

## Tipos e amplitudes dos erros e desvios de perfuração em maciços rochosos fracturados

JOSÉ MIGUEL DOMINGUES DO PAÇO RIBEIRO  
Outubro de 2016





**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



## **Tipos e amplitudes dos erros e desvios de perfuração em maciços rochosos fracturados**

**José Miguel Domingues do Paço Ribeiro**



**2016**

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

## **Tipos e amplitudes dos erros e desvios de perfuração em maciços rochosos fracturados**

**José Miguel Domingues do Paço Ribeiro**

**1090512**

*Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Engenheiro Luís Carlos Ramos, Assistente convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e co-orientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

*Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

*Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Mestre Luís Carlos Correia Ramos

*Director de Produção, Grupo Elevo SA, Porto*

*Assistente convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Mestre Luís Filipe Santos Fonseca

*Director de Produção, Grupo Elevo SA, Porto*

---

A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, pelo Licenciado **José Miguel Domingues do Paço Ribeiro**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 15 de Novembro de 2016 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **13 (treze) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.

---

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador Engenheiro Luís Ramos (ElevoGroup e DEG|ISEP), manifesto o meu reconhecimento pela forma empenhada e pela disponibilidade que sempre demonstrou, quer nas deslocações ao terreno quer no trabalho em gabinete;

Ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP) o meu agradecimento pela disponibilidade e empenho demonstrados ao longo de todo o estudo e partilha de documentação bibliográfica;

Ao director do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP), Professor Helder I. Chaminé, por me possibilitar as horas lá passadas e que sem dúvida tiveram enorme reflexo neste trabalho final. Um agradecimento especial à Dra Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP) pela preciosa ajuda na formatação final da dissertação;

À Empresa Secil-Britas S.A., pela oportunidade da realização do trabalho de campo no maciço rochoso da pedreira da Curviã n.º 2 (Joane, V.N. de Famalicão) e ao Engenheiro João Ribeiro e Engenheiro Sérgio Moreira, pela disponibilidade e acompanhamento sempre que necessário;

Ao meu colega e amigo, Engenheiro Diogo Silva que me facultou sempre os trabalhos por ele realizados e que foram um complemento essencial para que todo o estudo posteriormente realizado fizesse sentido;

E por último a todos os que fazem parte do departamento de engenharia geotécnica e que me transmitiram os conhecimentos necessários para que esta dissertação fosse possível.

(página propositadamente em branco)

## **Palavras-chave**

Maçiços Rochosos, descontinuidades, desvios, perfuração

## **Resumo**

Sendo a perfuração a primeira operação no processo de transformação, todas as etapas seguintes dependem em grande parte da maior ou menor qualidade com que é executada. Depende de vários factores entres os quais humanos e ligados ao próprio maciço, que condicionam a linearidade do furo. Para esta tese, numa primeira fase, foi feito um estudo individual aos dados recolhidos a partir de software (Dips), aos desvios ocorridos em cada furo nas duas pegadas analisadas. No entanto, assim como a perfuração é apenas uma fase no processo de transformação, também cada furo analisado faz parte de um sistema maior e complexo, de que fazem parte várias componentes, em que estão incluídos não só os desvios em cada furo, como também a influência entre furos adjacentes e que condicionam largamente o resultado final do desmonte. Assim sendo, numa segunda fase deste trabalho, tentou-se conciliar toda a informação recolhida em gráficos de dispersão e de modelação dos taludes finais bem como modelos de superfície de forma a fazer uma previsão ao resultado final após o desmonte. As consequências são demais evidentes levantando problemas técnicos e económicos sendo de prever problemas de segurança com probabilidade elevada de projecções ou, em ordem inversa, a necessidade de recorrer a fragmentação secundária de forma a que o material seja admitido no primário.

(página propositadamente em branco)

**Keywords**

Rock masses, discontinuities, drilling, deviations

**Abstract**

As the drilling operation is the first transformation process, all subsequent steps depend largely on the greater or lesser quality that it is performed. It depends on several factors which includes humans as the rock itself, which affects the linearity of the hole. For this thesis, initially, was made an individual study of the data collected from the software Dips, to the deviations in each hole of both benches. However, as the perforation is only one stage in the complex transformation process, each hole examined is part of a larger and complex system that are composed of several components which includes not only the deviations in each hole, as well as the influence between adjacent holes and largely determine the outcome of the dismount. Thus, in a second phase of this work, the main objective was trying to reconcile all the information collected in scatter plots and modeling of the final slope and models surface in order to have a forecast of the final result after the blast. The consequences are obvious, including technical and economic issues as the risk of projections or, in reverse order, the needed for secondary fragmentation so that the material is admitted on the primary.

(página propositadamente em branco)

---

## Índice

1.	Introdução .....	3
1.1.	Âmbito e enquadramento .....	3
1.2.	Delimitação do tema .....	3
1.3.	Objectivos.....	5
1.4.	Organização da dissertação.....	6
1.5.	Metodologias e Técnicas .....	7
2.1.	Considerações iniciais.....	21
2.2.	Matriz rochosa vs descontinuidades .....	22
2.3.	Parâmetros geológico-geotécnicos das descontinuidades .....	26
3.	Perfuração vs desvios: caracterização, descrição e problemática .....	29
3.1.	Tipos de desvios.....	35
3.2.	Parâmetros intervenientes na génese do tipo e dimensão dos desvios de perfuração .....	41
3.2.1.	Ferramentas de execução .....	41
3.2.1.1.	Equipamento de perfuração .....	42
3.2.2.	Geometria do diagrama de fogo.....	49
3.2.3.	Outros parâmetros de avaliação.....	51
3.3.	Medição dos desvios .....	52
3.3.1.	Boretrak .....	53
4.	Enquadramento/caracterização geológico-geotécnica do maciço rochoso da pedreira da Curviã nº2 57	
4.1.	Introdução.....	57
4.2.	Enquadramento Geográfico .....	57
	Vias de acesso .....	58
4.3.	Enquadramento geológico .....	59
4.4.	Caracterização geral do maciço em estudo.....	61
4.4.1.	Caracterização do material rochoso.....	64

---

5.	Desvios de Perfuração .....	79
5.1	Emboquilhamento.....	79
5.1.1.	1ª Pega.....	80
5.1.2.	2ª Pega.....	86
5.2.	Desvio Pontual .....	88
5.2.1.	Desenvolvimento dos furos de P1.....	89
5.2.2.	Desenvolvimento dos furos de P2.....	92
5.3.	Desvio de Flexão .....	97
5.4.	Influência dos vários factores abordados nos desvios verificados .....	99
5.4.1.	Análise das percentagens de desvio em x para P1 .....	99
5.4.2.	Análise das percentagens de desvio em y para P1.....	102
5.5.	Dispersão de Pontos .....	105
5.5.1.	1ª Pega.....	106
5.5.2.	2ªPega .....	110
5.6.	Análise da trajectória de perfuração .....	113
5.6.1.	Análise a P1 .....	114
5.6.2.	Análise a P2 .....	121
6.	Conclusões .....	129
7.	Referências Bibliográficas .....	135

---

## Índice de Figuras

Figura 1. Esquema das relações entre a caracterização do maciço rochoso e classificações geotécnicas e geomecânicas para a escavabilidade dos maciços; a descrição da maioria dos ensaios geomecânicos foi efectuada no capítulo de metodologias (adaptado de Sandvik-Tamrock, 1999). In: Galiza (2013). ....	4
Figura 2. Representação esquemática dos desvios por emboquilhamento (dc), alinhamento (da), flexão (dd) e por verticalidade (dz) (In Olsen, 2009). ....	6
Figura 3. Exemplo de aplicação da base de dados ScanGeoData BGD (Basic Geotechnical Description of Rock Masses) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010) e exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData UCS (Uniaxial Compressive Strength) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010). ....	16
Figura 4. Importância da aproximação entre a mecânica das rochas e da geologia de engenharia, discutida na GeoEng 2000 (adaptado de Palmstrom, 2001). ....	22
Figura 5. Faseamento conceptual da importância da geomecânica em estudos de engenharia de maciços (In Galiza 2013). ....	22
Figura 6. Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). In: Ramos (2008). ....	26
Figura 7. Diferentes etapas da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Tamrock Excavation Handbook). ....	29
Figura 8. Factores que influenciam a perfurabilidade das rochas (adaptado de Thuro, 1997). ....	30
Figura 9. Parâmetros Geológicos que influenciam a perfurabilidade (K. Thuro,1997). ....	30
Figura 10. Mecanismo de fracturação da rocha (Gomes et al., 2007). ....	31
Figura 11. Fragmentação em pedreiras (adpatado de Atlas Copco). ....	32
Figura 12. Exemplo do benefício económico de uma perfuração alinhada (Galiza et al., 2011a,b,c; Galiza, 2013). ....	33
Figura 13. Esquematização do comportamento do desvio do furo em relação ao ângulo de intersecção com as descontinuidades do maciço rochoso (Ramos, 2008). ....	34
Figura 14. Exemplo de posicionamento dos furos à superfície (a vermelho) e à cota pretendida (a azul) (Galiza, 2013). ....	35
Figura 15. Esquematização do comportamento do desvio do furo em relação ao ângulo de intersecção com as descontinuidades do maciço rochoso (In Galiza, 2013). ....	37
Figura 16. Distância à frente em função da frente livre (adptado de Olsen, 2009). ....	40
Figura 17. Parâmetros influentes na análise da origem dos desvios de perfuração (adaptado de Ramos, 2008; Fonseca,2008). ....	41
Figura 18. Display do equipamento de controlo da coluna de perfuração (“Tamrock Ranger 600”) (In Ramos, 2008). ....	43
Figura 19. Selecção do método de perfuração em função da dureza da rocha e diâmetro do furo (Sandvik – Tamrock, 2009). ....	44

---

Figura 20. Ciclo de perfuração (Fonseca, 2010) in Galiza, 2013. ....	49
Figura 21. Enquadramento geográfico da pedreira em estudo. ....	58
Figura 22. Enquadramento geológico da pedreira da curviã nº2. ....	60
Figura 23. Esboço geológico local da área da pedreira da Curviã n.º 2 e envolvente (Adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986). ....	61
Figura 24. Diagramas geológico-estruturais: diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=582) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15 ° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10° [. ....	62
Figura 25. Grau de alteração do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	65
Figura 26. Tipo de descontinuidade presente no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	65
Figura 27. Grau de Fracturação “Fracture Intercept” no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	66
Figura 28. Tipo de abertura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	68
Figura 29. Continuidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	69
Figura 30. Tipo de terminação das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	69
Figura 31. Tipo de curvatura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	70
Figura 32. Rugosidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	71
Figura 33. Tipos de enchimento/preenchimento das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	72
Figura 34. Presença de água nas descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	72
Figura 35. Análise das classes de resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) - (codificação das classes de resistência (S – “Strenght”, segundo a ISRM, 1981). ....	74
Figura 36. Esquema para a definição do ângulo $\alpha$ . ....	80
Figura 37. Desenvolvimento de F2 segundo y. ....	83
Figura 38. Desenvolvimento de F2 segundo x. ....	84
Figura 39. Desenvolvimento de F35 em y. ....	85
Figura 40. Desenvolvimento de F35 em x. ....	85
Figura 41. Desenvolvimento de F14 em x para P1. ....	95

---

Figura 42. Desenvolvimento de F14 em y para P1.....	96
Figura 43-Desenvolvimento de F15 em x para P1.....	97
Figura 44. Desenvolvimento de F30 em x para P1.....	98
Figura 45. Desenvolvimento de F30 em y para P2.....	99
Figura 46. Esquematização dos desvios em x.....	100
Figura 47. Esquematização dos desvios em y.....	102
Figura 48. Dispersão de pontos em P1.....	106
Figura 49. Projecção lateral de todos os furos de P1.....	107
Figura 50. Projecção frontal de todos os furos de P1.....	108
Figura 51. Representação das famílias de descontinuidade e um plano médio dos furos em P1.....	109
Figura 52. Dispersão de pontos para P2.....	110
Figura 53. Projecção Lateral de todos os furos de P2.....	111
Figura 54. Projecção frontal de todos os furos de P2.....	112
Figura 55. Representação das famílias de descontinuidade e um plano médio dos furos em P2.....	113
Figura 56. Disposição teórica inicial dos furos de P1.....	114
Figura 57. Disposição em planta lateral dos furos da 1ª fiada de P1.....	115
Figura 58. Disposição em plano lateral dos furos da 2ª fiada de P1.....	115
Figura 59. Disposição em plano lateral dos furos da 3ª fiada de P1.....	115
Figura 60. Disposição em planta inicial e final, dos furos de P1.....	116
Figura 61. Esquematização do cálculo dos volumes para a 1ª fiada em P1.....	117
Figura 62-Modelo de superfície teórico em P1 após o desmonte.....	119
Figura 63. Modelo representativo dos taludes finais obtidos.....	120
Figura 64. Disposição inicial teórica dos furos de P2-.....	121
Figura 65. Disposição em plano lateral dos furos da 1ª fiada de P2.....	121
Figura 66. Disposição em plano lateral dos furos da 2ª fiada de P2.....	121
Figura 67. Disposição em plano lateral dos furos da 3ª fiada de P2.....	122
Figura 68. Disposição em plano lateral dos furos da 4ª fiada de P2.....	122
Figura 69. Disposição em plano lateral dos furos da 5ª fiada de P2.....	122
Figura 70-Disposição em planta, inicial e final, dos furos de P2.....	123
Figura 71. Modelo de superfície teórico em P2 após o desmonte-.....	124
Figura 72. Modelo 3D.....	125

---

(Página propositadamente em branco)

---

## Índice de Quadros

Quadro 1. Caracterização Técnica de Amostragem Linear, “Scanline Sampling Technique” (adaptado de: Brady & Brown, 2004; Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al. 2013, 2014). (In Silva 2014) ...	8
Quadro 2. Ficha de levantamento geológico-geomecânico para a técnica de amostragem linear segundo a ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995). .....	9
Quadro 3. Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951, Aydin & Basu, 2005; ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011. (In Silva, 2014) .....	10
Quadro 4. Ficha de levantamento Geomecânico do Esclerómetro Portátil (Martelo de Schmidt, Proceq, tipo L) segundo a ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995). .....	11
Quadro 5. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 1 (Adaptado de ISRM, 2007). (In Silva, 2014) .....	12
Quadro 6. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 2 (Adaptado de ISRM, 2007). (In Silva, 2014) .....	13
Quadro 7. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 3 (Adaptado de ISRM, 2007).(In Silva, 2014) .....	14
Quadro 8. Ficha do ensaio de resistência à carga pontual (ISRM, 2007). .....	15
Quadro 9. Tabela de dados a partir das leituras efectuadas com o equipamento Boretrak. ....	17
Quadro 10. Maciços rochosos – Parte 1 (adaptado de Sodr�e Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011). .....	24
Quadro 11. Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 2 (adaptado de Sodr�e Borges, 2002; Price, 2009; González de Vallejo & Ferrer, 2011). .....	25
Quadro 12. Erro de execu�o da perfura�o, causas e eventuais medidas de correc�o (Ramos, 2008). .....	38
Quadro 13. Influência das descontinuidades nos desvios por flexão (adaptado de Olsen, 2009). .....	39
Quadro 14. Erro de flexão (adaptado de Olsen, 2009). .....	40
Quadro 15. Ferramentas de execu�o (adpatado Ramos 2008). .....	42
Quadro 16. Matriz de avalia�o dos equipamentos de perfura�o (Ramos, 2008). .....	43
Quadro 17. Diferentes métodos de perfura�o (Gomes et al, 2007; Ingersoll Rand, 1999). .....	45
Quadro 18. Matriz de avalia�o dos acessórios de perfura�o (Ramos, 2008; Galiza, 2013). .....	46
Quadro 19. Parâmetros de regula�o da perfura�o (adaptado de Gomes et al, 2007 e catálogo Atlas Copco). .....	47
Quadro 20. Parâmetros do diagrama de fogo (Ramos, 2008). .....	50
Quadro 21. Matriz de avalia�o do operador, parâmetros de regula�o, emboquilhamento e regularidade (Ramos, 2008). .....	51
Quadro 22. Constitui�o e caracteriza�o do equipamento Boretrak (adpatado de <a href="http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak">http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak</a> ; Fonseca, 2008; Galiza, 2013). .....	53

---

Quadro 23. Ilustração esquemática, e modo de operação do equipamento Boretrak (adpatado de <a href="http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak">http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak</a> ; Fonseca 2008; Galiza, 2013).....	54
Quadro 24. Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação. ....	63
Quadro 25-Resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração (CICCOPN, 2010) in Dias, 2013. ....	64
Quadro 26. Espaçamento médio das descontinuidades para o maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).....	67
Quadro 27. Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades presentes nos 6 patamares estudados (n=582) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga). ....	75
Quadro 28. Erros de emboquilhamento nos três planos analisados para P1. ....	81
Quadro 29. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em x para P1.....	81
Quadro 30. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em y para P1. ....	82
Quadro 31-Análise estatística aos erros de emboquilhamento em $\alpha$ para P1.....	82
Quadro 32. Erros de emboquilhamento nos três planos analisados para P2. ....	86
Quadro 33. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em x para P2.....	87
Quadro 34-Análise estatística aos erros de emboquilhamento em y para P2. ....	87
Quadro 35. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em $\alpha$ para P2. ....	87
Quadro 36. Erros pontuais em x para P1.....	89
Quadro 37. Análise estatística aos erros pontuais em x para P1. ....	90
Quadro 38-Erros pontuais em y para P1. ....	90
Quadro 39. Análise estatística aos erros pontuais em x para P1. ....	91
Quadro 40. Erros pontuais em $\alpha$ para P1. ....	91
Quadro 41-Análise estatística aos erros pontuais em $\alpha$ para P1.....	92
Quadro 42. Erros pontuais em x para P2.....	92
Quadro 43. Análise estatística aos erros pontuais em x para P2. ....	93
Quadro 44-Erros pontuais em y para P2. ....	93
Quadro 45. Análise estatística aos erros pontuais em y para P2. ....	94
Quadro 46. Erros pontuais em $\alpha$ para P2. ....	94
Quadro 47. Análise estatística aos erros pontuais em $\alpha$ para P2.....	95
Quadro 48. Tabela resumo com os erros laterais verificados em P1. ....	101
Quadro 49. Tabela resumo com os erros frontais verificados em P1. ....	104
Quadro 50.Quadro resumo da análise das percentagens de desvio para P1 e P2. ....	105
Quadro 51. Cálculo dos volumes teórico e real da 1ª fiada para P1. ....	117
Quadro 52. Quadro resumo do volume teórico e real de P1. ....	118
Quadro 53. Quadro resumo do volume teórico e real de P2. ....	123

---

## **1 - Introdução**

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

## **1. Introdução**

### **1.1. Âmbito e enquadramento**

O presente documento insere-se na Unidade Curricular da Dissertação/Estágio/Projecto, do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto.

A elaboração e defesa pública deste documento em formato “Dissertação”, são imperativos para a conclusão do 2.º ciclo de estudos e consequente obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Por razões de índole académica e logística funcional, a presente dissertação utiliza bases de dados geológico-geomecânicas e de engenharia de desmonte. Estes trabalhos enquadram-se parcialmente, na investigação de doutoramento do Engenheiro Luís Ramos, a realizar na FCTUC.

### **1.2. Delimitação do tema**

Só a partir de meados do Século XX foi encarado com especial interesse o estudo do comportamento geomecânico dos maciços rochosos e, em particular, do material-rocha para fins de engenharia (González de Vallejo & Ferrer, 2011). Os trabalhos científicos até então centravam-se, sobretudo, no estudo da mecânica das rochas superficiais brandas, não consolidadas e/ou nos materiais desagregados vulgarmente designados por solos.

Na indústria extractiva e transformadora de maciços rochosos (figura1), em particular na produção de agregados, o desmonte do maciço é a operação de destaque de uma porção, mais ou menos representativa, do material rochoso que o constitui e envolve uma série de operações que assumem um papel de extrema importância como é o caso da perfuração que se encontra no “topo da pirâmide”, relativamente à cronologia de execução de todos os processos que culminam no produto final, tornando-se a otimização desta atividade fundamental, pois tem consequência direta no seu resultado técnico-económico e na interligação com as atividades subsequentes, nomeadamente: i) carregamento – detonação; ii) fragmentação secundária; iii) carga – transporte e iv) britagem. Logo, o resultado destas está intimamente ligado ao sucesso de uma boa perfuração do maciço (Galiza et al., 2008, 2011a,b; Galiza, 2013).

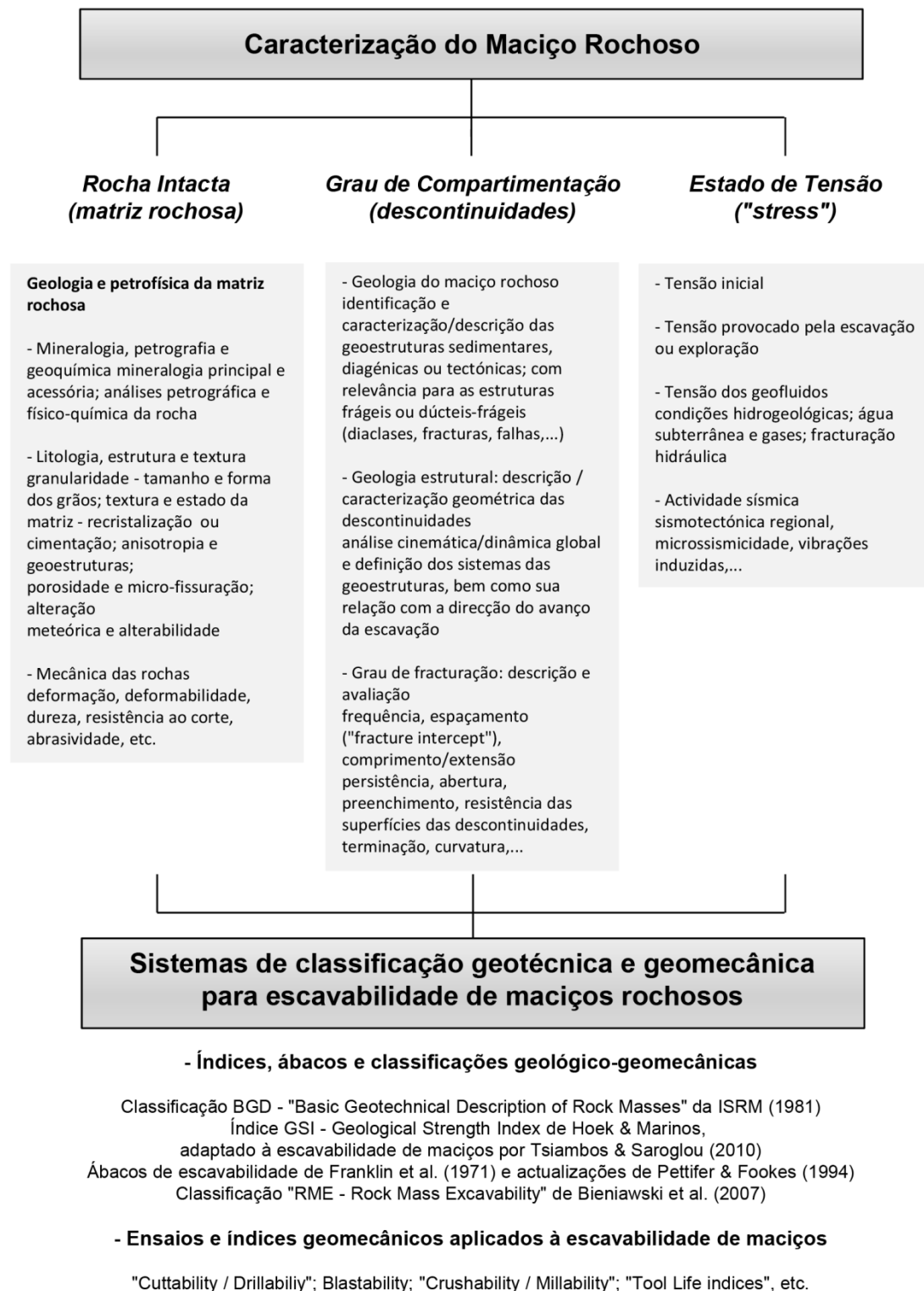


Figura 1. Esquema das relações entre a caracterização do maciço rochoso e classificações geotécnicas e geomecânicas para a escavabilidade dos maciços; a descrição da maioria dos ensaios geomecânicos foi efectuada no capítulo de metodologias (adaptado de Sandvik-Tamrock, 1999). In: Galiza (2013).

---

### 1.3. Objectivos

Com o trabalho em questão, pretendeu-se identificar, caracterizar e quantificar os desvios associados à operação de perfuração, avaliar a dimensão real dos desvios ocorridos individualmente, ou seja, em cada furo, mas também numa perspectiva global, sendo que o resultado final do desmonte depende muito da influência entre furos adjacentes. O desvio total irá aumentar à medida que os factores que influenciam o desvio são adicionados ao sistema (figura 2). O vetor resultante irá assim traduzir assim a influência desses mesmos desvios, evidenciando a importância da caracterização geológico-estrutural e geomecânica bem como uma correcta avaliação dos desvios associados a erros de execução da perfuração e/ou erros motivados pelas condicionantes da própria bancada (regularidade e limpeza da bancada). Numa fase final da análise aos desvios ocorridos nas duas pegs, resulta um modelo de previsão final da bancada após o desmonte.

Assim sendo e de forma sintetizada, nesta tese tentou-se:

- Fazer uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço rochoso;
- identificar os tipos de erro verificados em P1 e P2, caracterizar e quantificar os mesmos;
- Comparar, a partir de uma análise percentual, os desvios provocados pelo emboquilhamento e por erros pontuais no desenvolvimento do furo, em P1 e P2 e entre ambas as pegs.
- Analisar a disposição final da perfuração em planta;
- Identificar as principais famílias de descontinuidades e enquadrar com um plano teórico representativo da perfuração em P1 e P2
- Relacionar os volumes teórico e real tendo em conta as diferenças de cota na perfuração
- Elaborar um modelo de superfície e 3D que reflita os dados abordados nesta tese

Este trabalho foi desenvolvido, essencialmente, em duas fases complementares. Uma primeira fase, referente ao trabalho de campo, com a consequente recolha, processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço rochoso da pedreira em estudo e área envolvente. Uma segunda fase em que, através da realização de ensaios Boretrak (medição dos desvios de perfuração) e do registo de parâmetros ligados ao diagrama de fogo, ao equipamento e aos acessórios de perfuração, e a outras

---

condicionantes relevantes para o estudo dos desvios de perfuração, é possível actuar ao nível da operação de desmonte de forma a potenciar a sua qualidade e optimização.

