtidos do equivalente de areia foram de 71,5 % com uma diferença entre o primeiro e o segundo ensaio de 1 %.

4.3.3. Zonamento geotécnico

De acordo com a litologia existente, os parâmetros físico-mecânicos realizados ao longo deste estudo, elaborou-se a Tabela 4.9, que permitiu realizar um zonamento geotécnico da fundação da muralha em duas zonas distintas:

- Zona geotécnica I (ZGI) e zona geotécnica II (ZGII).

A zona ZGI corresponde a uma parte da fundação no maciço granítico de grão medio a grosseiro, bastante fraturado, como se mostra nas Figuras 4.63 e 4.64. Encontra-se no setor Norte, Sul, Este e Oeste. A zona ZGII corresponde a uma parte da fundação assente em solo arenoso do tipo A-1b (0), encontrando-se no setor Norte.



Figura 4.63 - Identificação das diferentes zonas geotécnicas estudadas (setor Norte).



Figura 4.64 - Identificação das diferentes zonas geotécnicas estudadas (setor Este e Sul).

Tabela 4.8 - Litologia e parâmetros físico-mecânicos do zonamento geotécnico da fundação.

Zonas	Litologia	Absorção de água (%)	Porosidade aberta (%)	Densidade (kN/m ³)	Velocidade Ultra-sons (m/s)	Resistência compressão uniaxial (MPa)	Resistência compressão uniaxial [Martelo Schmidt]	Espaçamento médio diaclases (mm)	Abertura média diaclases (mm)	Equivalente de areia (%)	Classificação solo segundo AASHTO	Grau alteração	Aptidão Geotécnica
Zona Geotécnica I	Rocha granítica (grão médio a grosseiro)	1,1 a 3,2	2,5 a 7,7	24,3 a 25,6	1280 a 2559	21,2 a 59,3	43,3 a 89,7	F2 - (1893,0)	31,0	-	-	W1 a W3	Razoável a bom
Zona Geotécnica II	Solo	-	-	19,0	-	-	Sem registo	-	-	71,5	A-1b (0)	W5	Excelente