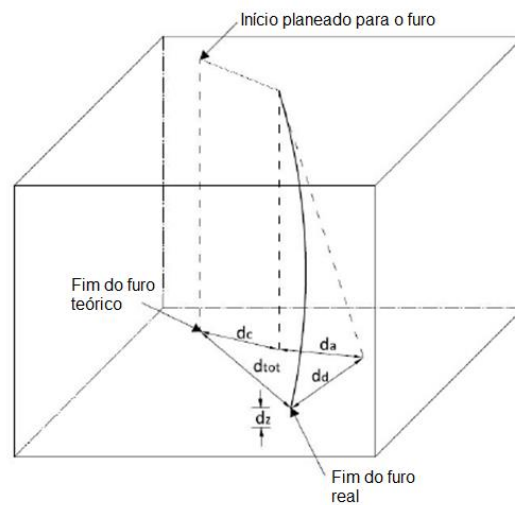


Figura 2. Representação esquemática dos desvios por emboquilhamento ( $d_c$ ), alinhamento ( $d_a$ ), flexão ( $d_d$ ) e por verticalidade ( $d_z$ ) (In Olsen, 2009).

#### 1.4. Organização da dissertação

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

- O presente capítulo introdutório onde se contextualiza o trabalho referindo o âmbito em que este se insere com a apresentação dos principais objectivos, metodologias e técnicas (técnicas de campo, de laboratório e ferramentas informáticas) utilizadas;
- O capítulo 2 apresenta o suporte teórico às principais noções, metodologias e técnicas relacionadas com o desmonte de maciços rochosos: anisotropias, compartimentação e comportamento geomecânico. Aborda-se uma série de temáticas no âmbito da: i) caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos; ii) caracterização, descrição e problemática associada aos desvios de perfuração; iii) parâmetros intervenientes na génese do tipo e dimensão dos desvios de perfuração; iv) métodos e modos de medição dos desvios de perfuração.

- 
- O capítulo 3 reporta o caso prático, i.e., a análise com software próprio, aos desvios ocorridos durante a perfuração no maciço rochoso da Curviã (Joane), identificando a tipologia bem como a dimensão dos mesmos e a sua influência na qualidade do desmonte obtido vários aspectos. Referem-se algumas generalidades geológico-geotécnicas e geomecânicas da área em estudo e a sua situação geográfica.
  - O capítulo 4 apresenta uma discussão geral das principais conclusões resultantes das investigações desenvolvido no decurso desta dissertação e aponta uma série de perspectivas futuras de investigação.

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

### **1.5. Metodologias e Técnicas**

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

Numa primeira fase do trabalho efectuou-se um reconhecimento de campo para se definir os constrangimentos topo-cartográficos, geológico-estruturais e petrofísicos do maciço em estudo e área envolvente.

Na fase seguinte, procedeu-se à recolha, tratamento, análise e interpretação dos dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço. Esta abordagem integrada permitiu a descrição e o zonamento geotécnico do maciço em estudo, tendo-se seguido, especialmente, as recomendações da ISRM – International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1981, 2007), da GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (GSE, 1995) e do CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF, 1996). Para a definição do grau de compartimentação do maciço rochoso foi aplicada a técnica de amostragem linear (quadro 1) em superfícies expostas do maciço rochoso.

Para a caracterização geomecânica do maciço, recorreu-se, aos ensaios de resistência mecânica, com a utilização do Esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (quadro 2) e de carga pontual, PLT (“Point Load Test”) [quadro 3, quadro 5, quadro 6 e quadro 7]. O quadro 2, quadro 4 e quadro 8 representam, respectivamente as fichas de levantamento dos referidos dados.

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

---

#### Generalidades

---

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

---

#### Descrição da técnica

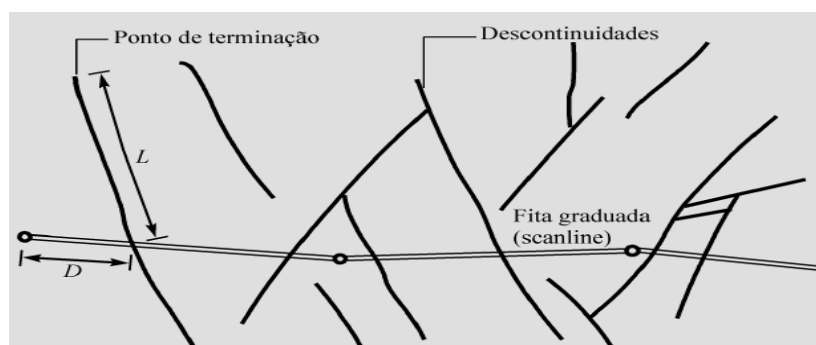
---

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

---

#### Representação esquemática

---



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

---

#### Base de dados

---

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

---



Quadro 3. Caracterização do ensaio de avaliação da resistência mecânica com a utilização do Esclerómetro Portátil ou “Martelo de Schmidt – tipo L” (Adaptado de Schmidt, 1951, Aydin & Basu, 2005; ISRM, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011. (In Silva, 2014)

**Generalidades**

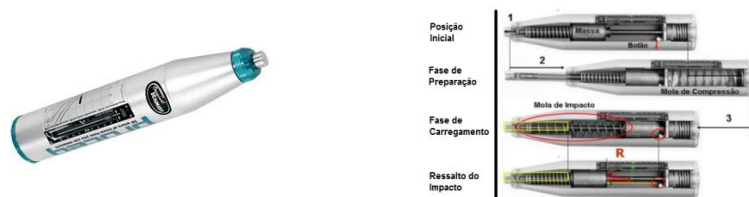
A resistência da matriz rochosa pode ser aproximadamente estimada no afloramento a partir de índices de campo e correlações com dados obtidos em ensaios realizados “in situ”. Frequentemente, para estimar o valor aproximado da resistência à compressão simples, ou seja, a dureza do material rocha em campo,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

**Equipamento de medição e funcionamento**

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

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

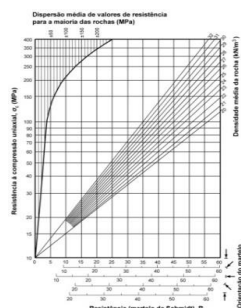
Baseia-se no princípio de que a percussão de uma mola de aço, quando impelida com uma certa energia contra uma superfície rochosa, é proporcional à robustez do material. Em função da dureza da rocha, a massa de aço sofre um maior ou menor ressalto (“Rebound”, R), o valor é registado no aparelho, numa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



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

**Avaliação da resistência**

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



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

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

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



---

Quadro 5. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT ("Point Load Test") – Parte 1 (Adaptado de ISRM, 2007). (In Silva, 2014)

---

**Generalidades**

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

**Equipamento**

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



**Sistema de carregamento**

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

**Calibração**

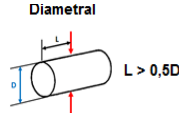
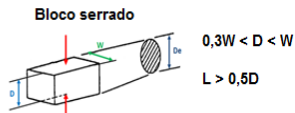
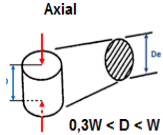
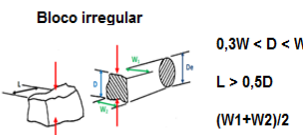
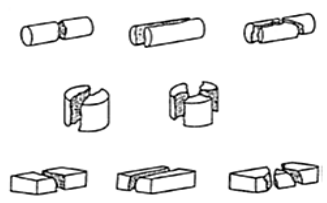

O equipamento de ensaio deve ser calibrado periodicamente por meio de um certificado independentemente da carga celular e por um conjunto de blocos de deslocamento,  $P$  e  $D$  e leituras ao longo de toda a gama de cargas e deslocamentos pertinentes aos ensaios.

**Sistema de medição**

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

---

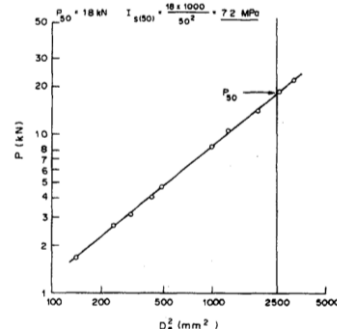
Quadro 6. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT (“Point Load Test”) – Parte 2 (Adaptado de ISRM, 2007). (In Silva, 2014)

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

Quadro 7. Caracterização do ensaio de resistência à carga pontual, PLT ("Point Load Test") – Parte 3 (Adaptado de ISRM, 2007). (In Silva, 2014)

**Continuação do cálculo**

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



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

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

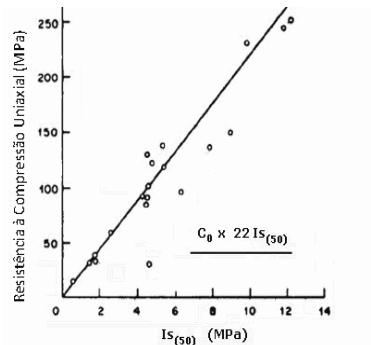
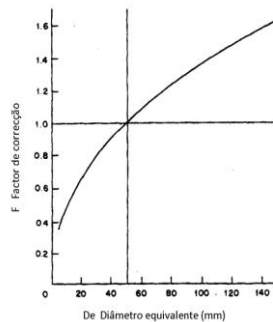
Quando se utilizam amostras de tamanhos únicos, o melhor processo é determinar  $I_s(50)$  numericamente, ou seja, a partir da expressão :

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

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

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

Nos ensaios diametrais:  $D = De$



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

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

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

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



A utilização de bases de dados dinâmicas – ScanGeoData|BGD e SchmidtData|UCS (Fonseca et al., 2010; Galiza et al., 2011a,b) – relativas aos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos permitiu efectuar um cruzamento exaustivo de toda a informação e a interpretação de todos os dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos de modo a apoiar o estabelecimento da cartografia de zonamento geotécnico do maciço rochoso (figura 3).

Numa terceira fase foram realizados ensaios de medição aos desvios de perfuração com a realização de ensaios Boretrak, e posterior tratamento dos dados recolhidos, de forma a serem apresentados sobre vários ângulos de estudo (quadro 9).

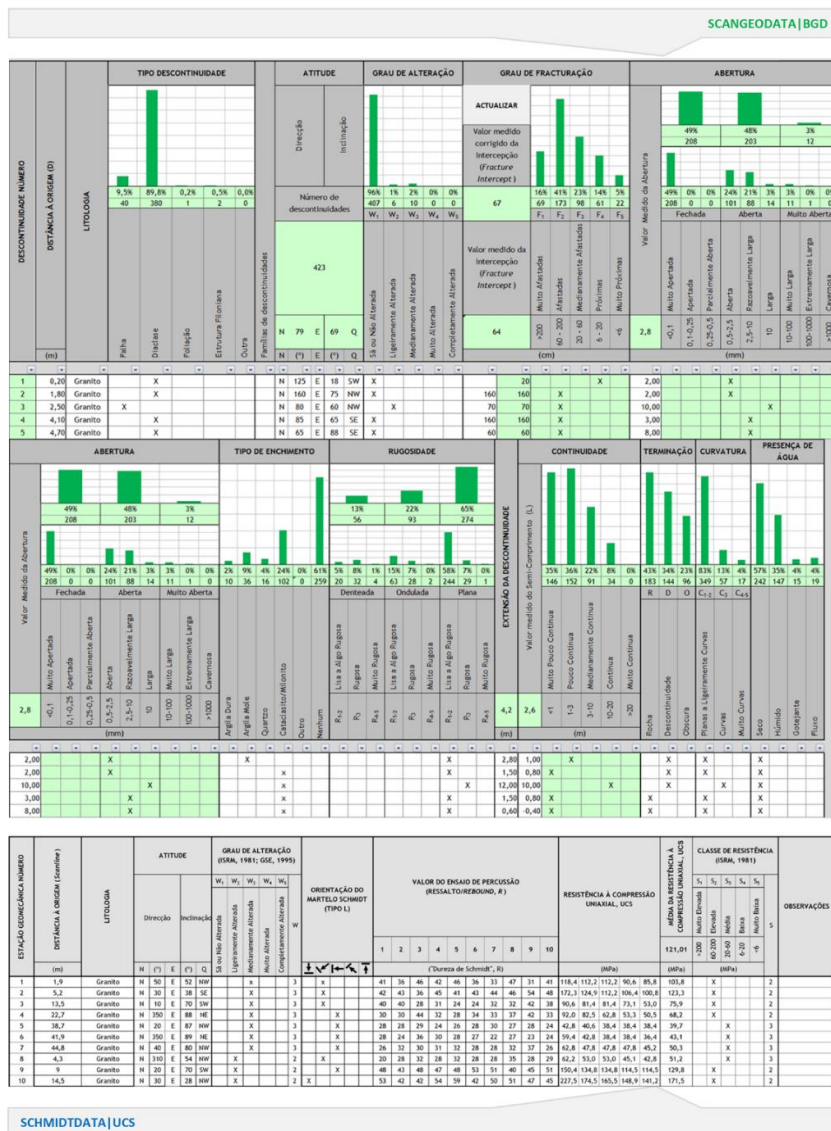


Figura 3. Exemplo de aplicação da base de dados ScanGeoData|BGD (Basic Geotechnical Description of Rock Masses) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010) e exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData|UCS (Uniaxial Compressive Strength) desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).



---

(Página propositadamente em branco)

---

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

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

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

### **2.1. Considerações iniciais**

Um maciço rochoso pode ser considerado como um meio sólido contínuo (material rochoso, ou simplesmente, rocha) separado por planos de fraqueza estrutural, ou seja, as superfícies de descontinuidade (Rocha, 1981). O comportamento e as propriedades mecânicas dos maciços rochosos são influenciados pelos seguintes factores (González de Vallejo & Ferrer, 2011): i) litologia e propriedades petrofísicas da matriz rochosa; ii) estrutura geológica e descontinuidades; iii) grau de alteração e alterabilidade; iv) estado de tensão a que está submetido o material e v) condições hidrogeológicas.

Segundo Terzagh (1946) “Uma vez que as descontinuidades estão entre as causas de sobreescavação e de problemas com água, merecem sempre uma consideração especial”. Fica claro que a caracterização das rochas e dos maciços rochosos e o estudo do seu comportamento mecânico e deformacional é complexo devido à grande variedade de características e propriedades que apresentam e ao elevado número de factores que os condicionam (Vallejo, 2002). Segundo, Brown 1986 “Uma inadequada caracterização geológica do local, provavelmente representa o maior obstáculo ao dimensionamento, construção e às operações de desmonte em rocha. O aperfeiçoamento das metodologias e das técnicas para a caracterização do local e a interpretação dos dados recolhidos, são requisitos fundamentais não só para a escavação de grandes cavernas rochosas, mas para todas as engenharias que contactam com os maciços rochosos.”.

As propriedades e características dos maciços rochosos, não podem ser medidas, mas sim estimadas a partir das observações, descrições e testes realizados de forma indirecta e que podem ser comprovadas por ensaios laboratoriais feitos em amostras de pequena dimensão e a partir das quais é possível caracterizar os parâmetros mais relevantes do maciço (figura 4).

A metodologia para a implementação de um programa de análise e acompanhamento de uma determinada obra de engenharia está ilustrada e sistematizada na figura 5. Podem ser identificadas cinco componentes distintas, que são postuladas para serem integradas de forma lógica, ou seja, nenhum passo pode ser ignorado sob o risco de pôr em causa a filosofia do programa (Brown, 1981).

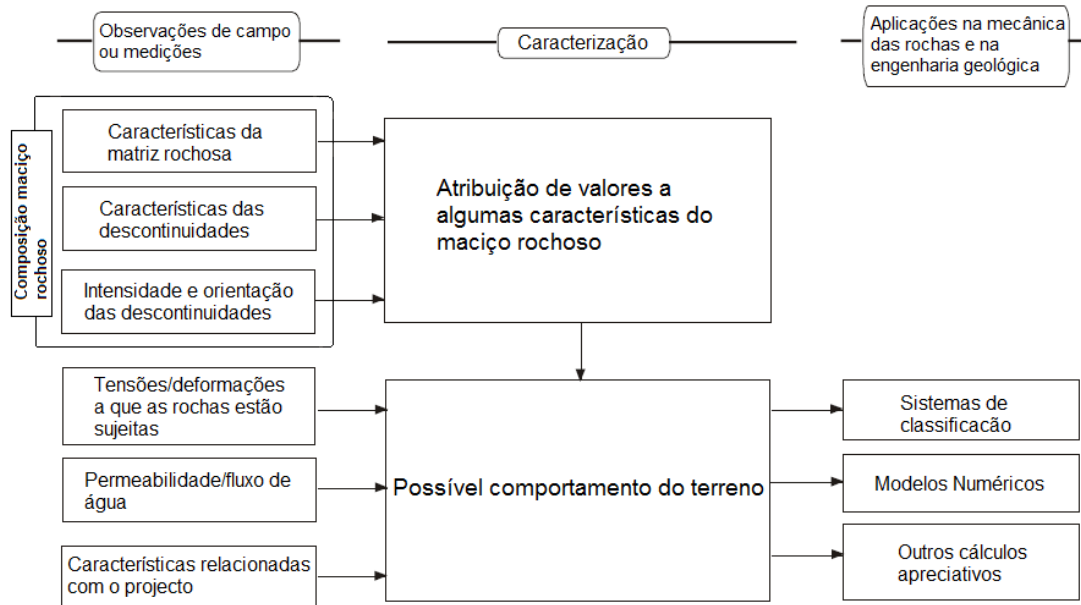


Figura 4. Importância da aproximação entre a mecânica das rochas e da geologia de engenharia, discutida na GeoEng 2000 (adaptado de Palmstrom, 2001).

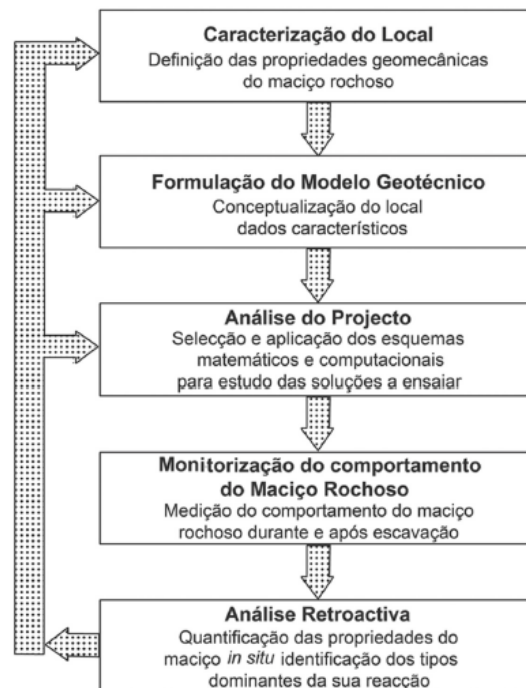


Figura 5. Faseamento conceptual da importância da geomecânica em estudos de engenharia de maciços (In Galiza 2013).

## 2.2. Matriz rochosa vs descontinuidades

Os maciços rochosos podem ser definidos como massas rochosas constituídas por um ou mais tipos litológicos, localizados num determinado contexto espacial e estando afectadas por






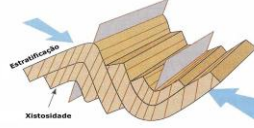
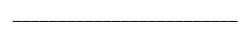
---

descontinuidades, com características geológico-geotécnicas, geomecânicas e geohidráulicas, que conferem ao conjunto uma anisotropia global (Hoek, 2007).

Um maciço rochoso difere de outros materiais aplicados à engenharia uma vez que este é intersectado por descontinuidades de vários tipos, as quais lhe conferem uma estrutura descontínua. Assim, deve ser feita uma clara distinção entre material rochoso (ou material-rocha ou, simplesmente, rocha) e maciço rochoso (quadro 10). A matriz rochosa pode ser descrita o material rochoso isento de descontinuidades ou os blocos de rocha intactos entre descontinuidades (Vallejo, 2002).

As superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos (quadro 11) correspondem a alinhamentos que definem uma interrupção na continuidade da matéria que constitui o maciço definindo, portanto zonas de fraqueza (fracturação associada) onde as suas características originais começam a alterar-se, conduzindo à sua compartimentação sem implicações genéticas, ou seja, podem ser fracturas resultantes de esforços tectónicos em compressão/descompressão, corte (cisalhamento), tracção, podendo ter origem sedimentar, como as superfícies de estratificação ou laminação, diagenética ou tectónica, como as diáclases ou as falhas, tornando-os mais deformáveis e frágeis (por exemplo falhas, fracturas, diáclases, planos de xistosidade, planos de estratificação, etc.) o que condiciona a avaliação do seu comportamento mecânico e hidrogeológico dos maciços rochosos. A orientação e a resistência ao corte das descontinuidades são os aspectos mais importantes a ter em conta no que diz respeito à estabilidade e resistência de um qualquer maciço rochoso.

Quadro 10. Maciços rochosos – Parte 1 (adaptado de Sodr  Borg s, 2002; Price, 2009; Gonz lez de Vallejo & Ferrer, 2011).

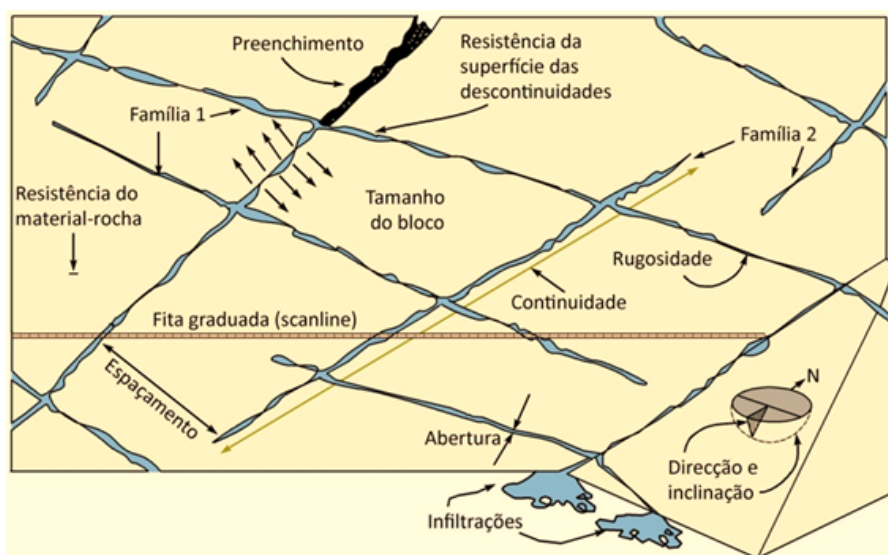
<b>Sistemáticas</b>	<b>Planares</b>	Planos de estratifica�o	Superfícies que limitam os estratos nas rochas sedimentares. São discontinuidades sistemáticas com grande continuidade e cujo espaçamento pode ir de alguns centímetros a vários metros.			
		Superfícies de Lamina�o	Descontinuidades sistemáticas que ocorrem nas rochas sedimentares e correspondem a planos que limitam lâminas ou níveis mais pequenos de uma sequência sedimentar. Estas superfícies têm maior relevância nas rochas de grão fino e apresentam espaçamento muito reduzido (milimétrico ou centimétrico).			
		Diáclases	São os planos de descontinuidade mais frequentes nos maciços rochosos e correspondem a superfícies de fractura�o ou rotura da rocha ao longo da qual se perdeu a coesão do material, não tendo ocorrido deslocamento (ou se ocorreu terá insignificante)	Diáclases de origem tect�nica	Associadas a falhas (dispondo-se paralelamente � superfície da falha tornando-se menos frequentes � medida que a distância ao plano de falha aumenta) e dobramentos.	
				Diáclases em rochas magmáticas	Originadas por contra�o de um corpo �neo durante ou após a sua instala�o, apresentando disposi�o característica.	
				Di�clase formadas pela descompressão do maciço	Formadas pelo alívio da carga listost�tica, dispõem-se sub-paralelamente � superfície topográfica. A intensidade da fractura�o diminui com a profundidade.	
		Planos de xistosidade	Descontinuidades de origem tect�nica que ocorrem em rochas que sofreram deforma�o em regime dúctil. Surgem normalmente perpendiculares � dire�o que originou maior encurtamento na rocha por aço de compressão. São discontinuidades sistemáticas com maior desenvolvimento quanto menor o grão da rocha e apresentam frequência elevada e espaçamento reduzidos (milimétricos).			
	<b>Lineares</b>	Interse�o de descontinuidades planares	São essencialmente de origem tect�nica e ocorrem em rochas que sofreram deforma�o. Estas subdividem-se em lineações (e.g. fibrosidade mineral) e lineações por interse�o de estruturas planares (e.g. eixos das dobras)			
		linea�es				

Quadro 11. Superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos – Parte 2 (adaptado de Sodr e Borges, 2002; Price, 2009; Gonz alez de Vallejo & Ferrer, 2011).

<b>Singulares</b>	<b>Planares</b>	Falhas	<p>Falhas são descontinuidades singulares que correspondem a planos de rotura ou fractura�o com deslocamento relativo entre os blocos. Geralmente apresentam grande continuidade no maciço rochoso, com extensões que podem ir até centenas de quil�metros. O plano resultante designa-se por espelho de falha e as superfícies deslizantes possuem, normalmente, estrias. A caixa de falha resultante da separa�o dos dois blocos pode estar preenchida por outros materiais, que podem ser resultado da tritura�o do material rochoso na gera�o da falha. As falhas podem ser normais, inversas ou de desligamento.</p>	
		Discordâncias	<p>De origem estratigráfica, sedimentar e tect�nica. Podem ser consideradas de vários tipos consoante a g�nese tect�nica e tectonossedimentar (e.g. discordância angular, disconformidade paraconformidade, etc.)</p>	
		Filões	<p>são intrusões de massas minerais que preenchem o espaço de descontinuidades pr�existentes. São de origem ígnea e o seu estudo terá de ser efectuado de acordo com o tipo de material que o constitui e as características dos blocos da rocha encaixante. Muitas vezes as rochas filoneanas estão tectonizadas e constituem estruturas geológicas descontínuas.</p>	
	<b>Lineares</b>	Eixo de Dobras	<p>As dobras formam-se no interior da crosta terrestre ou no manto, de forma lenta e gradual, emergindo � superfície devido aos movimentos tect�nicos e � erosão. Quanto � geometria podem ser caracterizadas pelos seguintes elementos: i) Flanco (zona de menor curvatura); ii) Charneira ( linha que une os pontos de máxima curvatura de uma dobra); iii) Núcleo (formado pelas camadas mais internas da dobra); iv) plano axial (cont�m as charneiras dos diferentes estratos, dividindo a dobra em dois flancos sensivelmente iguais); v) Eixo da dobra (ponto de intersec�o do plano axial com a charneira).</p>	

### 2.3. Parâmetros geológico-geotécnicos das discontinuidades

Na descrição das diferentes famílias de discontinuidades num maciço rochoso inclui-se os seguintes parâmetros geológico-geotécnicos representados na figura 6 (pormenores ISRM, 1981).



Parâmetro geológico-geotécnico (BGD)	Descrição
1) Atitude geológica (direcção/inclinação; quadrante inclinação)	Orientação espacial, em termos da sua direcção e inclinação, das estruturas planares (descontinuidades)
2) Espaçamento "fracture intercept"	Distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes que pertençam à mesma família Distância média medida entre descontinuidades, independentemente da família, sucessivas segundo a intersecção com uma linha de amostragem
3) Continuidade ou persistência	Comprimento do traço da descontinuidade
4) Rugosidade	Aspereza na superfície de descontinuidades
5) Resistência das superfícies das descontinuidades	Resistência à compressão uniaxial nas superfícies das descontinuidades
6) Abertura	Distância da separação entre blocos que formam a descontinuidade medida na perpendicular ao plano de descontinuidade
7) Preenchimento ou enchimento	Material que preenche a abertura das descontinuidades
8) Percolação ou infiltração	Fluxo de água nas superfícies das descontinuidades

Figura 6. Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002). In: Ramos (2008).

---

### **3 – Perfuração vs Desvios: caracterização, descrição e problemática**

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

### 3. Perfuração vs desvios: caracterização, descrição e problemática

A actividade de desmonte de maciços rochosos com o recurso a explosivos, consiste no destaque de uma determinada porção do maciço, que deverá seguir uma orientação técnica, tendo em conta o objectivo a atingir (Galiza, et al. 2008). O desmonte de maciços rochosos com recurso a explosivos é constituído por um ciclo de operações (perfuração, carregamento/detonação, carga/transporte e britagem) resultantes de um enquadramento e análises técnicas fundamentais (figura 7) (Galiza, 2001).

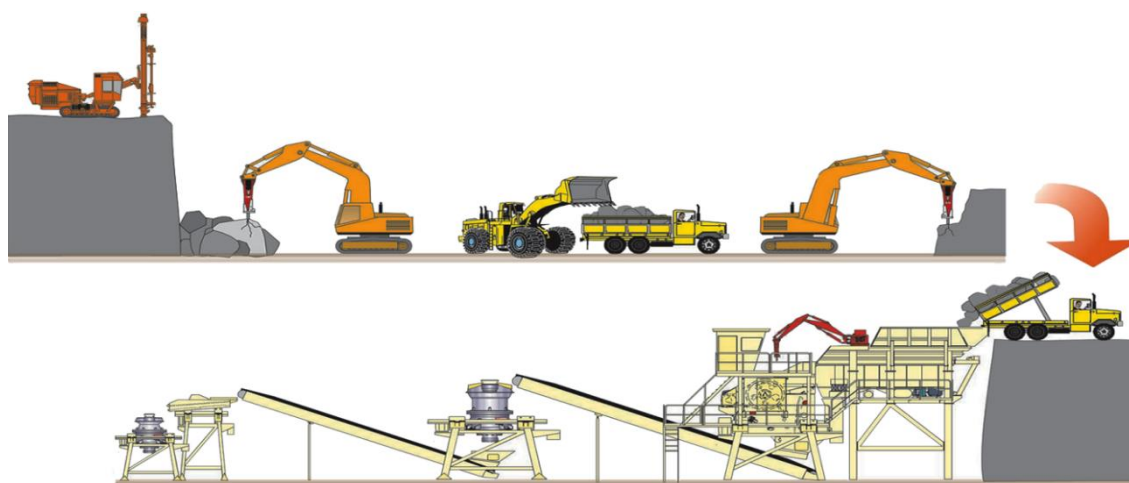


Figura 7. Diferentes etapas da indústria extractiva e transformadora de rocha industrial (Tamrock Excavation Handbook).

A perfuração é a primeira operação no processo de transformação e da maior ou menor qualidade da sua execução vão estar dependentes as etapas seguintes. Consiste na realização de furos no maciço rochoso que pretendemos desmontar, segundo uma geometria e localização previamente calculada e é a primeira operação a ser executada no processo de transformação que vai desde a identificação do georrecurso (maciço) até ao fabrico do produto final (Galiza, 2013). Apesar de representar um dos menores custos de operação, a par do carregamento e rebentamento, é das que mais influencia a optimização das restantes.

Associada à operação de furação está o conceito de perfurabilidade de uma rocha e que representa o desempenho da perfuração (Sandvik Coromat - Rock Tools). Este termo fornece a indicação sobre a maior ou menor facilidade com que se consegue executar um furo numa rocha (Jimeno & Lopez, 1995). Está relacionado com a resistência à compressão da rocha, sendo inversamente proporcional a esta. Este conceito é usado para descrever a influência que um grupo de parâmetros, representados figura 8, têm na velocidade de perfuração bem como no desgaste da ferramenta de corte.

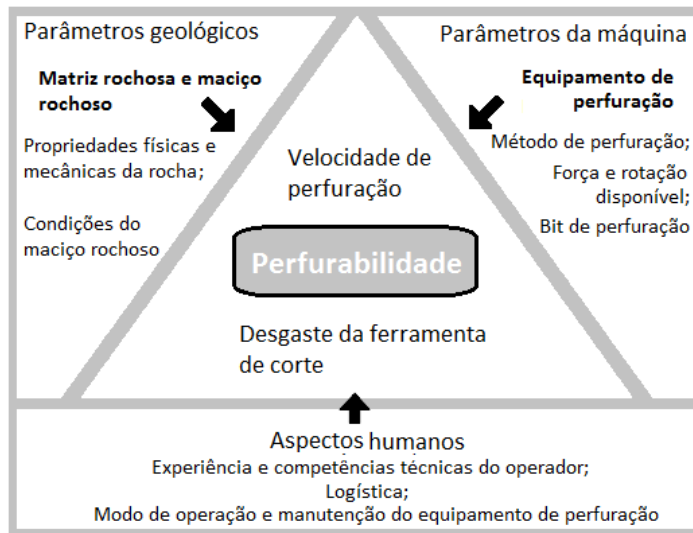


Figura 8. Factores que influenciam a perfurabilidade das rochas (adaptado de Thuro, 1997).

A perfurabilidade é, em primeiro lugar, influenciada pelas características do próprio equipamento de perfuração (figura 9). Para lá desses parâmetros técnicos, são os parâmetros geológicos que vão influenciar o desempenho e o desgaste dos acessórios de perfuração (Thuro, 1997).

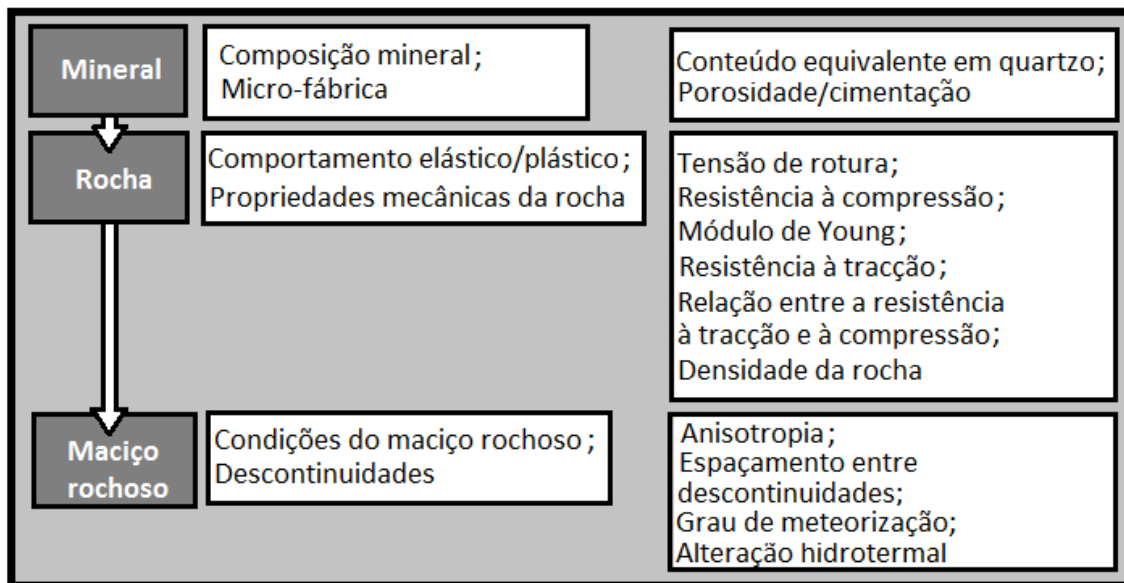


Figura 9. Parâmetros Geológicos que influenciam a perfurabilidade (K. Thuro, 1997).

A teoria associada à perfurabilidade da rocha aquando da perfuração do maciço pode ser facilmente entendida de acordo com a (figura 10). A pressão exercida por uma força de grande intensidade sobre a rocha instala um estado de tensão em redor desse ponto de contacto. Se a força for suficientemente elevada e o material usado no corte for suficientemente duro, haverá uma fragmentação do material à volta do ponto de contacto. O rendimento do processo aumenta

---

proporcionalmente ao tamanho das partículas resultantes da trituração. Estas dependem da estrutura e da foliação da rocha.

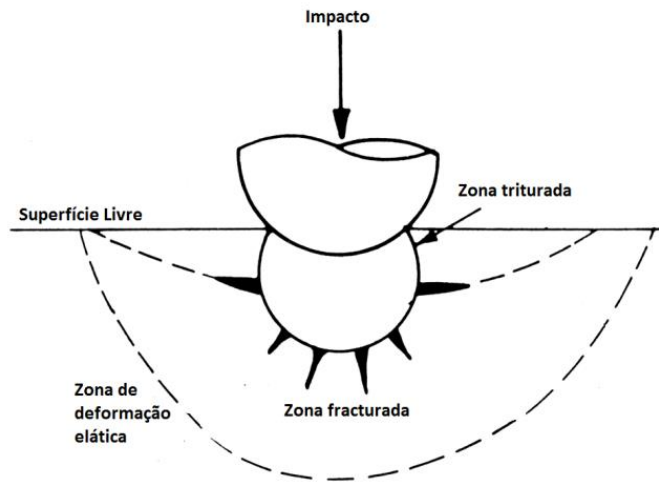


Figura 10. Mecanismo de fratura da rocha (Gomes et al., 2007).

Fica expressa a necessidade de uma caracterização geológico-estrutural, geomecânica e geotécnica, com a recolha dos dados de forma rigorosa e sistemática, seguindo as normas internacionais e posterior análise e interpretação dos dados, no sentido de otimizar/rentabilizar todas as operações associadas à indústria extractiva, sendo esta abordagem essencial para a evolução técnico-económica de todo o processo associado.

As operações envolvidas neste processo funcionam de forma integrada, ou seja, uma perfuração com um índice de qualidade deficitária, trará certamente dificuldades técnico-económicas acrescidas nas restantes etapas, nomeadamente nas granulometrias obtidas no desmonte com recurso a explosivos, e que obrigam a uma etapa complementar de fragmentação secundária.

O conjunto perfuração/carregamento-detonação/fragmentação secundária, representa menos encargos financeiros que as duas restantes. No entanto, tem um papel preponderante na rentabilidade de todo o processo de transformação, atendendo à produtividade global, isto é, o aproveitamento maximizado da capacidade instalada que uma granulometria ajustada às operações de transformação vai ter na eficiência do processo produtivo. Sob o ponto de vista de gestão industrial a maximização dos resultados consegue-se elevando ao máximo as receitas para um determinado custo ou diminuindo os custos para um mesmo volume de receitas. Assim, a maximização da produção terá como consequência uma diminuição relativa da parcela dos custos fixos. A otimização das várias operações deve ser realizada atendendo à melhoria das operações a jusante.

Desta forma, na perfuração e no desmonte dever-se-á ter como objetivo a obtenção de uma curva granulométrica de acordo com as dimensões dos equipamentos de

transporte/remoção/britagem e, com a diminuição e dimensão dos maiores calibres, principal causa da menor produtividade das instalações de britagem (figura 11).

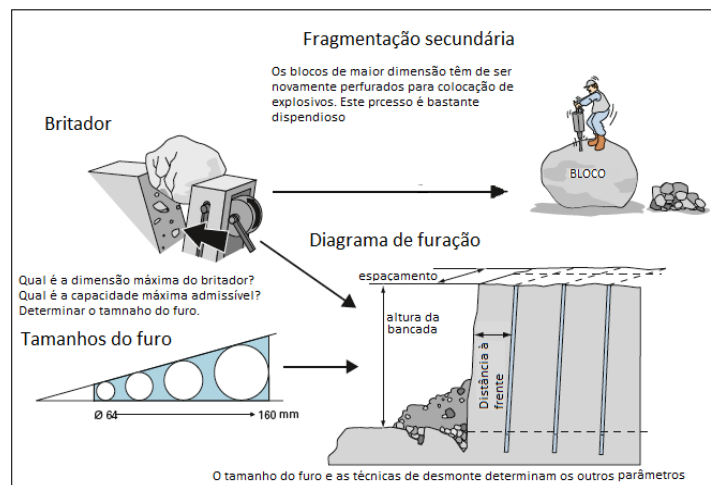


Figura 11. Fragmentação em pedreiras (adpatado de Atlas Copco).

Na atividade da indústria extrativa ligada às rochas industriais e atendendo à sua menor dimensão e à baixa dispersão das instalações, todas as atividades estão dirigidas para um menor custo final, com o enfoque principal na britagem devido a ser este o centro com o maior custo. Todo o processo produtivo nestas instalações está organizado por uma cadeia de operações com pequenas capacidades de armazenamento parcelares.

Paragens provocadas tanto por funcionamento/manutenção dos equipamentos tanto por eficiência e adequação dos fluxos de alimentação, mesmo que sejam de curta duração, poderão dar origem a quebras significativas de produtividade, que terão como consequência um agravamento dos custos de produção, nomeadamente um agravamento percentualmente equivalente dos custos fixos. A obtenção de uma curva granulométrica adequada permitirá o aproveitamento mais eficaz da instalação, uma diminuição dos custos e eventualmente um aumento de receitas.

A correcta execução da perfuração irá permitir uma melhoria nas operações seguintes, nomeadamente, carregamento e detonação, na granulometria obtida após detonação, na fragmentação secundária, na carga e transporte e na britagem (figura 12). É ainda fundamental na definição do talude final após o desmonte de forma a facilitar a geometria da pega seguinte.

## GEORRECURSO



Problemas mais comuns	Parâmetros a modificar
Rapés e piso irregular	Aumentar a subfuração Reduzir a malha do diagrama Aumentar a carga de fundo Aumentar o retardo entre furos Aumentar a inclinação dos furos
Projeção de blocos	Controlar os desvios no afastamento Controlar a existência de cavernas Controlar os desvios na perfuração Ajustar o retardo entre furos Aumentar a altura de atacamento
Desmorte secundário	Aumentar a carga explosiva Reduzir a malha do diagrama Uso de um explosivo mais potente Ajustar o retardo entre furos
Fracturação à retaguarda	Reduzir o número de fiadas Reduzir as cargas na última fiada Reduzir o afastamento Aumentar o retardo entre furos

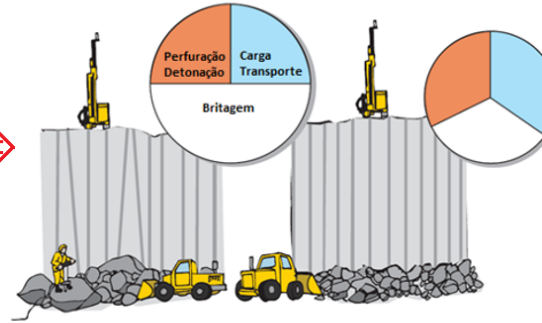


Figura 12. Exemplo do benefício económico de uma perfuração alinhada (Galiza et al., 2011a,b,c; Galiza, 2013).

---

Na operação de perfuração (figura 13) deve-se partir do seguinte pressuposto: mesmo sem influência de um qualquer erro humano de perfuração, todos os furos apresentam desvio, por menor que seja (Ramos, 2008).

Durante a realização de uma perfuração, a interacção entre as ferramentas de execução e o meio pétreo, descontínuo e anisotrópico, como é um maciço rochoso fracturado, poderá ser imprevisível do ponto de vista teórico, principalmente quando a caracterização do “maciço rochoso” for escassa. Neste aspecto, as características geológicas, geotécnicas e geomecânicas do maciço rochoso, as ferramentas de execução, assim como a geometria do próprio diagrama de fogo, são parâmetros influentes na qualidade da perfuração. O rigor da operação de perfuração que deverá manifestar-se por uma maior linearidade do furo é fundamental para uma boa distribuição do explosivo na massa rochosa que se pretende desmontar (Galiza, 2013).

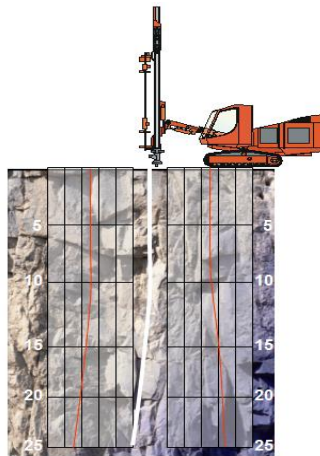


Figura 13. Esquematisação do comportamento do desvio do furo em relação ao ângulo de intersecção com as descontinuidades do maciço rochoso (Ramos, 2008).

Existem fórmulas empíricas que estimam o desvio em função do diâmetro e dos comprimentos da perfuração, considerando que apenas estes dois parâmetros geométricos do diagrama de fogo têm influência no desmonte. Langefors & Kihlstrom (1978) tornaram possível através de fórmulas empíricas estimar o desvio em função do diâmetro e comprimento do furo, considerando apenas que estes dois factores geométricos têm influência no desmonte. O desvio expectável durante a perfuração é representado pelas seguintes fórmulas:

$$F = \frac{d}{1000} + 0,03 * H$$

Onde:

F – representa o desvio expectável para um determinado comprimento de furo;

H – comprimento de furo;

d – Diâmetro de furação.

Através desta fórmula é possível verificar que o aumento do diâmetro do furo faz aumentar o desvio, contudo, sabe-se que na prática, o que acontece é precisamente o contrário.

Ao abordar a operação de perfuração na vertente da qualidade da sua execução, devem ser avaliados dois aspectos importantes, a posição e trajectória do furo. Isto porque mais do que avaliar a posição em que o furo de encontra ao atingir a cota pretendida (figura 14) é preciso avaliar a trajectória que ele segue, para melhor compreender os erros ou factores de diferentes naturezas que podem estar na génese do tipo e dimensão do desvio (Ramos, 2008).

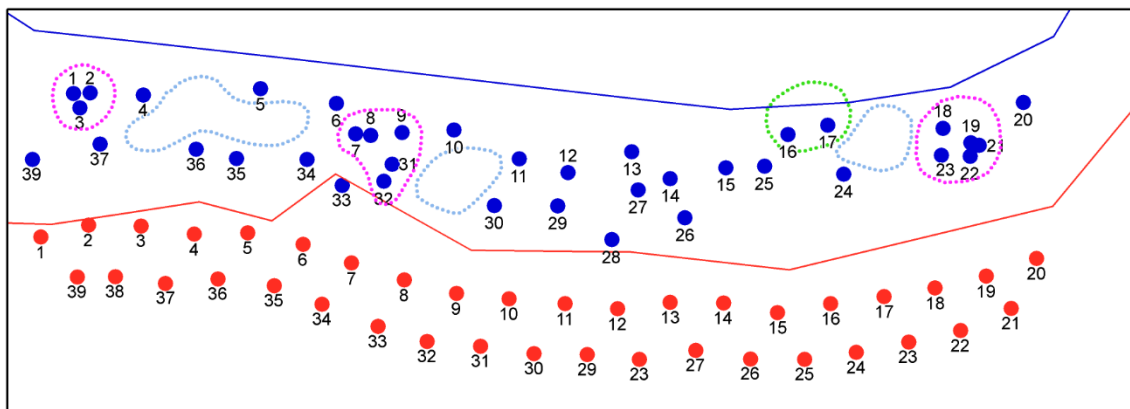


Figura 14. Exemplo de posicionamento dos furos à superfície (a vermelho) e à cota pretendida (a azul) (Galiza, 2013).

Em primeiro lugar, há que diferenciar erro e desvio de perfuração: o erro está associado a factores que se podem corrigir ou evitar, normalmente associado a um erro está um desvio; o desvio sem origem num erro está normalmente ligado a factores que não se poderão evitar como, por exemplo, a anisotropia do maciço rochoso ou mesmo um parâmetro geométrico da pega, sendo que talvez se possam minimizar ou contornar. Os erros de perfuração devem ser perfeitamente identificados para posteriormente serem corrigidos e evitados.

Os desvios de perfuração devem ser estudados para posteriormente serem minimizados ou contornados (Ramos, 2008).

### 3.1. Tipos de desvios

O resultado do desmonte de rocha com explosivos depende da distribuição da energia do explosivo no maciço rochoso pelo que a qualidade da perfuração é da maior importância. Os desvios de alinhamento entre furos, inclinação e comprimento são os responsáveis pela qualidade da perfuração. Existem 3 causas responsáveis por desvios na perfuração: i) desvios provocados

---

pela má selecção do equipamento de perfuração e acessórios para um determinado maciço rochoso; ii) desvios provocados pelo operador: mau conhecimento da técnica de perfuração e do comportamento dos materiais que utiliza; falta de rigor na marcação do local a perfurar; falta de medição da altura da bancada; má utilização dos equipamentos de controlo de inclinação e direcção; e iii) desvios provocados pelo maciço rochoso. As descontinuidades e as alterações estruturais do maciço são responsáveis por importantes desvios na perfuração, principalmente se o operador não tiver o cuidado de alterar os parâmetros utilizados quando necessário. A alteração da geometria da perfuração, quer na superfície por erro de marcação, quer em profundidade por erro de inclinação tem as seguintes consequências: i) risco de projecções no caso de diminuição da distância à frente; ii) produção de blocos no caso de aumento da distância à frente; iii) formação de repés no caso de aumento da distância à frente na base da bancada; iv) falha de movimentação da rocha; v) sobre facturação na parte posterior da bancada com consequência nefasta para a próxima perfuração; vi) risco de aumento das vibrações e vii) aumento do custo com explosivos (Gomes et al., 2007).

Os tipos de desvios são associados a erros de execução da perfuração e/ou erros motivados pelas condicionantes da própria bancada (regularidade e limpeza da bancada) e podem ser erros de (figura 15 e quadro 12):

- Posicionamento;
- Emboquilhamento;
- Direcção;
- Inclinação;
- Comprimento/Cota.

Os desvios, associados à anisotropia do próprio maciço rochoso e às suas características geológicas, geotécnicas e geomecânicas, podem ser desvios de:

- Flexão – Desvio progressivo, mas constante ao longo do furo;
- Pontual – Desvios pontuais da trajectória do furo inerentes às anisotropias do maciço rochoso.

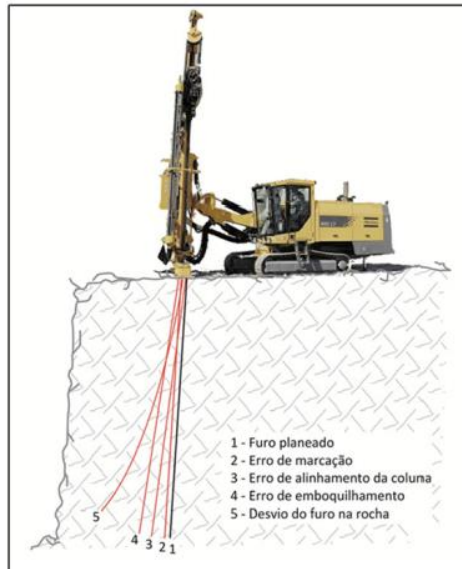
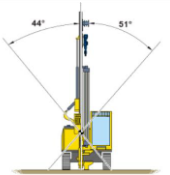
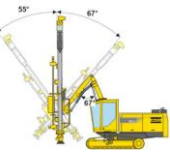


Figura 15. Esquematização do comportamento do desvio do furo em relação ao ângulo de intersecção com as descontinuidades do maciço rochoso (In Galiza, 2013).

Quadro 12. Erro de execução da perfuração, causas e eventuais medidas de correcção (Ramos, 2008).

Erro	Descrição	Causas	Medidas correctivas ou de minimização
Posicionamento	É considerado o primeiro tipo de erro possível de se cometer na execução do furo. Consiste em não iniciar o furo no ponto previamente marcado.	Utilização de técnicas de marcação pouco eficazes, como a utilização de conjuntos de pedras encasteladas para a marcação dos furos, não sendo aconselhável a sua utilização devido a possíveis deslocamentos, devido à movimentação do carro de perfuração.	Utilização de spray para a marcação dos furos, no próprio maciço. Caso o estado da bancada não o permita deve-se fazer uma marca numa pedra o mais achatada possível de forma a não se deslocar com a movimentação do carro de perfuração.
		A marcação da pega não respeita os parâmetros geométricos definidos (espaçamento (E) e a distância à frente (V)).	Utilização de ferramentas de auxílio como por exemplo uma corda para o alinhamento das fiadas e uma fita para a marcação das distâncias. Implementação dos furos com sistema GPS.
Emboquilhamento	Zona entre a boca do furo e um comprimento de 1 a 2 m de vara introduzida no maciço (dependendo do estado da bancada), ao qual pode estar associado um erro relacionado com as condicionantes da mesma, como é o caso da regularidade e/ou do material solto na superfície.	Bancadas irregulares com zonas de difícil estabilização do carro de perfuração e coluna. Bancadas com elevada altura de material deixado nas bancadas para a tornar mais regular.	Limpar a bancada de forma a não ter material partido e /ou solto na sua superfície. Evitar os excessos ou défices de sub-furação.
Direcção	 A direcção do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.	Estes tipos de erros estão directamente ligados com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe.	Nos equipamentos mais recentes deve-se avaliar os instrumentos de controlo e monitorização, verificando que tipos de dispositivos comportam, que parâmetros controlam e com que finalidade o fazem. Nos equipamentos mais antigos deve-se ter bastante rigor no posicionamento do carro e da coluna, de forma a minimizar ao máximo os erros de direcção e inclinação.
Inclinação	 A inclinação do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.		
Comprimento / cota	O comprimento do furo e/ou a cota atingida pelo furo não está de acordo com o previamente definido.	Este tipo de erro está directamente ligado com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe, assim como podem ser gerados pela influência de desvios de perfuração e/ou outros erros como a direcção e/ou inclinação.	Este erro deixa de existir caso o equipamento de perfuração possua um sistema de controlo de cotas. Caso o equipamento possua dispositivo de controlo de comprimento do furo, deve-se ter em consideração o relevo da superfície da bancada para definir com rigor o comprimento com que cada furo deve ser executado. Nestes casos, a utilização de uma corda esticada e nivelada poderá facilitar a definição do comprimento de cada furo.

No quadro 13, apresenta-se uma descrição associada ao erro por flexão bem como uma identificação dos principais parâmetros e causas que estão na sua origem e medidas de correcção de forma a evitar ou pelo menos minimizar o erro aquando do processo de perfuração.

Quadro 13. Influência das discontinuidades nos desvios por flexão (adaptado de Olsen, 2009).

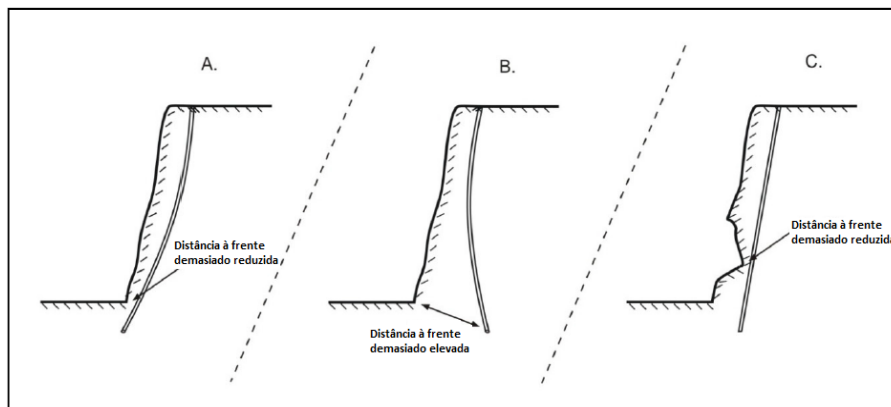
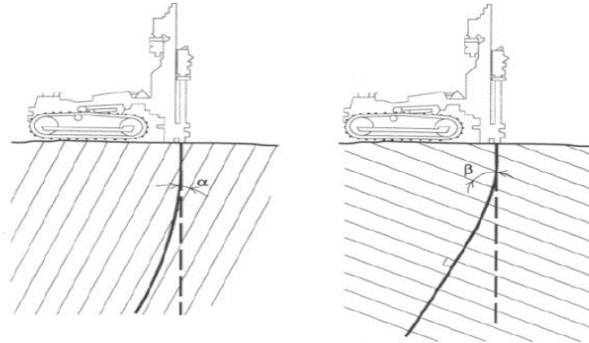
Erro	Descrição	Parâmetros que influenciam o desvio por flexão	Medidas correctivas ou de minimização
Flexão	Associados à anisotropia do próprio maciço rochoso e às suas características geológicas, geotécnicas e geomecânicas em que se verifica um desvio progressivo, mas constante ao longo do furo.	<b>Parâmetros de perfuração:</b> Impulso (avanço); percurso; torque; velocidade de rotação; limpeza; peso da coluna de perfuração; sistema de anti encravamento	À excepção das propriedades intrínsecas da rocha e do maciço rochoso, o operador do equipamento de perfuração pode controlar de forma directa ou indirecta a flexão durante o processo de furação a partir dos parâmetros associados à furação e à escolha do próprio equipamento. Sinkala, 1989 definiu uma lista teórica de esforços no sentido de reduzir os erros associados à flexão: mudar o tipo de bit; aumentar o diâmetro do martelo; ajustar os parâmetros de furação; aumentar o diâmetro do bit (com a mesma perfuradora); substituir por equipamentos de perfuração de maior dimensão ou alterar o método de furação para maiores diâmetros; reduzir à altura da bancada
		<b>Geometria furo:</b> Direcção/inclinação furo; diâmetro furo; comprimento furo	
		<b>Equipamento:</b> Pistão; folgas no encabouro; estabilizador; bit perfuração; varas; ratio vara/bit	
		<b>Características da rocha e do local:</b> Estrutura (estratificação, discontinuidades, etc.); orientação das discontinuidades; intervalo entre discontinuidades ou espessura das camadas; dureza da rocha; grau de coesão; condições da bancada	

A medição dos desvios permite alinhar a perfuração em relação à frente de bancada e assim dimensionar a carga específica em função dos dados obtidos (figura 16) ou então, se necessário, realizar novos furos. Se possível a inspecção visual deve ser complementada com equipamentos topográficos como por exemplo o laser profile, que permite melhorar a marcação e colocação dos furos e deste modo obter os melhores resultados em termos de fragmentação, produtividade (mais carga), maior segurança em termos de exploração (com bancadas estáveis) e controlo de projecções.

No quadro 14, estabelece-se uma relação entre a inclinação das discontinuidades e o erro, estabelecendo-se assim um padrão e dessa forma antecipar, em função do maciço e das discontinuidades presentes, o desvio espectável.

Quadro 14. Erro de flexão (adaptado de Olsen, 2009).

Erro	Influência das descontinuidades nos desvios por flexão	
Flexão	<p>Enquanto que os desvios associados ao emboquilhamento ou à direcção, são normalmente distribuídos de forma aleatória, os desvios por flexão apresentam tanto distribuição aleatória como sistemática devido às condições do maciço rochoso. Sinkala, 1989 apresenta uma generalização aos desvios de furação consoante as diferentes características da rocha.</p>	<p>Em maciços rochosos com foliação, os furos têm tendência a flectir paralela ou perpendicularmente ao plano de descontinuidade. Os desvios sistemáticos aparentam ser a favor quando a inclinação das descontinuidades é inferior a 40°-50° em relação à horizontal e contra o pendor nas restantes inclinações.</p>
	<p>Em maciços homogêneos o desvio associado à flexão é aleatório e de pequena escala. O aumento da frequência de fracturação vai levar a um maior número de desvios sistemáticos.</p>	



- (A) Flexão no mesmo sentido da frente de desmonte, resultando numa distância à frente reduzida
- (B) Flexão no sentido contrário à frente de desmonte resultando numa distância à frente demasiado elevada
- (C) Cavidade resultante da sobrecavação da pega anterior, apesar de o furo não ter sofrido qualquer desvio

Figura 16. Distância à frente em função da frente livre (adptado de Olsen, 2009).

### 3.2. Parâmetros intervenientes na génese do tipo e dimensão dos desvios de perfuração

A operação de perfuração ou, mais restritivamente, o furo, surge de uma interacção entre as ferramentas de execução e o maciço rochoso segundo uma geometria imposta pelo diagrama de fogo. Nesta interacção, estão envolvidos vários factores com intervenção na qualidade da perfuração. A estes factores estão associados determinados parâmetros influentes que, posteriormente, serão criteriosamente parametrizados, de forma a facilitar a posterior análise da origem dos desvios de perfuração (figura 17).

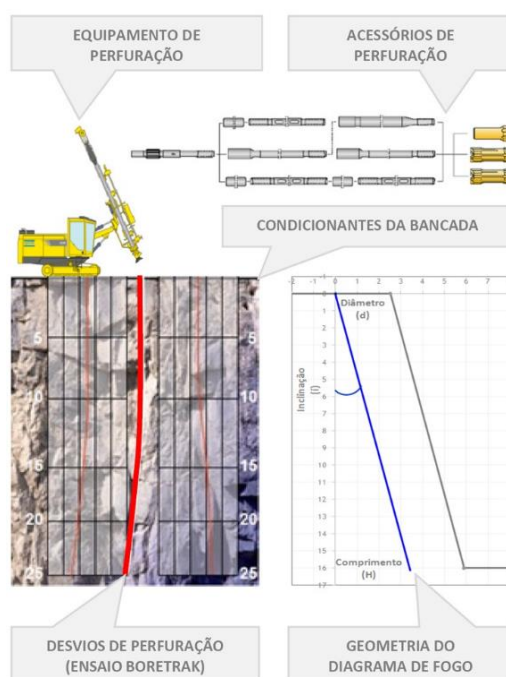


Figura 17. Parâmetros influentes na análise da origem dos desvios de perfuração (adaptado de Ramos, 2008; Fonseca, 2008).

#### 3.2.1. Ferramentas de execução

É exactamente na interacção da ferramenta com o maciço que ocorre o desvio e, de modo a melhor perceber que tipo de equipamento e acessórios poderão ser aplicados, estes vão ser agrupados por tipologia com o objectivo de ser atribuída uma classificação em função das ferramentas usadas (Ramos, 2008). No quadro 15, encontram-se enunciadas as várias ferramentas de execução.

Quadro 15. Ferramentas de execução (adpatado Ramos 2008).

<b>FERRAMENTAS DE EXECUÇÃO</b>
<b>Equipamento de perfuração</b>
Martelo a ar comprimido
Martelo hidráulico
<b>Método de perfuração</b>
<b>Rotopercussão</b>
Martelo à cabeça
Martelo de fundo de furo
Sistema COPROD
<b>Rotação</b>
Perfuração por corte
Perfuração por esmagamento
<b>Acessórios de perfuração</b>
Encabadouro
Varas
Uniões
Bit
<b>Parâmetros de regulação</b>
Rotação
Pressão
Limpeza
Avanço

### 3.2.1.1. Equipamento de perfuração

De acordo com o equipamento de perfuração foram estabelecidos pontos de avaliação, integrados numa matriz de avaliação, proposta no quadro 16. O equipamento de perfuração foi dividido em três pontos de avaliação e cada um desses foi subdividido em dois ou mais parâmetros de avaliação, para se tornar mais fácil e rápida a análise dos sistemas e acessórios que este equipamento dispõe (Ramos, 2008).

Esta matriz tabela foi actualizada para o carro de perfuração usado na Secil Britas de Vila Nova de Famalicão, o “Tamrock Ranger 600”, mantendo também o carro “Atlas Copco D7” em comparação qualitativa.

Quadro 16. Matriz de avaliação dos equipamentos de perfuração (Ramos, 2008).

Carro de perfuração	Devido à diversidade de equipamentos de perfuração, é importante registar sempre o modelo e o martelo correspondente.	Modelo	Tamrock Ranger 600	
		Martelo superfície	HL 600, hydraulic top	
Sistema de controlo e monitorização	Uso correcto dos sistemas de monitorização do equipamento de perfuração terá influência na qualidade e alinhamento do furo. O sistema de controlo e monitorização utilizado no equipamento deste caso de estudo é considerado bastante satisfatórios e fiáveis, o que permite reduzir a probabilidade de ocorrer erros de perfuração.	Direcção	Não possui	
			Pouco fiável	
			Fiável	
			Muito fiável	
		Inclinação	Não possui	
			Pouco fiável	
			Fiável	
			Muito fiável	
		Comprimento	Sim	
		Não		
		Profundidade	Sim	
			Não	
Coluna	Avaliada segundo a sua rigidez e o n.º de apoios das varas. A rigidez é variável consoante o tipo de liga que a constitui, consideram-se dois tipos de colunas, a coluna de ferro e a coluna de aço. O número de apoios das varas permite avaliar o equipamento consoante a sua estabilidade, quanto mais pontos de apoio têm a vara, maior será a estabilidade e precisão com que se conseguirá executar o furo.	Rigidez	Ferro	
			Alumínio	
		Apoios	Insuficiente (1)	
			Suficiente (2)	
			Bom (3)	

Os equipamentos de perfuração geram a energia necessária para promover a operação de perfuração. As características, modelo e demais aspectos técnicos, devem ser objecto de registo para posterior comparação e análise. Os sistemas de controlo e monitorização dos equipamentos de perfuração são importantes na avaliação de desempenho inerente à qualidade final do furo. Na figura 18, observa-se a possibilidade de controlo do posicionamento da coluna de perfuração, com leitura na direcção e da inclinação muito importante para o rigor do paralelismo da perfuração (Ramos, 2008).



Figura 18. Display do equipamento de controlo da coluna de perfuração (“Tamrock Ranger 600”)

### 3.2.1.2. Método de perfuração

Na generalidade, para a execução de um furo são considerados diversos sistemas de penetração na rocha, no entanto, na perfuração para desmonte de rocha, iremos apenas considerar o

---

método mecânico (Gomes et al., 2007). Os principais componentes de um sistema de perfuração deste tipo são:

- A perfuradora sendo a fonte da energia mecânica;
- Os acessórios (aço) de perfuração (varas, uniões e encabadouro) que são o meio de transmissão da energia;
- O bit, ferramenta que aplica a energia sobre a rocha;
- O fluido de limpeza para evacuação das partículas de rocha desagregada na operação.

Existem dois conceitos fundamentais de perfuração para desmonte: i) percussão e ii) rotação. Estes dois conceitos vieram dar origem a duas formas de perfuração: i) rotopercutiva e ii) rotativa. No quadro 17, apresentam-se as diferenças fundamentais dos métodos de perfuração referidos. O ábaco figura 19 relaciona os métodos de perfuração com a qualidade do maciço rochoso e diâmetro de furação.

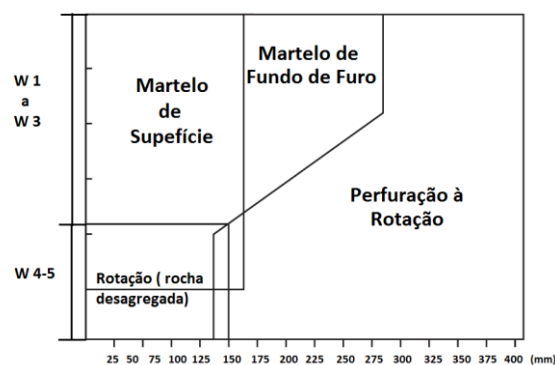


Figura 19. Seleção do método de perfuração em função da dureza da rocha e diâmetro do furo (Sandvik – Tamrock, 2009).

Quadro 17. Diferentes métodos de perfuração (Gomes et al, 2007; Ingersoll Rand, 1999)

<b>a) Rotopercutiva</b>	Este tipo de perfuração assenta nos dois conceitos referidos: rotação e percussão. É o sistema clássico de perfuração para o desmonte de rocha. Foi descoberto no século XIX, utilizando a energia fornecida por uma máquina a vapor (Singer, 1838 e Couch, 1848). Em 1861, na execução do túnel do Monte Cenís, foi utilizado pela primeira vez o ar comprimido. Este acontecimento associado ao aparecimento da dinamite foi decisivo para o rápido desenvolvimento da indústria de desmonte de rocha. O método de perfuração rotopercutivo tem como princípio fundamental a transmissão da energia produzida por um pistão (martelo) à rocha, provocando a perfuração e usando a rotação para que esses impactos se transmitam no furo em várias posições. Existem três tipos de equipamento de perfuração rotopercutiva, distinguindo-se pelo posicionamento do martelo (energia) relativamente ao furo.	<b>b) Martelo à cabeça</b>	A percussão e a rotação são desenvolvidas no martelo que se encontra no exterior do furo. A energia é transmitida através de varas e outras ferramentas de perfuração ao fundo do furo. Existem martelos de accionamento pneumático e hidráulico. A perfuração com martelo à cabeça tem uma grande aplicação até ao diâmetro de 89 mm. É de frisar que a perda na transmissão da energia por acoplamento é bastante significativa neste tipo de perfuração. Ela é de cerca de 4 a 6% em cada união, atingindo mesmo os 10% na primeira união.	
		<b>c) Martelo de fundo de furo</b>	É um martelo só com percussão, que trabalha sempre no fundo do furo, sendo a rotação feita no exterior do furo. Martelo tradicionalmente accionado a ar comprimido, tendo aparecido muito recentemente o accionamento hidráulico (a água). O accionamento da rotação à superfície tanto pode ser hidráulico como a ar comprimido.	
		<b>d) Sistema de perfuração COPROD</b>	O sistema de perfuração COPROD combina a elevada velocidade de penetração da perfuração com martelo à cabeça, com a qualidade da perfuração com martelo de fundo de furo. O sistema consiste na conjugação dos dois princípios de perfuração, com a transmissão da energia independente da rotação. Tal é conseguido com um conjunto de tubos exteriores, responsáveis pela transmissão da rotação, no interior dos quais se encontram as varas de transmissão de energia. Associada a estas vantagens, é de assinalar a não existência de roscas na união das varas (esta é feita topo a topo no interior de um casquilho de bronze), o que possibilita uma transmissão de energia praticamente sem perdas. Por seu lado, os tubos embora roscados, como não sofrem tensões da energia de impacto têm uma vida útil extremamente larga. A combinação destes sistemas e a grande precisão que é possível obter na perfuração, permite retirar as seguintes vantagens especialmente em formações rochosas difíceis: i) menores desvios de perfuração e conseqüente correcção do plano de tiro; ii) maior rendimento de perfuração horária, em especial nas formações rochosas difíceis iii) bancadas mais niveladas e iv) redução das vibrações e risco de projecções.	
<b>e) Rotativo</b>	Apenas se citará este tipo de perfuração visto ter uma aplicação bastante diminuta no desmonte de rochas no nosso país. É utilizada em grandes diâmetros, numa gama que varia entre 250 e 406 mm. As máquinas utilizadas são de grande porte e com um torque e potência elevadas na unidade de rotação. Este tipo de perfuração subdivide-se em dois grupos: penetração por corte e penetração por esmagamento.	<b>f) Corte</b>	Quando a perfuração é feita por este método a energia é transmitida à ferramenta pelos tubos. A rotação e força de avanço exercida pelo bit sobre o maciço rochoso obrigam-no a quebrar em pequenas lâminas. É apenas usada em rochas brandas.	
		<b>g) Esmagamento</b>	A perfuração com este método é conseguida pelo efeito conjunto de duas acções, corte e esmagamento, resultantes da pressão do bit sobre a rocha e da rotação das varas e dos cones do bit. Os bits (roller-bits) têm uma configuração particular que lhes dá maior resistência. A rotação imprimida, bem como uma elevada força de compressão (força de avanço) do bit sobre a rocha, provoca o corte. Normalmente essa força é de 1 a 1,5 t/cm <sup>2</sup> . Este método tornou-se muito popular na perfuração de rochas brandas e em bancadas altas (minas de carvão), tendo posteriormente vindo a ser aplicado nas mais variadas situações: prospecção petrolífera, captações de água, furos piloto para raise borer, etc. Existem bits de configuração e dureza dos cortantes diferentes para as diversas formações rochosas.	



---

### 3.2.1.4. Parâmetros de regulação da perfuração

Os parâmetros de regulação: pressão, avanço e rotação e limpeza, depois de serem definidos em função das características do maciço rochoso, devem ser mantidos constantes em todas as pegadas (quadro 19). Destes quatro parâmetros, o avanço é o que mais poderá entevir na génese do tipo e dimensão do desvio, sendo que o avanço muito alto potencia os desvios de perfuração.

A limpeza do furo também é importante para a execução de um furo alinhado, este parâmetro deve estar bem regulado para não existir fragmentos de rocha entre o bit e o maciço que possam influenciar a sua trajectória (Ramos, 2008).

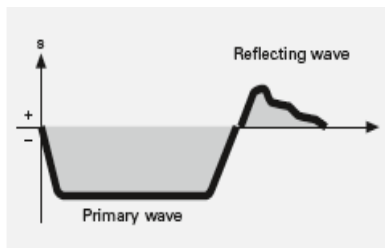
Quadro 19. Parâmetros de regulação da perfuração (adaptado de Gomes et al, 2007 e catálogo Atlas Copco).

---

#### Pressão de percussão

---

Quanto maior for a energia de percussão, maior vai ser a velocidade do pistão e, conseqüentemente a energia. Nos locais onde existe bom contacto entre o bit e a rocha dura e competente, a energia associada à onda de choque vai ser aproveitada ao máximo. Pelo contrário, quando existe mau contacto entre o bit e a rocha, não há transmissão da energia à rocha sendo que a energia muda de sentido, convertendo-se numa onda de tracção. Só nas rochas duras se verifica um aproveitamento máximo da energia. Em rochas de menor dureza, para reduzir a energia reflectida a energia de percussão deve ser reduzida. Para qualquer energia de percussão, a amplitude e conseqüentemente o "stress" no aço da perfuradora, vai ser maior quanto menor for a área transversal das varas.

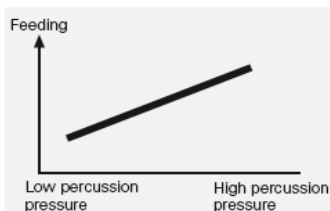


---

#### Força de Avanço

---

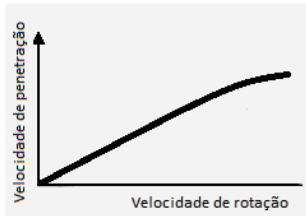
Para que a energia disponível no martelo seja transmitida à rocha, é fundamental haver contacto permanente no fundo do furo entre a ferramenta de corte e a rocha. Este contacto obtém-se através da força de avanço. A força de avanço ideal a aplicar, depende da potência disponível, da fracturação e dureza da rocha, da qualidade e afiação dos cortantes (bits). Porém, uma baixa força de avanço provoca: Menor penetração instantânea; Aumenta o aquecimento nos acoplamentos do material de perfuração e por conseqüência, o desgaste das roscas; Possíveis desapertos do material de perfuração; Desgaste acentuado da zona central dos bits. Uma elevada força de avanço provoca: Maior penetração instantânea; Aumento da possibilidade de encravamento do material; Aumento dos desvios de perfuração; Aumento do desgaste lateral das varas devido ao varejamento destas.



---

### Rotação

A função principal da rotação é rodar o bit para uma nova posição onde será aplicado um novo impacto. A velocidade de rotação a utilizar depende do tipo de rocha, do material de perfuração e inclusive do tipo de bit. Existe uma relação quase directa entre a velocidade de penetração e a velocidade de rotação. É essencial uma regulação adequada da rotação visto que a baixa rotação promove menor avanço e desgaste pontual acentuado do bit por excessiva fragmentação dos detritos de perfuração e alta rotação promove maior avanço e desgaste lateral acentuado do bit devido à velocidade. Para regular a rotação, o operador começa por acertar a velocidade de penetração de acordo com as características da rocha e em seguida regula a rotação de modo a que esta se mantenha suave e constante. Quanto menor é a frequência de impacto menor deve ser a rotação. Quanto maior é o diâmetro do bit menor deve ser a rotação



---

### Limpeza

Para se assegurar uma boa perfuração é necessário que a superfície de contacto entre a ferramenta de corte e o maciço rochoso que se pretende perfurar esteja sempre limpa, sendo necessária uma constante remoção (limpeza) do furo. A velocidade de limpeza depende da densidade específica do material e do tamanho e forma das partículas sendo necessárias injeções do fluido de limpeza a maior velocidade para partículas com maior densidade, maior granulometria e com forma esférica. A limpeza é efectuada através de um fluido (ar, água) que é injectada sob pressão pelo interior do material de perfuração. A evacuação do material removido da rocha é conduzida entre a parede do furo já realizado e a parede exterior das varas de perfuração. São vários os factores que influenciam a eficiência da limpeza: quanto maior for a velocidade de penetração, maior será a quantidade de detritos na unidade de tempo e portanto, maior terá de ser o caudal de fluido de limpeza; com o aumento do comprimento das varas de perfuração, ter-se-á que aumentar o caudal do fluido de limpeza mantendo a pressão de injeção; adequar o caudal e a pressão do fluido ao diâmetro do furo e à relação dos diâmetros furo/vara. A limpeza insuficiente promove: diminuição da velocidade de penetração; aumento do desgaste dos bits; Aumenta a possibilidade de encravamento do material de perfuração.

---

O rendimento industrial de um equipamento de perfuração é obtido através da quantidade de perfuração realizada durante o tempo que demora a executar um conjunto de actividades que se repetem continuamente em todos os furos que são definidas como ciclo de perfuração. As actividades que constituem este ciclo de perfuração estão descritas na figura 20 (Galiza, 2013).

A limpeza e regularização da bancada não fazem parte do ciclo de perfuração, mas sim da actividade de remoção do material, incluída numa das actividades que definem o ciclo de desmonte de rocha. A marcação prévia e rigorosa de toda a perfuração a realizar, embora não incluída no ciclo de perfuração, é uma tarefa muito importante, pois deve ter em conta, para além do sentido de desmonte definido, a situação da frente da bancada e as irregularidades existentes. O alinhamento das fiadas, que deverá ser realizada por técnicos competentes, terá forçosamente de obedecer ao plano de fogo determinado e a uma medição muito rigorosa, evidenciando o local correcto de cada furo a realizar (Galiza, 2013).

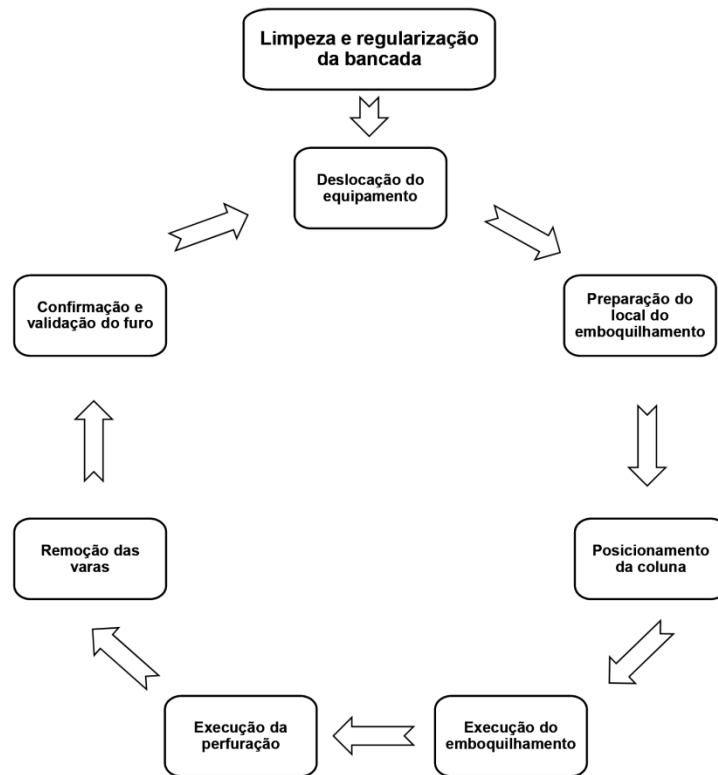


Figura 20. Ciclo de perfuração (Fonseca, 2010) in Galiza, 2013.

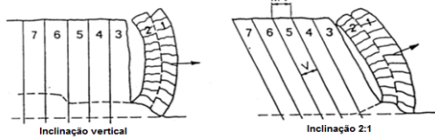
### 3.2.2. Geometria do diagrama de fogo

No quadro 20, encontram-se os parâmetros da geometria do diagrama de fogo, sendo que apenas os três assinalados (X) têm influência na génese dos desvios de perfuração. Considera-se a orientação da bancada como um parâmetro geométrico a ter em conta devido à importância que assumam na leitura dos desvios, como se poderá comprovar mais adiante (Ramos, 2008).

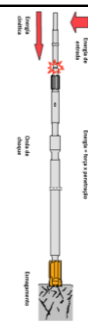
Quadro 20. Parâmetros do diagrama de fogo (Ramos, 2008).

Quadro 23 – Parâmetros do diagrama de fogo						
d		X	Inclinação do furo	mm	<p><b>Diâmetro do furo:</b> Depende largamente do volume pretendido a desmontar num determinado período de tempo. Para um dado equipamento de perfuração, quanto maior for o diâmetro do furo praticado, maior será a produção em m<sup>3</sup> de rocha desmontada. A escolha do diâmetro do furo é condicionada por vários factores, tais como a fragmentação pretendida, o controlo de vibrações, o controlo das projecções e a altura da bancada (Gomes et al., 2007). Segundo a fórmula de Langefors &amp; Kihlstrom (1978), <math>F = (d / 1000) + 0,3 \times H</math>, verifica-se que o diâmetro do furo influencia na resultante dos desvios. No caso da expressão referida, o aumento do diâmetro do bit faz aumentar os desvios espectáveis, o que na prática não é isso que acontece, sendo precisamente o contrário.</p>	
K			Altura da bancada	m		
U			Subfuração	m		
H		X	Diâmetro do furo	m		
V			Distância à frente	m		
E			Espaçamento entre furos	m		
I		X	Comprimento do furo	º		
h <sub>0</sub>			Tamponamento	m		
Orientação			Furos	N E		
			Frente livre	N E		

**Inclinação do furo:** Apesar de ser mais fácil a execução de perfuração vertical, é corrente a perfuração inclinada (mais difícil e dependente da qualidade do equipamento de perfuração assegurar o paralelismo entre furos). Os resultados são francamente mais favoráveis, vendo-se reduzido o aparecimento de irregularidades na soleira da bancada (pé), evitando a tendência para que esta suba à medida que se vão realizando sucessivas pegas, facilitando as operações de carregamento do material desmontado. Muitas vezes após a remoção deste, vemo-nos obrigados a rebentar pequenas cargas para remover esse pé, antes de efectuar nova pega. Esta prática é de custo elevado pela perfuração que exige e de grande risco na produção de projecções. A perfuração associada a uma sub-furação conveniente facilita o corte da rocha segundo o plano da soleira, resultando a possibilidade de cargas específicas mais baixas entre 10 a 15%. São habitualmente utilizadas inclinações de 2:1 e 3:1 (Gomes et al., 2007).


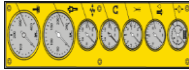
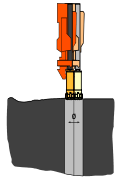
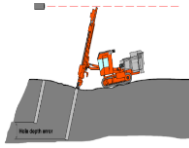


**Comprimento do furo:** É um dos parâmetros da geometria do diagrama de fogo que mais poderá influenciar os desvios de perfuração, principalmente quando se ultrapassa uma certa profundidade. Isto deve-se, essencialmente porque à medida que o furo avança, o ponto de emissão de energia (martelo à cabeça), está cada vez mais afastado do ponto de actuação de energia (maciço rochoso), havendo maior comprimento de varas entre esses dois pontos, levando a existir maior susceptibilidade à flexão das varas, logo, a possibilidade de ocorrer maiores desvios de perfuração.



### 3.2.3. Outros parâmetros de avaliação

Quadro 21. Matriz de avaliação do operador, parâmetros de regulação, emboquilhamento e regularidade (Ramos, 2008).

Matriz de avaliação do operador, parâmetros de regulação, emboquilhamento e regularidade (Ramos, 2008)					
Operador	É um dos parâmetros mais importantes a avaliar, contudo também é o mais difícil. Devido à dificuldade na avaliação do operador, criou-se uma avaliação de três parâmetros que permite avaliar o desempenho do operador: a experiência que o operador possui para desempenhar o cargo, a sensibilidade do operador para a execução do furo e o conhecimento geral na área de perfuração, domínio dos sistemas de controlo e monitorização do equipamento (TESE 13). O operador terá de ter experiência, formação técnica específica contínua, e o equipamento ser de uma gama alta ao nível tecnológico para se conseguir, assim, a diminuição, por exemplo, dos erros por incorrecto posicionamento da coluna de perfuração.		Experiência	Muita	1
				Alguma	2
				Pouca	3
			Sensibilidade	Muita	1
				Alguma	2
				Pouca	3
			Conhecimento	Muita	1
Alguma	2				
Pouca	3				
Código de classificação					
Parâmetros de regulação	São considerados parâmetros de regulação: a pressão, o avanço, a rotação e a limpeza. Destes quatro parâmetros, o avanço é considerado o parâmetro que mais poderá influenciar na génese do tipo e amplitude do desvio, sendo que avanço muito elevado potencia os desvios de perfuração. Para executar furos bem alinhados é necessário que o furo esteja bem limpo, evitando que exista entre a ferramenta de corte e o maciço, fragmentos de rocha que possam influenciar a trajectória do furo (Ramos, 2008).		Rotação (bar)		
			Pressão (bar)		
			Limpeza (bar)		
			Avanço (bar)		
Emboquilhamento	Pretende-se que a bancada se encontre o mais regular e limpa possível não apresentando material solto na superfície, com o objectivo de obter um emboquilhamento do bit na rocha (TESE 15). Como vantagens: i) possibilidade de realização do emboquilhamento directamente no maciço; ii) potencia uma qualidade superior na perfuração, os factores que intervêm são menores, na superfície resumem-se à eficácia do equipamento e do operador; iii) redução do tempo do ciclo total de execução do furo. Como desvantagens: i) necessidade de uma maior atenção na movimentação do equipamento (há aumento do tempo na movimentação do equipamento entre furos); ii) maior probabilidade de ocorrência de erros de cota na profundidade da perfuração.		Na rocha	0	
			Pouco Material Desagregado	< 0,25	
			Algum Material Desagregado	0,25 - 0,5	
			Muito Material Desagregado	> 0,5	
Regularidade da Bancada	É importante que a bancada seja regular para que o equipamento de perfuração fique o mais estável possível para a execução do furo. Para classificar este parâmetro é medido os intervalos de desnível entre furos, tornando assim possível ter uma percepção da maior ou menor dificuldade de estabilização do equipamento de perfuração. Como desvantagens: i) maior cuidado na movimentação do equipamento; ii) aumento do tempo de movimentação do equipamento de furo para furo; iii) potencia erros de profundidade de perfuração. Como vantagens: i) permite a realização do emboquilhamento directamente ao maciço; ii) melhor qualidade da perfuração que passa a depender quase que exclusivamente do equipamento e do manobrador e iii) diminui o tempo de ciclo total de execução do furo.		Regular	< 0,5	
			Irregular	0,5 - 1,0	
			Muito Irregular	> 1,0	

---

### 3.3. Medição dos desvios

Pretende-se neste estudo obter o comportamento do furo em toda a sua extensão, que irá permitir uma análise das causas dos desvios da perfuração. Esta análise deve estar enquadrada por uma metodologia que, englobando a totalidade dos desvios existentes, permita ao perceber as causas a aplicação de melhorias, tendo em vista a minimização ou correcção dos erros (Galiza, 2013).

De forma a zelar pela qualidade / alinhamento da perfuração devem considerar-se algumas medidas:



1. Escolha do tipo de ferramenta de perfuração adequada ao maciço e ao trabalho. O seu grau de desgaste deve ser monitorizado com frequência;
2. O equipamento de perfuração deve estar em correcto estado de conservação de forma a garantir a funcionalidade e estabilidade do conjunto equipamento/ferramenta de perfuração, devendo evitar-se a existência de folgas e desgastes anormais nas articulações e macacos. É fundamental assegurar a rigidez da coluna de perfuração;
3. Correcta implantação do local do emboquilhamento do furo e precisão na colocação da coluna, esta deve estar colocada de forma estável e apoiada o mais possível no solo;
4. A operação de alinhamento tem que ser realizada de forma cuidadosa. Quer o operador esteja instalado na cabina, ou no solo, deve ter sempre boas condições de visibilidade;
5. Apesar dos automatismos existentes nos modernos equipamentos de perfuração, o operador deve manter-se sempre atento de forma a procurar detectar e corrigir qualquer anomalia;
6. Criteriosa combinação dos parâmetros do avanço, rotação, percussão e limpeza. Durante a operação de início do furo (emboquilhamento) estes parâmetros são usualmente reduzidos, sendo que os equipamentos possuem dispositivos automáticos que permitem o emboquilhamento em condições adequadas;
7. Controle adequado da profundidade de furação;
8. Operador – Neste tipo de actividade cuja precisão é especialmente importante a perícia e atenção do manobrador são fundamentais. Um erro resultante de incompetência não é passível de correcção posterior.

O grau de desvio é directamente proporcional ao comprimento do furo. As condições geológicas são o factor com maior preponderância nos desvios da furação. Zonas alteradas, falhas, juntas e heterogeneidades do maciço são condicionantes para a qualidade do alinhamento requerido.

### 3.3.1. Boretrak

Os desvios são inerentes à operação de perfuração e influencia a qualidade da fragmentação. É então necessário um sistema capaz de medir esses mesmos desvios de forma a garantir uma operação de desmonte mais segura, mais produtiva e com influência directa nos custos associados. O Boretrak é um equipamento capaz de medir os desvios em toda a extensão do furo e assim permitir uma análise das causas desses mesmos desvios (quadro 22). É constituído por uma sonda com dois inclinómetros colocados perpendicularmente um ao outro, por um ou dois conjuntos de varas articuladas com um suporte para as varas ("Rodded Boretrak"), ou então por um cabo ("Cabled Boretrak"), e por um dispositivo de controlo, que permite o levantamento contínuo de desvios laterais [ângulo real perpendicular à frente de desmonte (Norte/Sul)] e desvios frontais [ângulo real medido paralelamente à frente de desmonte (Este/Oeste)], permitindo também saber a profundidade real de cada furo (quadro 23).

Quadro 22. Constituição e caracterização do equipamento Boretrak (adaptado de <http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak>; Fonseca, 2008; Galiza, 2013).

<i>Equipamento</i>	
	
<b>Rodded Boretrak</b>	<b>Cabled Boretrak</b>
<i>Partes constituintes do equipamento</i>	
<i>O Boretrak é constituído por:</i>	
<i>Uma sonda com dois inclinómetros perpendiculares, eixos ("pitch &amp; roll")-(B);</i>	
<i>Um conjunto de varas articuladas leves com 1 m de comprimento cada e suporte-(C);</i>	
<i>Um dispositivo de controlo (notebook e bateria electrónica)-(A);</i>	
<i>Um microcomputador com programa informático compatível.</i>	

Quadro 23. Ilustração esquemática, e modo de operação do equipamento Boretrak (adaptado de <http://www.geocom.cl/productos/renishaw-boretrak>; Fonseca 2008; Galiza, 2013).

---

#### Princípio de Funcionamento

---

O equipamento Boretrak tem integrado uma tecnologia com um único chip microprocessador que utiliza sensores electrolíticos de gravidade para determinar a inclinação. O equipamento deve ser criteriosamente colocado perpendicular ou paralelo ao sentido da furação, consoante o azimute definido, a sonda faz duas leituras em cada registo, "Pitch" e "Roll", que representam duas inclinações medidas perpendicularmente entre si, a partir das quais se consegue calcular os desvios laterais e frontais. Posto isto é de fácil dedução que a mínima distorção na colocação do equipamento Boretrak se reflecte numa leitura pouco fidedigna das inclinações e consequentemente dos desvios de perfuração. O comprimento do furo é indicado através da contagem do número de varas introduzidas no furo

---

#### Modo de Operação

---

A sonda é conectada à primeira vara e posteriormente introduzida no furo até à profundidade pretendida de leitura, que pode ser de 1 a 9 m. As varas têm 1 m cada, que permite controlar fácil e rigorosamente a profundidade da leitura. Após colocação da sonda à profundidade pretendida para a primeira leitura apenas se tem que imobilizar o conjunto (varas mais sonda) e com a ajuda do dispositivo de controlo, registar a primeira leitura, o intervalo de leitura é definido no início do ensaio e mantém-se constante ao longo do mesmo. Este processo é repetido até atingir a cota final, nessa altura é corrigida a profundidade do furo e assim sucessivamente até ao fim do ensaio. Depois de o ensaio feito são descarregados os resultados para um computador com software compatível no qual é permitida uma primeira análise gráfica do estado da furação

---

---

#### Ilustração esquemática do funcionamento e modo de operar do equipamento Boretrak

---

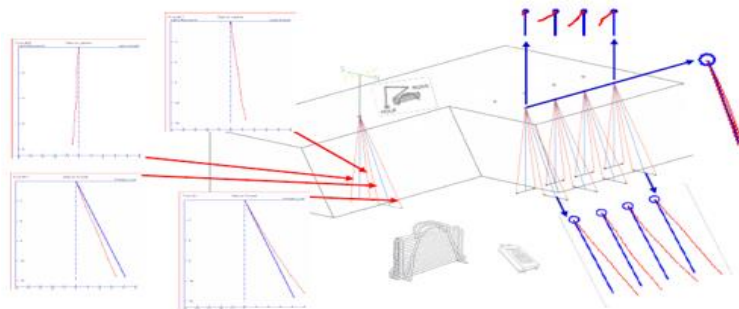
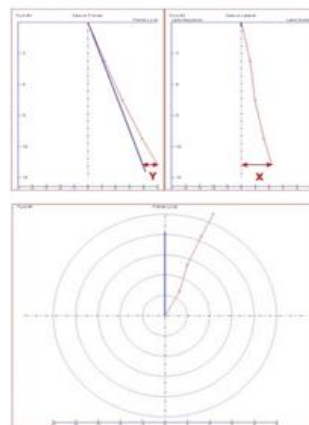


Ilustração esquemática de funcionamento do equipamento Boretrak.



Modo de operação Boretrak e respectiva análise gráfica

---

---

**4 – Enquadramento/caracterização geológico-geotécnica e geomecânica do maciço rochoso da pedreira da Curviã nº2**

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

#### **4. Enquadramento/caracterização geológico-geotécnica do maciço rochoso da pedreira da Curviã nº2**

##### **4.1. Introdução**

A presente investigação teve como objectivo a realização de uma análise aos desvios de perfuração em maciço rochoso, tendo sido previamente efectuada uma caracterização geológico-geotécnica e geomecânica através do levantamento das descontinuidades presentes sendo para esse efeito, utilizada a técnica da amostragem linear “scanline”. Este trabalho foi realizado na pedreira da Curviã nº2 (Famalicão) a partir do levantamento, análise e posterior tratamento dos dados recolhidos com o equipamento “Boretrak”.

##### **4.2. Enquadramento Geográfico**

A investigação no âmbito desta tese foi desenvolvida na pedreira da Curviã nº2 (figura 21), propriedade da empresa SECIL BRITAS S.A., e cujo centro de exploração de rocha industrial e ornamental, está localizado a cerca de 1000m a sudoeste da localidade de Portela e cerca de 1000m a oeste de Airão, no lugar da Curviã, concelho de Vila Nova de Famalicão no distrito de Braga.

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

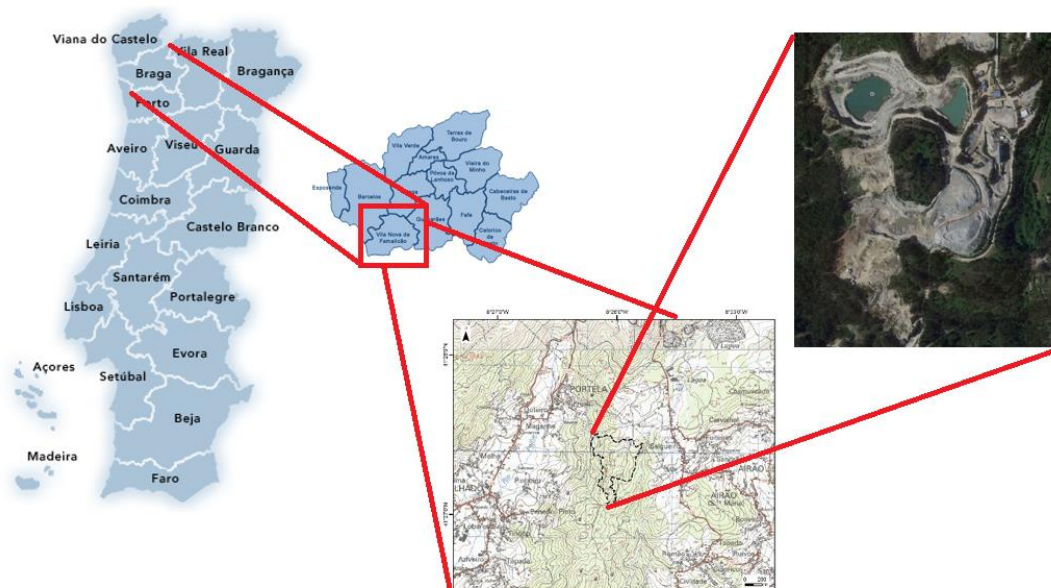


Figura 21. Enquadramento geográfico da pedreira em estudo.

### Vias de acesso

Para quem se desloca do Porto, um dos trajectos possíveis, é tomando a A3 até à saída para Guimarães (A7). Cerca de 5,2 Km à frente, é necessário tomar a saída para Vermoim/Seide (N 206). Seguindo em frente e a cerca de 650m é necessário virar à esquerda em direcção a Famalicão/Vermoim. Andando cerca de 1.6 Km, aparecem novas indicações seguindo a direcção de Guimarães/Vermoim (N206). Cerca de 3.5 km à frente, é necessário mudar de direcção à esquerda em direcção a Airão, percorrendo cerca de 2 km até aparecer uma placa com indicação da SECIL. Poucos metros à frente encontram-se os escritórios de suporte à perdeira.

Da rede viária que circunda e serve a área da pedreira mais próxima, destaca-se as seguintes vias:

#### Rede principal (Estradas Nacionais):

- ER206 - entre Vila do Conde e Guimarães, constitui a principal ligação entre as estradas municipais e as auto-estradas IP1 (A3) e IC5 (A7);
- IP1 (A3) - serve de ligação para os principais destinos – Porto e Braga;
- IC5 (A7) – actualmente liga Póvoa do Varzim (IC1) – Famalicão – Guimarães – Fafe – Vila Pouca de Aguiar.

#### Rede distribuidora e secundária (Estradas municipais):

- EM309 – liga a freguesia de Portela, Telhado e outras à ER206, no sentido sul e no sentido norte liga com a EN14;

- 
- EM628 – liga as freguesias de Airão (S. João Baptista) e Airão (Sta. Maria) à ER206, no sentido sul e no sentido norte, liga a EM309 que por sua vez liga à EN14 (Porto-Braga).

### 4.3. Enquadramento geológico

O maciço rochoso em estudo faz parte de uma faixa de granitóides relacionados com a orogenia Varisca (ou Hercínica). Do ponto de vista geotécnico, este insere-se nos terrenos graníticos da zona Centro-Ibérica (ZCI) do maciço Ibérico, o que corresponde a uma das unidades mais importantes dentro do maciço Hespérico.

A região encontra-se cartografada, à escala 1/50 000, pelos serviços Geológicos de Portugal [Folhas 5-D (Braga) – Ferreira et al., 2000 e 9-B (Guimarães) – Andrade & Rocha, 1986].

Na região em que se enquadra a pedreira em apreço (figura 22), afloram alguns tipos de granitoides Sin e Tardi D3, com porfiroidismo acentuado ou esparso, cuja exploração foi, desde sempre, bastante intensa em várias zonas, assumindo grande relevo a actividade actual para a produção de inertes. Também ocorrem, em áreas restritas ou conjuntamente, outros tipos de rochas de tendência mais básica, nomeadamente quartzodioritos biotíticos.

Os tipos litológicos ocorrentes na região, descritos dos mais antigos para os mais recentes compreendem:

- Granitos porfiroides de grão grosseiro ou médio a grosseiro, essencialmente biotíticos (“Granito de Guimarães”), caracterizadas pela abundância de megacristais de feldspato potássico, em geral de contornos relativamente mal definidos. Este granito constitui um plutonito alongado na direcção NW-SE, com cerca de 65 km de comprimento e 25 km de largura.
- Granito de grão médio a fino, com tendência porfiroide, essencialmente biotítico (“Granito de Braga”), incluído numa sequência de intrusões mais tardias nos granitoides anteriores. Tem tendência monzonítica, porfiroidismo esparso e apresenta-se praticamente sem deformação.
- Quartzodioritos biotíticos habitualmente de granulado fino ou médio, formando a nível regional, pequenas manchas alongadas e, localmente, pequenas bolsadas ou encraves no seio das massas graníticas.
- Filões de quartzo ou pegmatíticos, associados a falhas de direcção média entre N 45° E a N 75° E.
- Aluviões, de idade quaternária, constituindo depósitos areno-argilosos em relação directa com algumas das linhas de água.

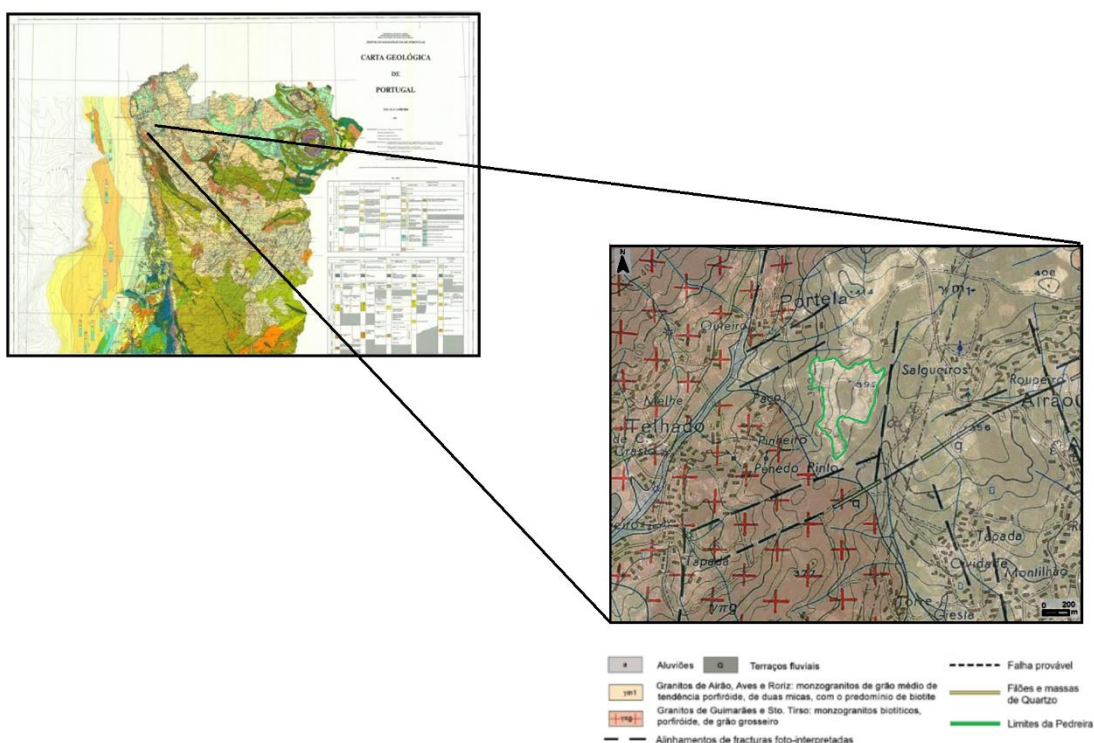


Figura 22. Enquadramento geológico da pedreira da curviã nº2.

Quanto ao material explorado na pedreira, este é um granito com carácter monzonítico, por vezes granodiorítico, de grão médio, com tendência porfiroide, de duas micas, essencialmente biotítico, fracturado e alterado em alguns locais da pedreira (“Granito de Braga”). Macroscopicamente, apresenta cor cinzenta azulada escura, quando fresca, ou amarelada nas zonas de alteração superficial e na proximidade de algumas fracturas e diáclases. A ligeira tendência porfiroide traduz-se pela ocorrência de megacrístais de feldspato, algo dispersos e de granulometria variável. A rocha de tonalidade amarela circunscreve-se, sobretudo, à zona de alteração superficial e a algumas estreitas faixas ao longo dos bordos de algumas diáclases, onde se verificou a circulação das águas superficiais ou infiltradas. Outras vezes, essa tonalidade está associada a zonas de esmagamento (cisalhamentos, caixas de falha). Alguns cisalhamentos são responsáveis pela tectonização de faixas de massa rochosa sem que se verifique alteração substancial da coloração cinzento-azulada, notando-se, no entanto, ligeira caulinição dos feldspatos. Algumas das principais diáclases, com particular relevo para as de orientação N 45° E e N 75° E, apresentam preenchimento centimétrico com material argiloso, por vezes caulínico, e evidência de movimentação, provocando esmagamento dos bordos das fracturas e superfícies estriadas. Noutros casos, encontram-se preenchidas por filonetes pegmatíticos ou quartzíticos, recristalizações de sílica e deposições dispersas de pirite, a qual, uma vez oxidada, origina pequenas manchas amareladas ou acastanhadas, localmente com escorrências ferruginosas.

#### 4.4. Caracterização geral do maciço em estudo

Esta tese surgiu na tentativa de integrar a informação recolhida em tese anterior, servindo de suporte geológico-geotécnico, e aprofundar o tema dos desvios de perfuração, tentando em última análise, e se possível, uma interpretação conjunta dos dados recolhidos.

Em junho de 2014, para a elaboração da tese do engenheiro Diogo Silva, foi necessário o levantamento de descontinuidades para fazer a caracterização geológica-geotécnica (figura 23) necessária e fundamental na realização da mesma. Esta tese foi realizada na pedreira da Curviã nº 2 em Vila Nova de Famalicão e, tendo em conta que o levantamento é um trabalho moroso sendo necessário pelo menos duas pessoas para que se possa otimizar e levar a bom porto os trabalhos necessários, foi pedida a minha participação no campo, no sentido de ajudar o meu colega. Assim sendo, e na tentativa de aproveitar o trabalho já feito, pensou-se num tema que pudesse conciliar a informação já recolhida e tratada e que desse a possibilidade de fazer uma nova investigação. Assim sendo, pensou-se numa análise aos desvios de perfuração como sendo uma boa opção e cujo resultado final da investigação poderia ter efeitos práticos na indústria extractiva.

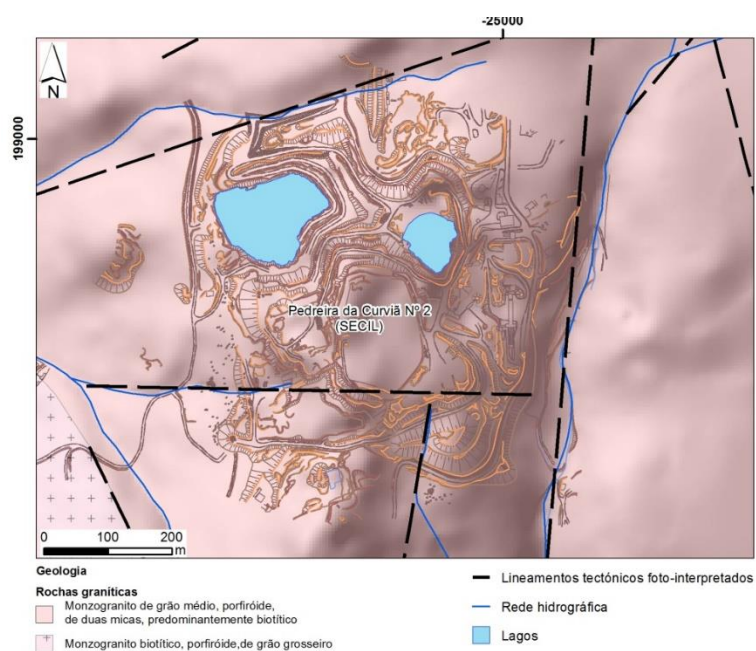


Figura 23. Esboço geológico local da área da pedreira da Curviã n.º 2 e envolvente (Adaptado de Montenegro de Andrade et al., 1986).

Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear para a caracterização e avaliação geológico-geotécnica e geomecânica das superfícies expostas do material-rocha granítico, foram analisados estatisticamente recorrendo a diagramas geológico-estruturais

(diagramas de contorno estrutural ou estereogramas, e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição das famílias de descontinuidades e a sua representatividade.

A análise dos diagramas geológico-estruturais da figura 24 permite constatar que as descontinuidades dos seis patamares caracterizados se concentram em duas famílias principais, sendo: a mais importante (1) N40°-80°E, com inclinações que variam entre 60°-85° para SE e a segunda família (2) N120°-160°E, com pendores que oscilam entre 55°-80° para NE.

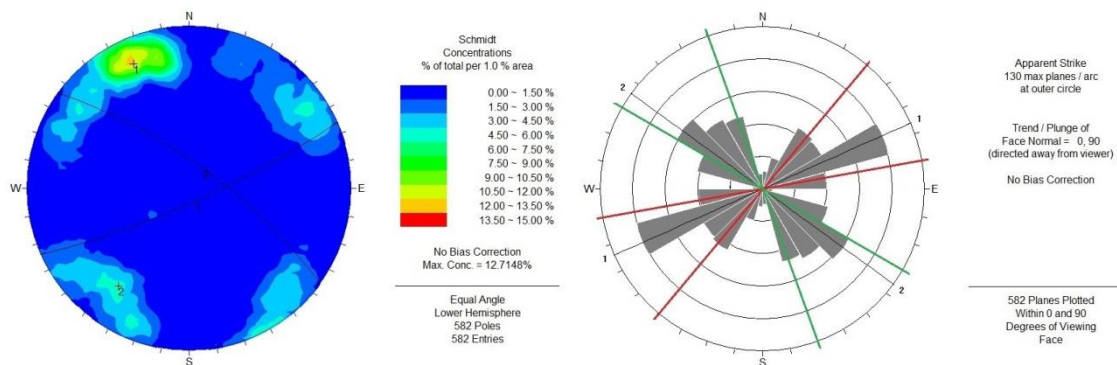


Figura 24. Diagramas geológico-estruturais: diagrama de controlo estrutural (estereograma) e diagrama de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=582) do maciço granítico do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) projectados em intervalos (pétalas) com 15 ° de amplitude, sendo o primeiro intervalo [0°; 10° [.

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

Visto que as duas famílias apresentam a sua maior representatividade em diferentes intervalos com 15° e 40° de amplitude, de pétala e família, respectivamente, existe assim a necessidade da definição da atitude média das principais famílias de descontinuidades (quadro 24).

Quadro 24. Síntese dos dados geológico-estruturais da fracturação.

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

Amplitude das pétalas 15°

---

Amplitude das famílias 40°

---

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


Os parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos foram caracterizados na generalidade do maciço rochoso estudado, de acordo com os critérios propostos pela ISRM (1978, 1981, 2007) e GSE (1995). Nas Figuras 5 a 14 é apresentada toda a estatística referente à descrição destas propriedades do maciço rochoso da pedreira da Secil Britas de Vila Nova de Famalicão. Em cada análise é representado o número de descontinuidades para a primeira, segunda e terceira (se existir) família, para as famílias principais, para as aleatórias e para o número total das descontinuidades cartografadas.

#### 4.4.1. Caracterização do material rochoso

O quadro 25 apresenta um resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração.

Quadro 25-Resumo do estudo petrográfico das amostras do granito do centro de exploração (CICOPN, 2010) in Dias, 2013.

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



#### Grau de Alteração

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

Verifica-se, através da análise figura 25, que a rocha se apresenta, maioritariamente, são ou não alterada, W1 (66%), ocorrendo em percentagens, algo expressivas (23%) descontinuidades ligeiramente alteradas, W2, e pouco expressivas (11%) descontinuidades mediamente alteradas, W3. Devido ao maciço apresentar-se muito pouco alterado, o material-rocha apresenta globalmente uma tonalidade acinzentada. Da análise das principais famílias, constatou-se que não se verificam variações em relação à análise geral, ou seja, predomina um maciço são ou não alterado, W1, com algumas descontinuidades W2 e W3.

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

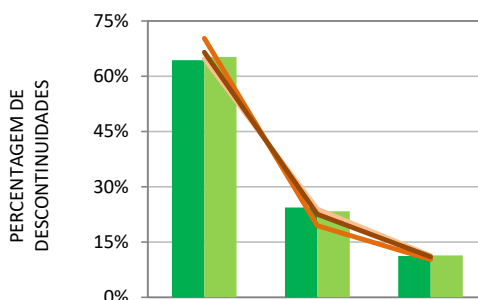


Figura 25. Grau de alteração do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

### Tipo de descontinuidade

A figura 26 mostra, de entre as 582 descontinuidades analisadas, que há uma clara predominância (92%) de diaclases. As restantes superfícies de descontinuidade (8%) correspondem a falhas. Ao analisar os tipos de descontinuidade mais frequentes nas famílias principais, verifica-se, o predomínio da mesma representatividade global para diaclases e falhas.

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

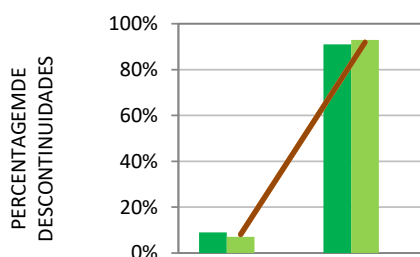


Figura 26. Tipo de descontinuidade presente no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

## Grau de fracturação ("fracture intercept")

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

A análise global do grau de fracturação, utilizando os critérios da ISRM (1978, 1981) e as recomendações de Priest (1993), permite verificar que a intensidade da fracturação é distribuída pelas cinco classes definidas (figura 27) com uma maior expressão, 33% são descontinuidades afastadas (F2). A estas seguem-se, com 26% as descontinuidades medianamente afastadas (F3), com 23%, as descontinuidades muito afastadas (F1), com 13% as descontinuidades próximas (F4) e ainda com alguma expressão, 5% de descontinuidades muito próximas (F5). Relativamente às principais famílias, verifica-se, maior representatividade de descontinuidades afastadas (F2), seguidas das descontinuidades medianamente afastadas (F3), muito afastadas (F1), próximas (F4) e muito próximas (F5).

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

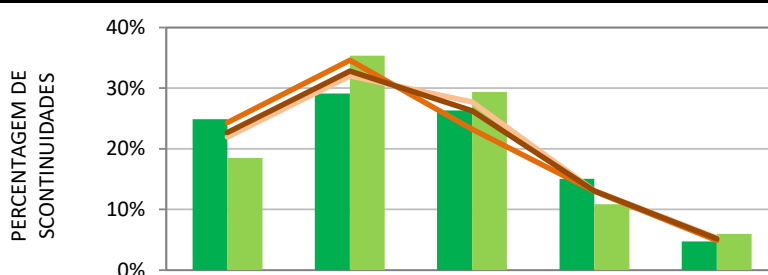


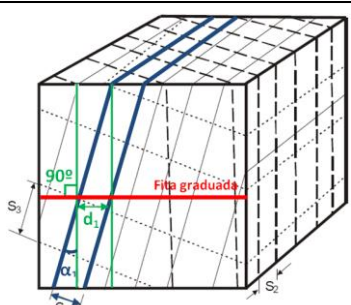
Figura 27. Grau de Fracturação "Fracture Intercept" no maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

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

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

A recomendação do ISRM (1981) para definição do parâmetro “Fracture Intercept”, ou seja, expresso em termos de espaçamento independentemente das famílias de descontinuidades, nos estudos de compartimentação de maciços rochosos para fins de engenharia é de extrema importância. A inclinação das descontinuidades representativas neste maciço levou, tal como preconizado pela ISRM (1981) e Priest (1993), a uma correção do espaçamento médio das descontinuidades, como evidencia o quadro 26. Os valores do espaçamento médio corrigido dão a ordem de grandeza em que o maciço rochoso se encontra compartimentado, tendo esses valores alguma variação significativa atendendo à anisotropia do maciço rochoso e devendo-se ter sempre presente que, estes espaçamentos são valores médios e, como foi referido anteriormente, pela sua natureza anisotrópica, apresentam um elevado coeficiente de variação, que possivelmente só um adequado tratamento estatístico poderia reduzir.

Quadro 26. Espaçamento médio das descontinuidades para o maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Família	Direcção	Espaçamento médio	Correcção do espaçamento (ISRM, 1981; Priest, 1993)	Espaçamento médio corrigido	Nº Descontinuidades
		cm		cm	
1º F	N61ºE; 80ºSE	150	 $S_1 = d_1 \cdot \text{sen}(\alpha)$	115	213
2º F	N131ºE; 74ºNE	174		126	184
FP	Famílias Principais	81		52	397
A	Aleatórias	183		167	185
G	Geral	58		48	582

## Abertura

Relativamente à abertura, segundo a análise da figura 28, verifica-se que as descontinuidades, cerca de 59%, são classificadas como fechadas e 41% como abertas. O valor médio da abertura é de 1,6 mm. É de referir que cada uma das classes de abertura está dividida em três subclasses, o que torna possível uma análise mais precisa. No maciço, em geral, verifica-se, que as descontinuidades classificadas como fechadas encontram-se na sua maioria na subclasse muito apertadas, as descontinuidades classificadas como abertas encontram-se com maior representatividade na subclasse razoavelmente larga. Numa análise pormenorizada, pode-se

constatar, que nas famílias principais as descontinuidades são na sua maioria classificadas como fechadas e abertas, sendo a subclasse, respectivamente, muito apertada e razoavelmente larga.

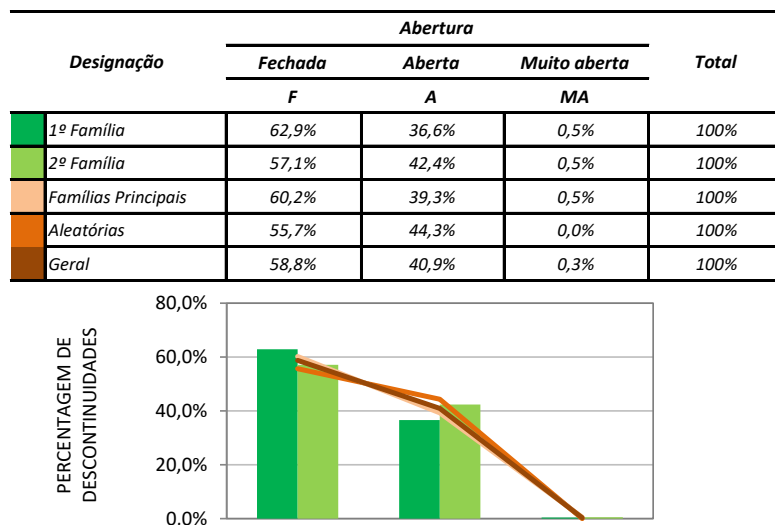


Figura 28. Tipo de abertura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

## Continuidade

A continuidade (figura 29) caracteriza a extensão em área de uma descontinuidade num dado volume de rocha. O estudo da continuidade das descontinuidades numa bancada pode ter um factor de distorção que é a própria altura da bancada (K), por esse motivo a leitura da continuidade das descontinuidades poderá ser complementada pelo seguinte parâmetro: a terminação. Assim, um grande número de descontinuidades terminadas em rocha indicará à partida, uma menor continuidade das mesmas, pelo contrário, se uma descontinuidade termina de forma obscura, pode indicar, uma maior continuidade das mesmas.

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

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

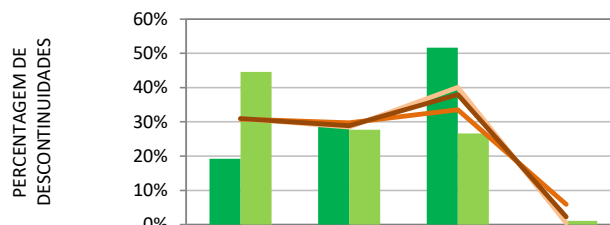


Figura 29. Continuidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

## Terminação

No que respeita à terminação (figura 30), na generalidade do maciço, verifica-se que 77% da terminação das superfícies de descontinuidades é noutra descontinuidade, 21% terminam na rocha, tendo as restantes 2% terminação indefinida (obscura). Nas famílias principais não se verificam alterações face à análise geral do maciço rochoso.

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

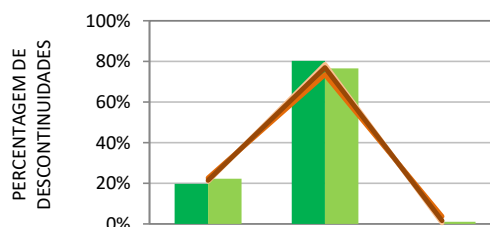


Figura 30. Tipo de terminação das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

## Curvatura

Em termos globais, a curvatura (figura 31) das descontinuidades é fundamentalmente do tipo planas a ligeiramente curvas (C1-2), com cerca de 73%, seguidas de 26% de descontinuidades curvas (C3) e com menor expressão, 1% das descontinuidades são muito curvas (C4-5). Na análise das famílias principais verifica-se que não existem diferenças significativas na distribuição das descontinuidades em relação à análise geral do maciço.

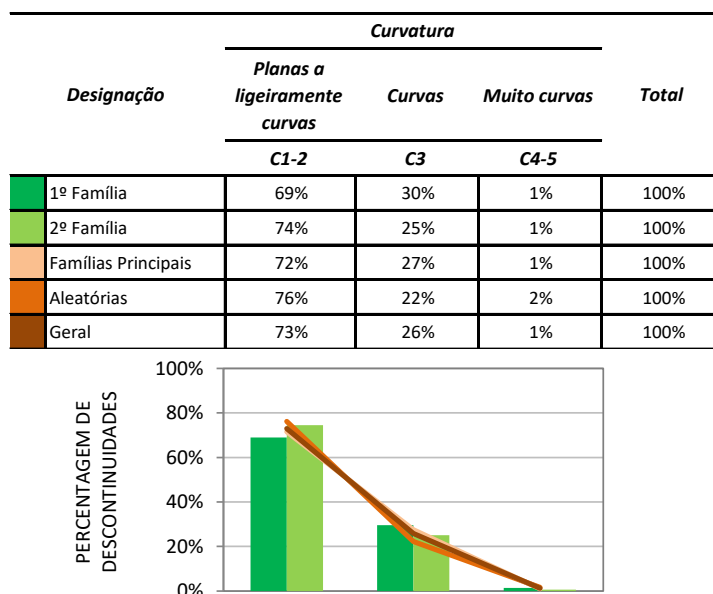


Figura 31. Tipo de curvatura das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

## Rugosidade

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

Numa abordagem geral, a rugosidade (figura 32) com mais expressão é do tipo ondulada com 74% das descontinuidades, seguindo-se, com 15% as descontinuidades com rugosidade do tipo plana e por último, com menor expressão (11%) as descontinuidades com tipo de rugosidade denteada. É de destacar que as três classes definidas para a rugosidade podem-se subdividir em três subclasses cada. Assim, as classes de rugosidade apresentam, respectivamente, com maior

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

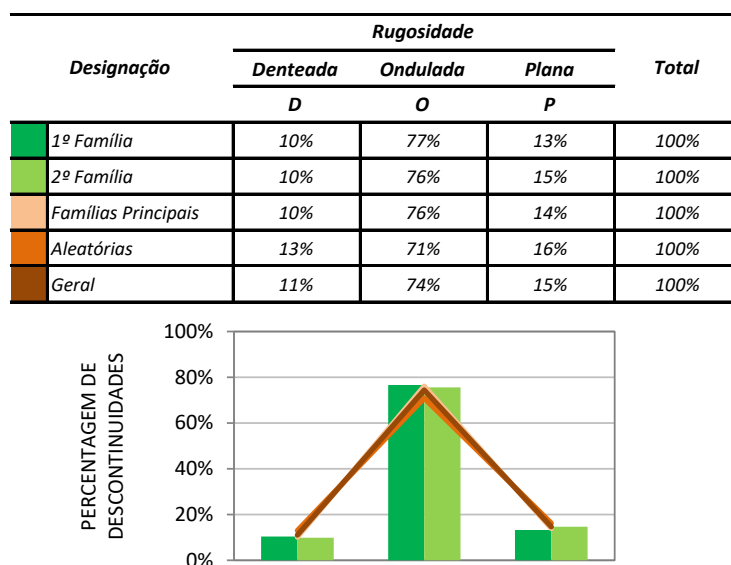


Figura 32. Rugosidade das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

### Tipo de preenchimento

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

Quanto ao enchimento/preenchimento, na figura 33, pode-se constatar que 85% das descontinuidades não são preenchidas por qualquer tipo de material, por outro lado, a abertura de 8% e 6% das descontinuidades é, respectivamente, preenchida por cataclasito/milonito e por outro tipo de material. Na análise das famílias principais, verifica-se que o preenchimento das descontinuidades não teve variação face à análise geral.

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

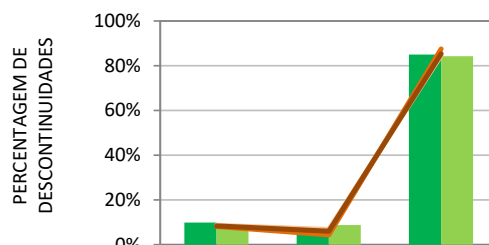


Figura 33. Tipos de enchimento/preenchimento das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

### Presença de água

Quanto à presença de água no maciço, apreende-se, através da figura 34, que as descontinuidades se apresentam maioritariamente secas (89%), salientando-se 9% das descontinuidades apresentam-se húmidas. A percentagem de descontinuidades gotejantes não é, contudo, desprezável (2%). Esta última situação pode estar relacionada com a circulação de água subterrânea na abertura das descontinuidades. Da análise das famílias principais verifica-se que não existem diferenças significativas na distribuição das descontinuidades em relação à análise geral do maciço.

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

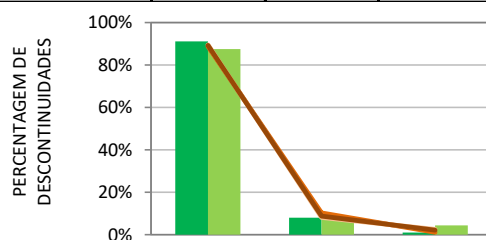


Figura 34. Presença de água nas descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

---

### **Resistência à compressão uniaxial**

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

Para uma amostragem de 114 estações geomecânicas recorrendo à utilização deste instrumento e através das curvas de calibração (Ábaco de Miller), adequadas ao modelo utilizado e considerando uma densidade média da rocha de  $26,0 \text{ KN/m}^3$ , constatou-se que o maciço se classifica (figura 35), na sua maioria, como sendo do tipo S2 (91%), resistência elevada, segundo a ISRM (1981), sendo que o valor médio da resistência, nesta classe é de 108,3 MPa, seguindo-se, com menor expressão 6% das descontinuidades com grau de resistência média, S3, e resistência muito elevada S1 em 3% das medições efectuadas nas descontinuidades, com 55,5 e 219,5 MPa, respectivamente. Globalmente, o valor médio da resistência à compressão medido situa-se nos 108 MPa.

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

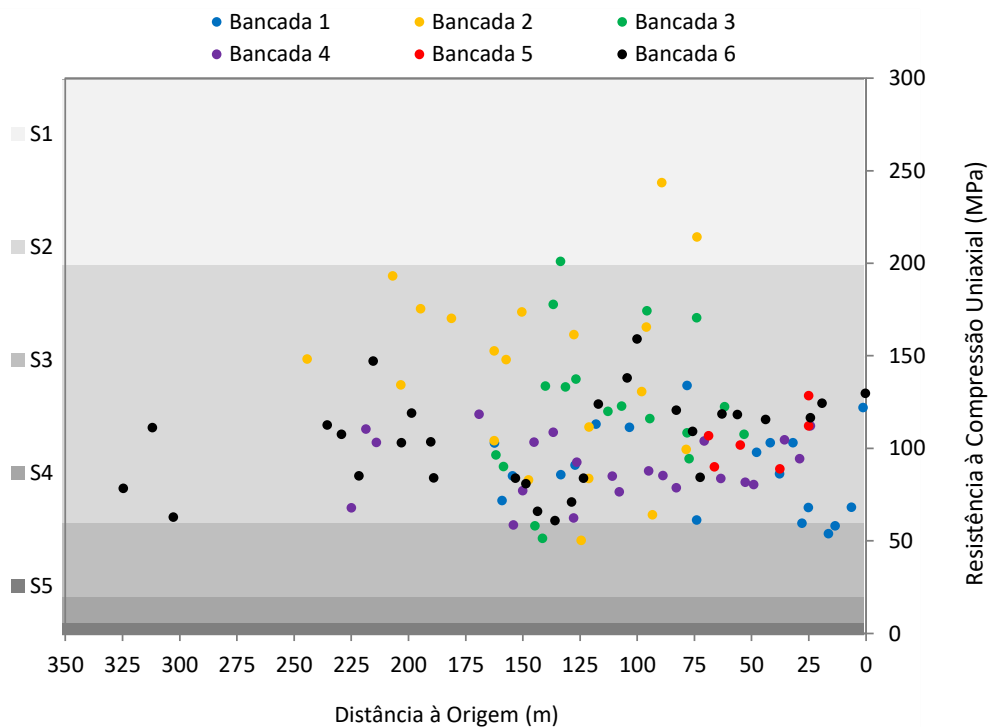
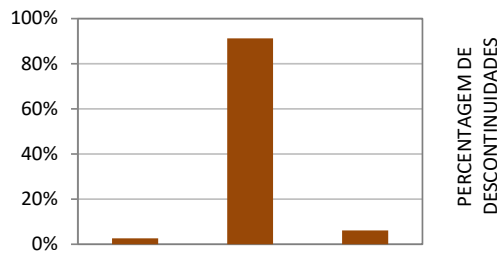


Figura 35. Análise das classes de resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do maciço do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga) - (codificação das classes de resistência (S – “Strenght”, segundo a ISRM, 1981).

No quadro 27, apresenta-se a síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades presentes nos 6 patamares estudados do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

Quadro 27. Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos (ISRM, 1978, 1981 e 2007) das descontinuidades presentes nos 6 patamares estudados (n=582) do maciço rochoso do centro de exploração da Secil Britas (Vila Nova de Famalicão, Braga).

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

---

(Página propositadamente em branco)

---

**5 – Identificação, descrição e caracterização, individual e global, dos desvios no caso em estudo**

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

## 5. Desvios de Perfuração

A análise dos desvios de perfuração nesta tese foi efectuada em três perspectivas, em seguida apresentadas: o emboquilhamento, o desvio pontual e o desvio por flexão. Em cada uma delas serão descritos os critérios de classificação que irão definir o tipo de desvio que o furo apresenta. Os valores definidos como limites podem variar consoante o que se pretende analisar, com que rigor e em que circunstâncias. Consequentemente, os valores registados servem apenas de referência para a análise proposta nesta tese, não sendo generalizáveis a outros contextos.

### 5.1 Emboquilhamento

**Desvio (X)** Avaliação do valor do ângulo de direcção do furo nos primeiros 2 m de perfuração (figura 36). Considera-se erro de emboquilhamento (x) quando entre o primeiro e o segundo metro de perfuração, a diferença entre os valores absolutos do ângulo de direcção do furo é superior a 2 grau;

(-) Erro de emboquilhamento para a esquerda;

(+) Erro de emboquilhamento para a direita.

**Desvio (Y):** Avaliação do valor do desvio do ângulo de inclinação do furo nos primeiros 2 m de perfuração (figura 36). Considera-se erro de emboquilhamento (y) quando entre o primeiro e o segundo metro de perfuração, a diferença entre os valores absolutos do ângulo de direcção do furo é superior a 2 grau;

(-) Erro de emboquilhamento com aproximação em relação ao eixo vertical;

(+) Erro de emboquilhamento com afastamento em relação ao eixo vertical.

**Desvio ( $\alpha$ ):** Avaliação do valor do desvio do ângulo resultante entre o plano de direcção e inclinação a duas dimensões (figura 36). Considera-se erro de emboquilhamento quando entre o primeiro e o segundo m de perfuração a diferença entre os valores do ângulo em cada tramo é maior que 2 graus.

(-) Erro de emboquilhamento com aproximação face ao eixo vertical;

(+) Erro de emboquilhamento com afastamento face ao eixo vertical.

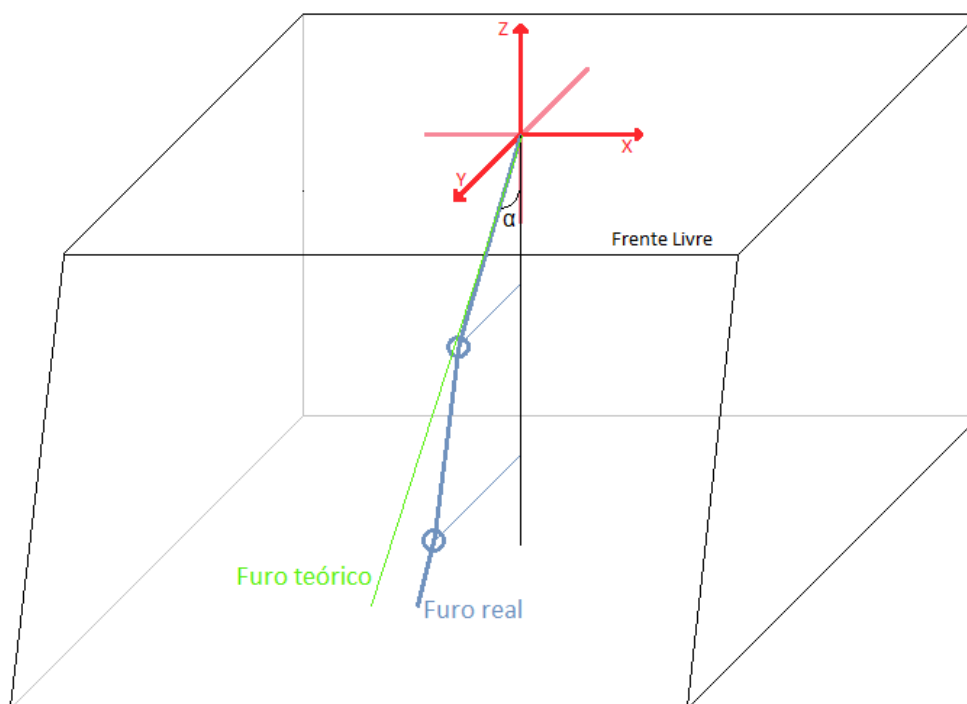


Figura 36. Esquema para a definição de  $x$ ,  $y$  e de  $\alpha$ .

Nota: Não se considerou o erro de emboquilhamento até ao primeiro metro uma vez que seria necessário também ter em conta o posicionamento da coluna de perfuração nomeadamente as componentes da inclinação e da direcção. Assim sendo, e não tendo sido possível acompanhar a perfuração, foi somente considerada para efeito de emboquilhamento, os registos entre o primeiro e o segundo metro de perfuração.

### 5.1.1. 1ª Pega

No quadro 28, estão ilustrados todos os furos analisados na primeira pega, quanto à existência ou não de erros de emboquilhamento segundo o plano de direcção ( $x$ ), o de inclinação ( $y$ ) e o ângulo ( $\alpha$ ). Foram definidos como valores limite de referência os referidos anteriormente.

Quadro 28. Erros de emboquilhamento nos três planos analisados para P1.

Furo	x	y	α	21	s/ε	s/ε	s/ε
1	c/ε-	s/ε	s/ε	22	c/ε+	s/ε	s/ε
2	c/ε+	c/ε-	c/ε-	23	s/ε	s/ε	s/ε
3	c/ε-	s/ε	s/ε	24	s/ε	s/ε	s/ε
4	c/ε+	s/ε	s/ε	25	s/ε	s/ε	s/ε
5	s/ε	s/ε	s/ε	26	s/ε	s/ε	s/ε
6	s/ε	c/ε+	c/ε+	27	s/ε	s/ε	s/ε
7	s/ε	c/ε-	c/ε-	28	s/ε	s/ε	s/ε
8	c/ε-	s/ε	s/ε	29	s/ε	s/ε	s/ε
9	s/ε	s/ε	s/ε	30	s/ε	s/ε	s/ε
10	s/ε	c/ε+	s/ε	31	s/ε	s/ε	s/ε
11	s/ε	c/ε+	c/ε+	32	s/ε	s/ε	s/ε
12	s/ε	c/ε-	c/ε-	33	s/ε	c/ε+	s/ε
13	s/ε	s/ε	s/ε	34	s/ε	s/ε	s/ε
14	c/ε+	s/ε	s/ε	35	s/ε	s/ε	s/ε
15	s/ε	c/ε+	c/ε+	36	s/ε	s/ε	s/ε
16	s/ε	c/ε-	c/ε-	37	s/ε	s/ε	s/ε
17	c/ε-	s/ε	s/ε	38	c/ε-	s/ε	s/ε
18	s/ε	s/ε	s/ε	39	s/ε	s/ε	s/ε
19	c/ε+	s/ε	s/ε	40	s/ε	s/ε	s/ε
20	s/ε	s/ε	s/ε	41	s/ε	s/ε	s/ε

Legenda	Sem Erro	Com erro para a direita	Com erro para a esquerda
	s/ε	c/ε+	c/ε-

### Desvio segundo x

Da análise do quadro 29, conclui-se que, ao nível do plano de direcção, verificou-se que 31 furos não apresentaram erro de emboquilhamento (75,61%) sendo que a percentagem de furos com erro, por consequência é de 24,39%. A tendência de desvio para a direita (+) e para a esquerda (-) é semelhante com 50% para ambas. De salientar ainda que o valor de desvio por metro perfurado foi superior para c/ε+ com cerca de 4 cm/m.

Quadro 29. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em x para P1.

Desvio Emboquilhamento em x (P1)								
Total	41	s/ε	31	75,61%				
		c/ε	10	24,39%	+	5	50,00%	3,745 cm/m
					-	5	50,00%	4,032 cm/m

### Desvio segundo y

À semelhança do que acontece em x, ao nível do plano de inclinação (y) também se verificam percentagens de furos sem erro na ordem dos 78% com 9 dos 41 furos analisados a apresentarem desvio (quadro 30). Destes 21,95% verifica-se uma ligeira predominância dos desvios para a frente do furo com 55,56%. O mesmo se verifica para o valor de desvio por metro com c/ε+ a apresentar valores na ordem dos 8 cm/m.

Da comparação entre X e Y conclui-se, portanto, que o plano de inclinação tem um contributo substancialmente mais elevado para o total de desvio que se verificou.

Quadro 30. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em y para P1.

Desvio Emboquilhamento em y (P1)								
Total	41	s/ε	32	78,05%				
		c/ε	9	21,95%	+	5	55,56%	7,924 cm/m
					-	4	44,44%	6,864 cm/m

### Desvio segundo α

Do quadro anterior verifica-se que, quanto ao ângulo, e com os parâmetros definidos anteriormente, a percentagem de erro é muito aproximada a x e y com uma ligeira diminuição em relação a ambos com 14,63. Do quadro 31, verifica-se que, dos 9 furos que apresentaram unicamente erro de emboquilhamento em x, nenhum deles foi responsável por qualquer tipo de erro segundo α. Pelo contrário, dos 8 furos onde se verificou somente desvio de emboquilhamento segundo o plano de inclinação, 6 deles acabaram por também resultar em erro segundo o ângulo. Conclui-se, portanto, que, a análise do ângulo ajuda a corroborar os valores de perfuração por cada metro sendo que para esta primeira pega, os desvios frontais têm um contributo substancialmente mais alto que os desvios laterais na ocorrência deste tipo de erro.

Quadro 31-Análise estatística aos erros de emboquilhamento em α para P1.

Desvio Emboquilhamento em α (P1)							
Total	41	s/ε	34	82,93%			
		c/ε	7	17,07%	+	3	42,86%
					-	4	57,14%

De seguida, optei por apresentar uma análise crítica a dois furos, sendo que um apresenta erro tanto em x como em y e outro em que, de acordo como os parâmetros definidos não apresenta nem na direcção nem na inclinação, qualquer desvio de emboquilhamento.

Esta tese tem por objectivo a caracterização de todas as componentes já referidas anteriormente, em toda a extensão do furo, e que, não podem ser dissociadas sendo que a percentagem final de desvio mais não é do que a soma de cada componente de desvio. Assim sendo, e na tentativa de melhor avaliar a influência do emboquilhamento numa perspetiva global, é necessária uma caracterização individual ao desenvolvimento do furo.

### Análise a F2 para P1 (Erro em x e y)

#### projecção Frontal

A figura abaixo (figura 37) representa o desenvolvimento de um furo em profundidade segundo o plano de inclinação. A vermelho está a projecção de uma recta que passa pelos dois pontos de medição entre o primeiro metro e o segundo metro de perfuração até ao fundo do furo e que representa o desvio final caso não existisse qualquer outro tipo de erro associado. De acordo com os parâmetros definidos anteriormente, este furo é caracterizado como  $\underline{c/\varepsilon}$ , ou seja, verifica-se um afastamento para trás em relação ao furo teórico. Da análise do gráfico, verifica-se que, apesar da projecção do emboquilhamento se afastar ligeiramente do ideal teórico, o furo real é praticamente coincidente com o mesmo. Assim se conclui que, apesar de, pelos parâmetros definidos para esta tese, este furo apresentar erro de emboquilhamento, o desvio final é inexistente (0,017m) sendo que o erro mais visível diz respeito ao comprimento do furo (11,1m), quase 1m a menos do que foi definido no projecto.

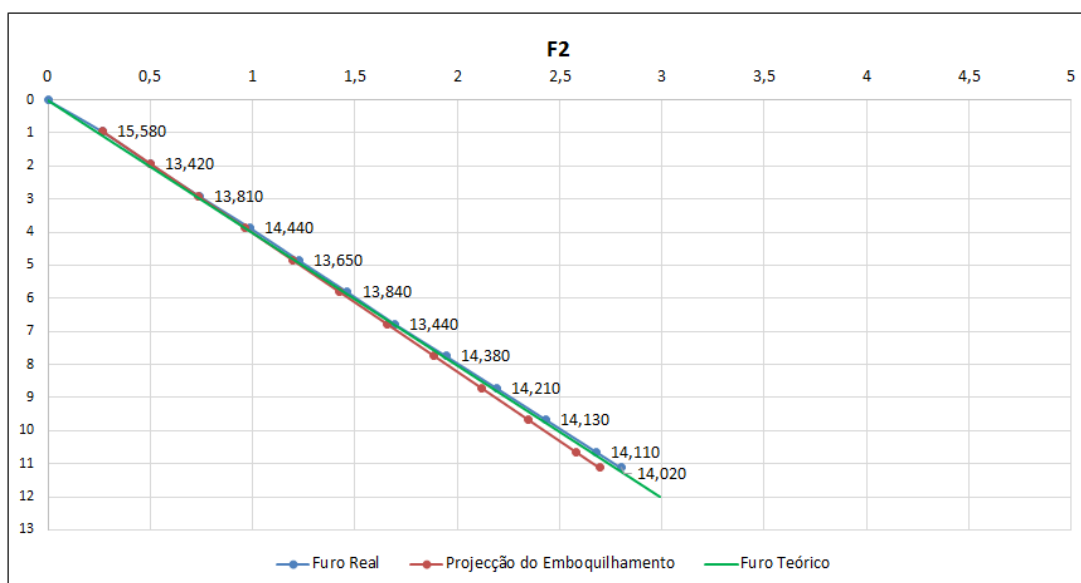


Figura 37. Desenvolvimento de F2 segundo y.

## Projecção lateral

Da análise da figura 38, fica claro que, ao longo da perfuração, existe um afastamento do furo em relação à projecção do emboquilhamento bem como ao eixo central que mais não é do que o ideal teórico sem qualquer erro. Caso só se verificasse erro por emboquilhamento, o desvio no fim do furo seria de cerca de 0,3m. No entanto, o valor real é de 0,7m pelo que os restantes 0,4m devem-se, portanto, em grande parte às restantes componentes que afectam a trajectória do furo, relativamente ao próprio maciço em profundidade, como os desvios pontuais que se verificam neste furo, e que serão abordados mais à frente, como também por factores humanos nomeadamente por erros associados à direcção da coluna no início da perfuração, uma vez que, na 1ª leitura, o desvio era já de quase 5°. No entanto esta componente não foi quantificada para esta tese pelo que não será abordada.

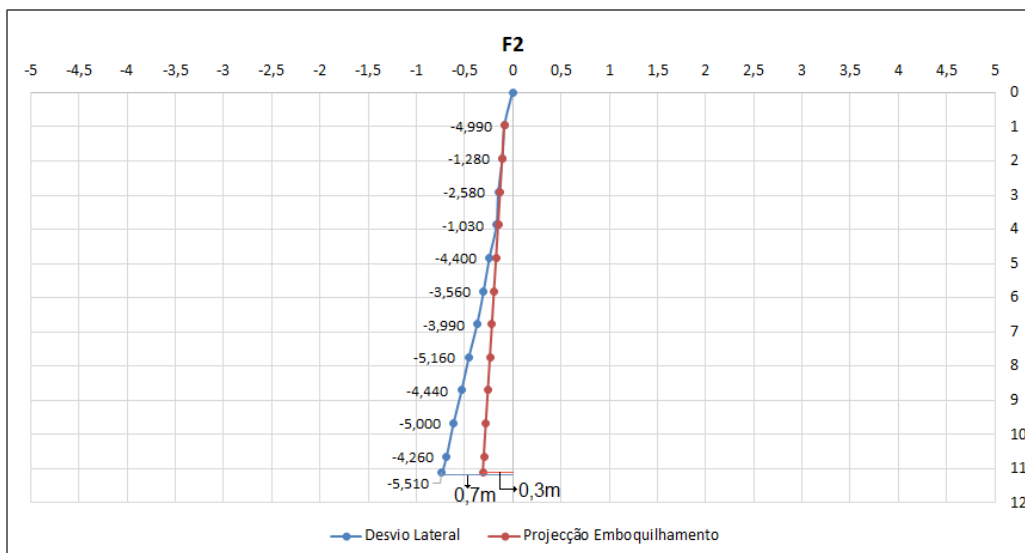


Figura 38. Desenvolvimento de F2 segundo x

## Análise a F35 para P1 (Sem erro em x e y)

### Projecção Frontal

Da análise do furo 35 (figura 39), verifica-se que, entre a 1ª e a 2ª leituras, a diferença é de cerca de 1°, valor esse insuficiente para que este furo seja classificado como contendo erro de emboquilhamento. Tanto o furo teórico como o furo real, em profundidade, estão bastante próximos afastando-se cerca dos 5m de profundidade, notando-se uma ligeira correcção do ângulo a partir desse ponto, acabando por, no fim deste, inverter o sentido afastando-se para a frente do furo até cerca de 0,057m. Por outro lado, a projecção do emboquilhamento afasta-se consideravelmente do furo teórico, sendo que no fim é claro o distanciamento do furo até 0,608m, com uma correcção total de cerca de 4° ao longo da perfuração.

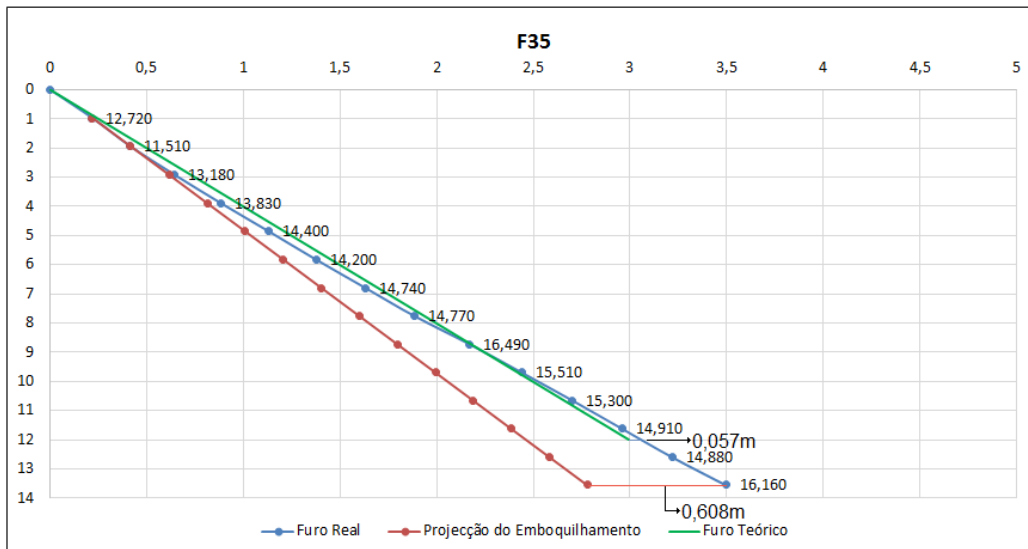


Figura 39. Desenvolvimento de F35 em y.

### Projecção Lateral

Da análise dos desvios laterais ao longo do furo 35 é possível retirar várias conclusões (figura 40). A diferença de ângulos entre a primeira medição e a segunda é de apenas  $0.94^\circ$ , inferior aos  $2^\circ$  definidos anteriormente como sendo o valor a partir do qual se considera que existe erro de emboquilhamento. Apesar de não se ter verificado desvios significativos na boca do furo, é de supor que possa ter ocorrido um erro de direcção uma vez que ao primeiro metro, o ângulo já desvia cerca de  $5^\circ$ . É ainda de salientar que ao longo do furo este vai-se aproximando do eixo vertical notando-se uma clara correcção da trajectória a partir da quarta leitura sendo que o erro final é de 0,3m.

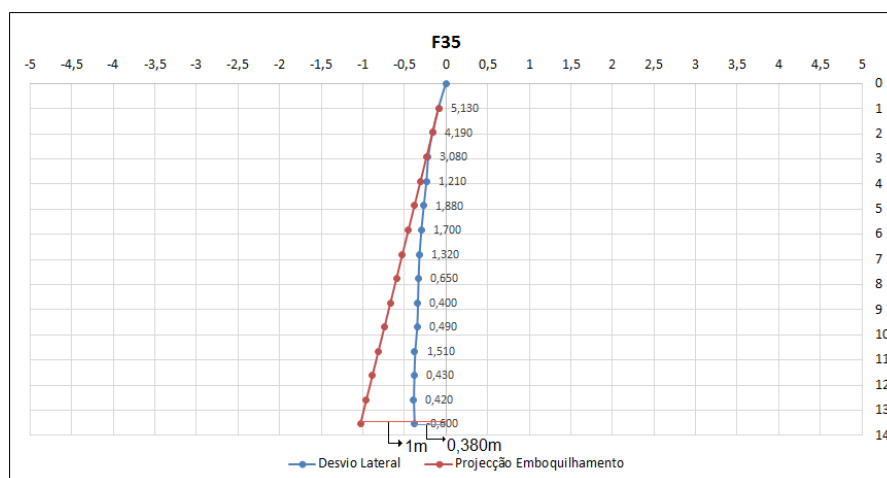


Figura 40. Desenvolvimento de F35 em x.

### 5.1.2. 2ª Pega

Quadro 32. Erros de emboquilhamento nos três planos analisados para P2.

Furo	x	y	α	22	s/ε	s/ε	s/ε
1	s/ε	s/ε	s/ε	23	s/ε	c/ε+	c/ε-
2	c/ε-	s/ε	c/ε+	24	c/ε-	c/ε-	c/ε+
3	c/ε+	s/ε	s/ε	25	s/ε	c/ε-	c/ε+
4	c/ε+	s/ε	s/ε	26	s/ε	c/ε+	c/ε-
5	s/ε	c/ε-	c/ε+	27	c/ε-	c/ε-	c/ε+
6	s/ε	s/ε	s/ε	28	s/ε	s/ε	s/ε
7	s/ε	s/ε	s/ε	29	s/ε	s/ε	s/ε
8	s/ε	s/ε	s/ε	30	s/ε	s/ε	s/ε
9	s/ε	c/ε-	c/ε+	31	c/ε-	s/ε	c/ε+
10	s/ε	s/ε	s/ε	32	s/ε	c/ε+	s/ε
11	s/ε	s/ε	s/ε	33	c/ε+	c/ε-	c/ε+
12	s/ε	s/ε	s/ε	34	c/ε+	c/ε-	c/ε+
13	s/ε	c/ε-	c/ε+	35	s/ε	s/ε	s/ε
14	c/ε-	c/ε+	c/ε-	36	s/ε	c/ε-	c/ε+
15	c/ε+	s/ε	c/ε-	37	s/ε	c/ε+	c/ε-
16	s/ε	s/ε	s/ε	38	c/ε-	s/ε	s/ε
17	c/ε-	s/ε	s/ε	39	c/ε-	c/ε-	c/ε+
18	s/ε	s/ε	s/ε	40	s/ε	s/ε	s/ε
19	s/ε	c/ε+	c/ε-	41	c/ε-	c/ε-	c/ε-
20	c/ε-	c/ε-	c/ε+	42	s/ε	s/ε	s/ε
21	c/ε-	s/ε	s/ε	43	s/ε	c/ε+	c/ε-

Notas:

- Os valores de X para P2 estão foram transpostos para o 1º quadrante de forma a coincidir com o documento obtido a partir do Boretrak sendo que c/ε+ desvia para a esquerda e c/ε- para a direita.
- P2 tem 43 furos, no entanto, o furo 41 provavelmente terá sido mal medido com o equipamento de boretrak uma vez que o erro por ele evidenciado levava a que o furo apresentasse sentido ascendente entre a primeira e a segunda leitura, algo que não faz qualquer tipo de sentido. Assim sendo optei por excluir o furo 41 nos dados analisados.

#### Desvio segundo x

Da análise do quadro 33, verifica-se um ligeiro aumento dos furos que apresentam erro de emboquilhamento em x em relação a P1 e conseqüentemente uma diminuição dos furos sem erro. Apesar disso, a grande maioria dos furos continua sem apresentar desvio (64,29%) sendo que somente cerca de um terço dos furos apresenta erro. Destes 35,71% nota-se uma clara tendência de desvio à direita com 10 dos 15 furos com erro a apresentarem esta trajectória de desvio. Este factor constitui a principal diferença entre a primeira pega que não apresentava nenhuma tendência de desvio e esta segunda pega analisada. Quanto aos valores de desvio, os furos em que se registou c/ε-, são substancialmente superiores com cerca de 11,5 cm/m. Conclui-se portanto que, da comparação entre P1 e P2 para o plano lateral, é nesta segunda pega que se verificaram desvios mais significativos.

Quadro 33. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em x para P2.

Desvio Emboquiamento em x (P2)								
Total	42	s/ε	27	64,29%				
		c/ε	15	35,71%	+	5	33,33%	4,149 cm/m
					-	10	66,67%	11,522 cm/m

### Desvio segundo y

Em P2 houve um claro aumento dos furos com erro de emboquilhamento (quadro 34). Quase metade dos que foram analisados registaram desvio (42,86%), um número muito superior aos furos de P1. Dos furos com erro, nota-se uma tendência algo significativa de furos com desvio à retaguarda (61,11%) invertendo a tendência de desvio para a frente registada em P1. Os valores de desvio seguem esta mesma tendência sendo clara uma tendência de verticalidade nos furos analisados.

Quadro 34-Análise estatística aos erros de emboquilhamento em y para P2.

Desvio Emboquiamento em y (P2)								
Total	42	s/ε	24	57,14%				
		c/ε	18	42,86%	+	7	38,89%	3,491 cm/m
					-	11	61,11%	12,923 cm/m

### Desvio segundo α

Da análise do quadro 35, e à semelhança do que aconteceu na primeira pega, verifica-se que apenas uma pequena percentagem de furos com erro de emboquilhamento em x, resulta em erro segundo α (37,5%). Pelo contrário, dos furos com erro de inclinação, em todos foram verificados também erro em α.

Em conclusão, tanto na primeira como na segunda pega, o plano de inclinação tem um impacto substancialmente maior neste tipo de desvios em relação ao plano de direcção. Assim se conclui que para esta situação será mais útil o emprego de esforços no sentido de tentar corrigir os desvios segundo y.

Quadro 35. Análise estatística aos erros de emboquilhamento em α para P2.

Desvio Emboquiamento em α (P2)								
Total	42	s/ε	22	52,38%				
		c/ε	20	47,62%	+	13	65,00%	
					-	7	35,00%	

---

## 5.2. Desvio Pontual

**Desvio (X):** Avaliação dos valores das variações do ângulo de direcção do furo ao longo do mesmo. Considera-se desvio pontual quando um dos valores das variações absolutas do ângulo de direcção do furo é maior que 2 graus.

(-) Desvio pontual para a esquerda;

(+) Desvio pontual para a direita.

**Desvio (Y):** Avaliação dos valores das variações do ângulo de inclinação do furo ao longo do mesmo. Considera-se desvio pontual quando um dos valores das variações absolutas do ângulo de inclinação do furo é maior que 2 graus.

(+) Desvio pontual com afastamento em relação ao eixo vertical;

(-) Desvio pontual com aproximação em relação ao eixo vertical.

Nota: os desvios pontuais são observados a partir da diferença entre duas leituras de ângulos.

Vale a pena salientar que da análise dos gráficos dos planos de inclinação e de direcção em relação aos furos analisados, verificam-se duas situações particulares de desvios pontuais. Uma dessas situações está representada pelo gráfico do furo 14 da primeira pega em que se verifica uma leitura desfasada em relação à tendência do furo e que é repostada imediatamente na leitura seguinte. Um outro caso de desvio pontual que também ocorre, com menor incidência, acontece quando a partir de determinada profundidade, se verifica um desvio que interrompe o padrão anterior e que se prolonga até ao fim do furo (F15). Um dos factores determinantes para a existência de um ou outro erro terá a ver com a presença de famílias de descontinuidades com variação de direcção, inclinação e continuidade coincidentes ou que poderão intersectar o furo a determinada profundidade e que tem influência no tipo de desvio evidenciado.

## 5.2.1. Desenvolvimento dos furos de P1

### Segundo x (quadro 36)

Quadro 36. Erros pontuais em x para P1.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/ε	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
2	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
3	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
4	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
5	c/ε+	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
6	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε			
7	s/ε	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε			
8	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε			
9	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε			
10	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	c/ε-	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε			
11	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
12	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
13	c/ε-	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε			
14	c/ε-	c/ε+	s/ε	c/ε-	c/ε+	c/ε+	c/ε-	c/ε+	c/ε-	c/ε+			
15	c/ε+	s/ε	c/ε-	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	
16	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
17	s/ε	c/ε-	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
18	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
19	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
20	s/ε	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-		
21	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
22	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+			
23	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
24	s/ε	c/ε-	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-			
25	s/ε	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε+		
26	s/ε	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
27	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	
28	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	c/ε+	
29	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
30	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
31	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
32	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
33	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
34	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
35	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
36	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
37	c/ε+	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
38	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
39	s/ε	s/ε	c/ε+	c/ε+	c/ε-	s/ε	c/ε+	c/ε-	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
40	c/ε-	s/ε	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	s/ε	c/ε-	s/ε	s/ε	
41	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε-	c/ε+	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	

A partir do quadro 37, é possível, de forma mais fácil, analisar a totalidade dos furos quanto aos desvios pontuais evidenciados bem como, a partir do número de leituras ter uma noção das diferenças de comprimento dos furos. Utilizando os parâmetros definidos anteriormente verifica-se que a percentagem de furos sem qualquer tipo de erro é de apenas 19,51%, ou seja, só 8 furos em 41 não apresentaram desvios pontuais sendo que a percentagem de desvios para a direita é ligeiramente inferior aos desvios para a esquerda. Quanto ao desvio por metro perfurado é semelhante em ambas as direcções.

Quadro 37. Análise estatística aos erros pontuais em x para P1.

Desvios Pontuais X P1									
Total	41	s/ε	8	19,51%					
		c/ε	33	80,49%	c/ε +	40	46,51%	6,089 cm/m	
					c/ε -	46	53,49%	5,404 cm/m	

**Segundo y (quadro 38)**

Quadro 38-Erros pontuais em y para P1.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
2	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
3	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
4	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
5	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
6	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
7	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
8	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
9	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +			
10	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	c/ε -			
11	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +			
12	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +			
13	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
14	s/ε	c/ε +	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε			
15	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
16	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
17	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
18	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
19	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε				
20	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε		
21	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
22	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε			
23	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
24	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
25	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
26	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
27	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
28	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	
29	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
30	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
31	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	
32	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε			
33	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
34	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
35	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
36	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
37	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
38	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
39	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	
40	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
41	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	

Do quadro 39, verifica-se que a percentagens de furos sem erro, quanto ao plano de inclinação é ligeiramente superior a x uma vez que 13 furos não apresentaram erro apresentando assim percentagens na ordem dos 30%. Quanto à tendência de desvio, continua a ser semelhante uma vez que cerca de metade apresentaram desvios para a frente e o restante para trás.

Quadro 39. Análise estatística aos erros pontuais em x para P1.

Desvios pontuais Y P1								
Total	41	s/ε	13	31,71%				
		c/ε	28	68,29%	c/ε +	36	51,43%	7,294 cm/m
					c/ε -	34	48,57%	6,864 cm/m

Segundo α (quadro 40)

Quadro 40. Erros pontuais em α para P1.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
2	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
3	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
4	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
5	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
6	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
7	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
8	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
9	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +			
10	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	c/ε -			
11	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +			
12	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
13	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
14	s/ε	c/ε +	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε +			
15	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
16	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
17	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
18	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
19	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε				
20	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
21	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
22	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε			
23	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
24	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
25	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +		
26	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
27	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
28	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	
29	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
30	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
31	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	
32	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε			
33	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
34	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε				
35	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
36	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
37	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
38	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
39	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	
40	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
41	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	

Da análise do ângulo as conclusões são semelhantes às anteriores. O número de furos sem desvio sobe comparativamente aos dois planos anteriormente estudados, sendo que o número de leituras com desvio c/ε+ é praticamente igual a c/ε- o que quer dizer que a tendência do furo para

se aproximar do eixo vertical é semelhante à que este tem para se afastar. O que daqui se tira é que, após o desvio, verifica-se uma tendência de desenvolvimento do furo semelhante ao que se verificava antes do desvio.

**Nº total de leituras: 445**

Quadro 41-Análise estatística aos erros pontuais em  $\alpha$  para P1.

Desvios Pontuais $\alpha$ P1							
Total	41	s/É	15	36,59%			
		c/É	26	63,41%	c/É +	33	49,25%
					c/É -	34	50,75%

**5.2.2. Desenvolvimento dos furos de P2**

Segundo x (quadro 42)

Quadro 42. Erros pontuais em x para P2.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/É	s/É	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
2	c/É +	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
3	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
4	c/É -	s/É	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É			
5	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
6	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
7	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
8	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	
9	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
10	s/É	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	c/É +	s/É	c/É -	c/É +			
11	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É	s/É	c/É -		
12	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É			
13	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É			
14	c/É +	c/É -	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É			
15	s/É	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É -	c/É -	s/É		
16	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É -	s/É	s/É		
17	c/É -	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É -			
18	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É +	
19	s/É	c/É -	s/É	c/É +	c/É +	c/É -	c/É +	s/É	s/É	c/É +	c/É -		
20	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	c/É -							
21	s/É	s/É	c/É +	s/É	c/É -	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É	s/É		
22	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É		
23	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	
24	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É	s/É	s/É		
25	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
26	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
27	c/É +	c/É -	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
28	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É			
29	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
30	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	
31	c/É +	c/É -	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É		
32	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
33	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É
34	c/É -	c/É +	c/É -	c/É -	c/É +	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É
35	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
36	s/É	s/É	s/É	c/É +	s/É	c/É -	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É		
37	s/É	c/É -	c/É +	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
38	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É			
39	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É			
40	c/É +	c/É -	c/É +	c/É +	s/É	s/É	c/É +	c/É -	c/É +	s/É			
41	c/É +	c/É -	c/É +	s/É	s/É	s/É	c/É +	c/É -	s/É	s/É			
42	c/É -	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É	s/É		
43	s/É	s/É	c/É +	s/É	s/É	s/É	s/É						

Para x, os valores da 2ª pega são semelhantes a P1. A percentagem de furos com erro é quase de 80% e também aqui se verifica equilíbrio quanto à tendência dos desvios com ligeira predominância (53,54%) de desvios de c/ε +. (quadro 43)

Quadro 43. Análise estatística aos erros pontuais em x para P2.

Desvios Pontuais X P2								
Total	42	s/ε	10	23,81%				
		c/ε	32	76,19%	c/ε +	53	53,54%	9,578 cm/m
					c/ε -	46	46,46%	13,589 cm/m

### Segundo Y (quadro 44)

Quadro 44- Erros pontuais em y para P2.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
2	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
3	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
4	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
5	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
6	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
7	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
8	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
9	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
10	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε -	c/ε +			
11	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
12	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
13	c/ε +	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
14	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε			
15	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε -	c/ε -	s/ε		
16	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
17	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
18	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
19	c/ε -	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε		
20	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε							
21	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -		
22	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -		
23	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε		
24	c/ε +	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
25	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
26	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	
27	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
28	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
29	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
30	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
31	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
32	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
33	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
34	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	c/ε +	
35	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -		
36	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε		
37	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +			
38	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
39	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε			
40	c/ε -	c/ε +	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε			
41	c/ε +	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε			
42	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
43	c/ε -	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε						

Quanto aos desvios em y, na segunda pega, verifica-se um ligeiro aumento de furos com erro relativamente a P1 sendo que se verificam erros em quase a totalidade dos 42 furos (83,3%). A tendência de erro é semelhante com metade da leitura com desvio para a frente do furo e metade dos furos com desvio à retaguarda (quadro 45).

Quadro 45. Análise estatística aos erros pontuais em y para P2.

Desvios Pontuais Y P2								
Total	42	s/ε	7	16,67%				
		c/ε	35	83,33%	c/ε +	56	50,00%	7,480 cm/m
					c/ε -	56	50,00%	6,958 cm/m

### Segundo α (quadro 46)

Quadro 46. Erros pontuais em α para P2.

Furo	1ªLeitura	2ªLeitura	3ªLeitura	4ªLeitura	5ªLeitura	6ªLeitura	7ªLeitura	8ªLeitura	9ªLeitura	10ªLeitura	11ªLeitura	12ªLeitura	13ªLeitura
1	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε		
2	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
3	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
4	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
5	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε			
6	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
7	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
8	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
9	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
10	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε +	c/ε -	
11	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
12	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
13	c/ε +	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε +	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
14	c/ε -	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
15	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	c/ε +	c/ε +	s/ε	
16	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
17	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
18	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -
19	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε +	
20	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε						
21	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	
22	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	c/ε +	
23	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	
24	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	
25	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
26	c/ε -	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	
27	c/ε +	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
28	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
29	s/ε	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
30	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
31	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	
32	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
33	c/ε +	c/ε -	c/ε +	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
34	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	s/ε	c/ε +	c/ε -
35	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε -	c/ε +	
36	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	
37	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	
38	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
39	c/ε +	c/ε -	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	c/ε +	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
40	s/ε	c/ε +	s/ε	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
41	c/ε -	c/ε -	c/ε -	c/ε -	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	
42	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε
43	c/ε -	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε	s/ε					

É da comparação do ângulo entre P1 e P2 que se notam as maiores diferenças entre ambas. Enquanto que em P1 se verificaram quase 40% de furos sem erro, na segunda pega esta percentagem passa para apenas 7% sendo que em praticamente 90% dos furos verificaram-se erros pontuais. Quanto à tendência não há grandes alterações mantendo-se semelhante para a frente e para a retaguarda do furo em relação ao eixo vertical (quadro 47).

**Nº total de leituras: 489**

Quadro 47. Análise estatística aos erros pontuais em  $\alpha$  para P2.

Desvios Pontuais $\alpha$ P2							
Total	42	s/ε	3	7,14%			
		c/ε	39	92,86%	c/ε +	67	50,38%
					c/ε -	66	49,62%

### Análise ao Furo 14 para P2 (com desvios pontuais em x e y)

#### Plano Lateral

Um exemplo claro onde ocorre desvios pontuais é o furo 14 (figura 41) da primeira pega cujo gráfico está abaixo representado. A partir das leituras entre o segundo e terceiro metro perfurado é possível ver um desvio acentuado em sentido contrário ao padrão de desvio que o furo apresenta (c/ε+). Entre a terceira e quarta leitura, é reposta novamente a tendência anteriormente verificada, ou seja, em sentido contrário ao desvio ocorrido. O mesmo acontece no fim do furo em que se verifica um erro semelhante entre a 11ª e a 12ª leitura com desvio de cerca de 4°.

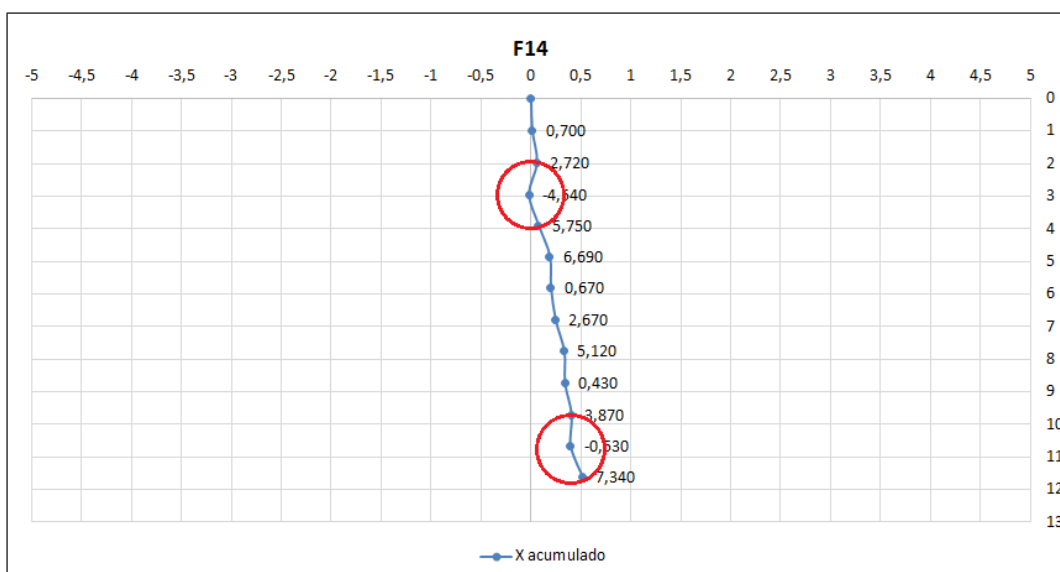


Figura 41. Desenvolvimento de F14 em x para P1.

## Plano Frontal

A análise do plano de inclinação é possível ver de forma nítida duas zonas de desvio. À semelhança do que acontece em x, na 3ª leitura, existe um claro desvio no sentido do eixo vertical (c/ε-). A partir desse ponto é reposta a tendência anterior com um valor de pitch próximo dos 14° teóricos. Na 7ª leitura, verifica-se novamente um erro semelhante ao anterior, sendo que o valor do ângulo de inclinação passa de 14° para 8° sendo reposta a normalidade na leitura seguinte. As duas rectas a vermelho simulam a projecção do erro no fundo do furo caso não se verificasse uma correcção nos ângulos verificados a partir das leituras seguintes originando um erro substancialmente superior ao real. Será de supor a intersecção do furo com alguma família de descontinuidades tendo em conta que o desvio em profundidades diferentes é semelhante (figura 42).

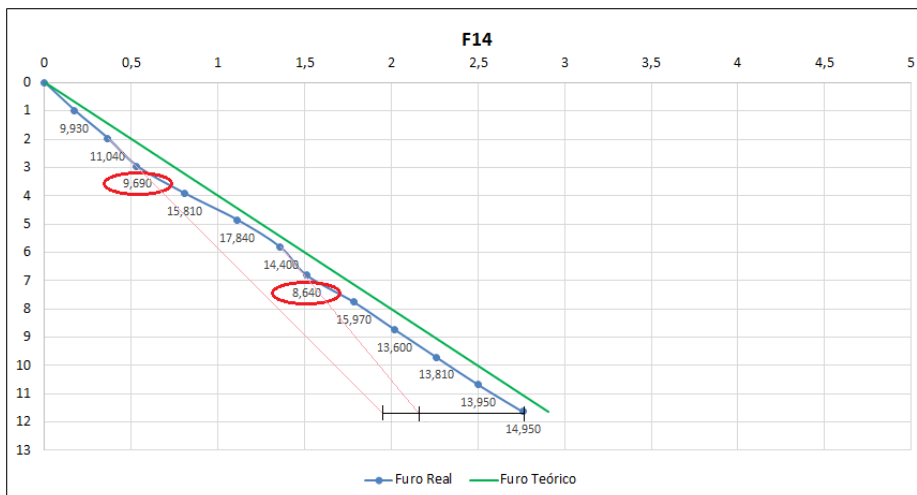


Figura 42. Desenvolvimento de F14 em y para P1.

## Análise ao Furo 15 para P2 (com desvio em X)

### Plano Lateral

Na figura 43 verifica-se que, quanto ao plano de direcção, verifica-se um outro caso de desvio pontual em que na 8ª leitura o ângulo de direcção varia cerca de 5° mantendo esta nova tendência até ao fim do furo. Provavelmente o furo terá intersectado uma família de descontinuidades com características, nomeadamente de inclinação e continuidade, coincidentes com o desenvolvimento restante do furo. De salientar ainda que, na 1ª leitura, o ângulo registado é de 8°, bastante longe do eixo vertical. Assim se conclui que poderá ter ocorrido um erro no início da perfuração, nomeadamente no alinhamento da direcção na coluna de perfuração.

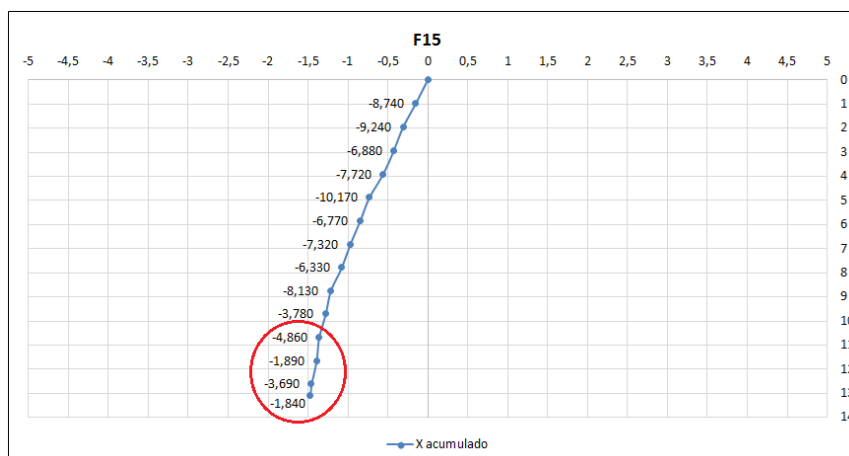


Figura 43-Desenvolvimento de F15 em x para P1.

### 5.3. Desvio de Flexão

**Desvio (X):** Avaliação dos valores das variações do ângulo de direcção do furo ao longo do mesmo. Considera-se desvio de flexão quando, excepto o emboquilhamento, todos os restantes valores absolutos das variações do ângulo de direcção do furo são maiores que 1 grau e com o mesmo sentido (+ ou -).

(+) Desvio de flexão para a esquerda;

(-) Desvio de flexão para a direita.

**Desvio (Y):** Avaliação dos valores das variações do ângulo de inclinação do furo ao longo do mesmo. Considera-se desvio de flexão quando, excepto o emboquilhamento, todos os restantes valores absolutos das variações do ângulo de inclinação do furo são maiores que 1 grau e com o mesmo sentido (+ ou -).

(+) Desvio de flexão para a retaguarda;

(-) Desvio de flexão para a frente.

Os desvios de flexão foram classificados a partir da diferença de 1 grau entre a 1ª leitura, uma 2ª leitura efectuada a meio do furo e a 3ª leitura na cota final.

Os critérios definidos para a existência de erro de flexão são bastante largos, no entanto nos 84 furos analisados neste trabalho, este tipo de desvio é praticamente inexistente e só com parâmetros bastante largos foi possível verificar a sua existência. Assim sendo exclui uma análise estatística mais aprofundada a este erro por falta de dados, fazendo apenas uma análise superficial a dois casos em x e y.

## Análise ao Furo 30 P1

### Plano Lateral

A partir da figura 44, é perceptível um desvio associado à flexão. Na primeira leitura o ângulo registado foi de quase  $4^\circ$  e foi praticamente diminuindo até  $0^\circ$  a meio do furo e  $-3^\circ$  à cota final.

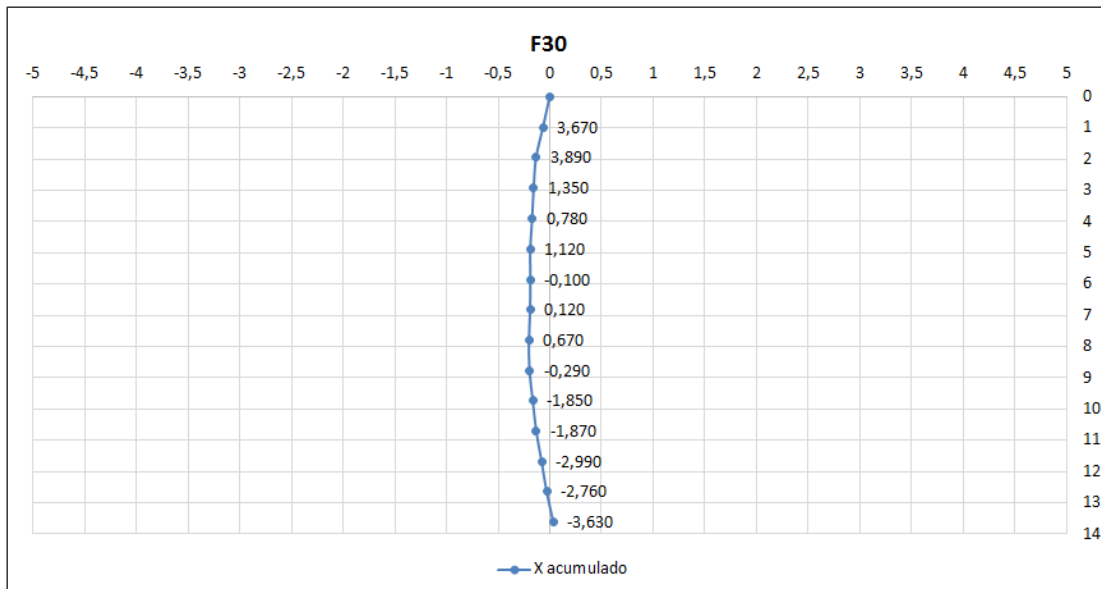


Figura 44. Desenvolvimento de F30 em x para P1.

## Análise ao Furo 30 P2

### Plano Frontal

Apesar de não ser muito expressivo, no furo 30 da 2ª pega verifica-se a flexão do furo (figura 45). Na 1ª leitura o ângulo registado foi de  $11,6^\circ$ , mais de  $1^\circ$  acima da leitura registada a meio do furo, aumentando a diferença até praticamente  $5^\circ$  de diferença em relação à leitura na cota final.

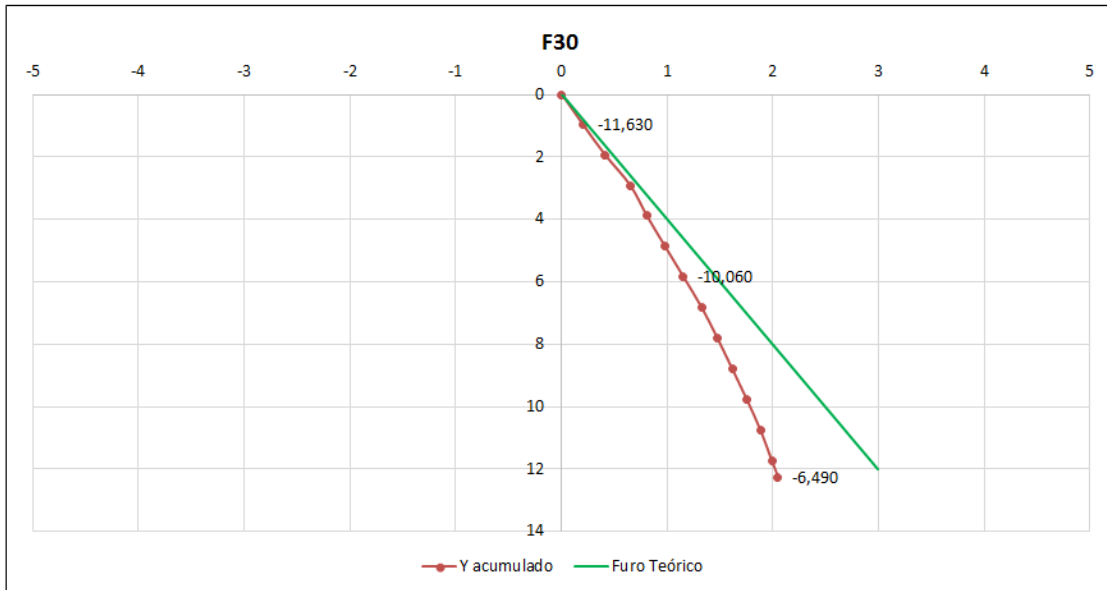


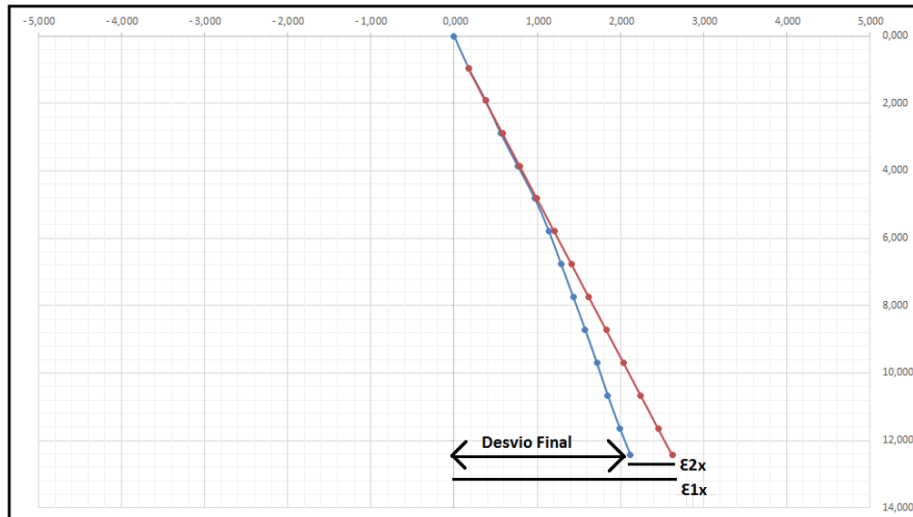
Figura 45. Desenvolvimento de F30 em y para P2.

#### 5.4. Influência dos vários factores abordados nos desvios verificados

Atrás fiz uma caracterização às causas dos desvios que foram analisados neste trabalho e posterior análise aos diferentes tipos de erro verificados a partir dos dados recolhidos dos 84 furos das duas pegas e que têm influência na trajectória do furo. No entanto, o desvio final mais não é do que a soma das várias componentes do erro sendo por isso necessário avaliar a percentagem que cada um tem no desvio total.

##### 5.4.1. Análise das percentagens de desvio em x para P1

A figura 46 apresenta as componentes de erro definidas para o plano lateral em que  $\epsilon_{1x}$  representa a projecção do emboquilhamento, sendo uma recta que passa pela 1ª e 2ª leituras até ao fim do furo.  $\epsilon_{2x}$  mostra os desvios pontuais ao longo do furo podendo afastar ou aproximar-se da projecção do emboquilhamento. Assim sendo, se  $\epsilon_{2x}$  se aproxima do eixo vertical, tal representa uma correcção da trajectória ao longo da perfuração. O desvio absoluto é então a soma de ambos os parâmetros coincidindo este valor com o desvio final quando  $\epsilon_{2x}$  se afasta de  $\epsilon_{1x}$  em sentido contrário ao eixo vertical.



Legenda	
ε1 x	Desvios por emboquilhamento
ε2 x	Desvios Pontuais

Figura 46. Esquematização dos desvios em x.

No quadro 48, apenas estão registados os erros associados ao próprio maciço (emboquilhamento, desvios pontuais) e da sua análise vale a pena salientar que os erros de emboquilhamento contribuem em média com 62% para o desvio total verificado, valor esse substancialmente mais elevado que os desvios provocados por desvios pontuais com apenas 37,61%. Também quanto a valores absolutos, o desvio total é de 1,079m sendo que, em média o emboquilhamento provoca um erro de 0,7m valor, esse bem superior quando comparado com os desvios pontuais com valores médios de 0,3m. É importante também salientar que o desvio final nem sempre é igual ao desvio absoluto uma vez que os erros pontuais ou por flexão que se verificam ao longo do furo podem-no aproximar ou afastar do teórico.

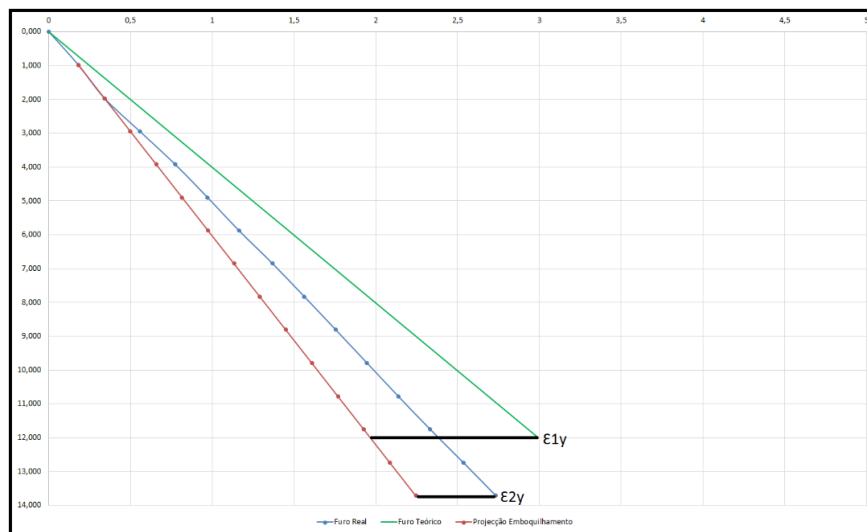
Quadro 48. Tabela resumo com os erros laterais verificados em P1.

Furo	E1x (m)	% P E1x	E2x (m)	% E2x	Desvio Final (m)	Desvio absoluto	
						(m)	(cm/m)
1	-1,105	76,97%	0,331	23,03%	-0,774	1,436	12,992
2	-0,311	42,33%	-0,424	57,67%	-0,734	0,734	6,602
3	-0,768	82,10%	0,167	17,90%	-0,600	0,935	8,400
4	0,479	46,07%	-0,561	53,93%	-0,082	1,040	9,222
5	-0,461	49,53%	0,470	50,47%	0,009	0,931	7,956
6	-0,012	4,90%	0,241	95,10%	0,228	0,253	2,324
7	0,195	97,40%	-0,005	2,60%	0,189	0,200	1,784
8	-0,623	67,77%	0,296	32,23%	-0,327	0,919	8,201
9	-0,122	50,66%	0,119	49,34%	-0,003	0,240	2,147
10	0,054	38,71%	0,086	61,29%	0,141	0,141	1,228
11	-0,308	98,79%	0,004	1,21%	-0,304	0,311	2,697
12	-0,036	16,16%	-0,185	83,84%	-0,221	0,221	1,895
13	-0,162	34,66%	-0,305	65,34%	-0,467	0,467	3,970
14	0,518	99,92%	0,000	0,08%	0,518	0,518	4,456
15	-2,122	76,58%	0,649	23,42%	-1,473	2,771	21,161
16	-0,799	71,53%	0,318	28,47%	-0,481	1,117	8,142
17	-0,549	47,31%	0,611	52,69%	0,062	1,160	8,753
18	-0,111	30,67%	0,251	69,33%	0,140	0,362	2,673
19	0,970	60,90%	-0,623	39,10%	0,347	1,593	14,851
20	1,184	85,60%	-0,199	14,40%	0,985	1,383	11,808
21	0,537	68,08%	-0,252	31,92%	0,285	0,789	5,877
22	-0,502	78,43%	0,138	21,57%	-0,364	0,641	5,464
23	0,390	54,89%	0,321	45,11%	0,711	0,711	6,544
24	-2,423	81,79%	0,539	18,21%	-1,883	2,962	25,972
25	0,521	66,60%	0,261	33,40%	0,782	0,782	6,144
26	-0,165	53,06%	0,146	46,94%	-0,019	0,311	2,313
27	0,854	91,04%	-0,084	8,96%	0,770	0,938	7,165
28	0,634	65,40%	0,335	34,60%	0,969	0,969	7,020
29	-0,810	82,80%	0,168	17,20%	-0,642	0,979	7,139
30	-0,939	49,14%	0,972	50,86%	0,033	1,912	14,059
31	-1,230	59,38%	0,841	40,62%	-0,388	2,071	15,117
32	-0,988	57,30%	0,736	42,70%	-0,252	1,724	14,595
33	-1,028	60,21%	0,679	39,79%	-0,349	1,707	14,069
34	-0,894	67,97%	0,421	32,03%	-0,472	1,315	12,096
35	-1,029	61,33%	0,649	38,67%	-0,380	1,678	12,392
36	0,447	55,59%	0,357	44,41%	0,804	0,804	5,910
37	-1,938	78,09%	0,544	21,91%	-1,394	2,481	18,573
38	-0,059	24,30%	0,185	75,70%	0,126	0,245	1,747
39	0,225	38,33%	-0,363	61,67%	-0,137	0,588	4,370
40	-1,691	92,16%	0,144	7,84%	-1,547	1,835	14,235
41	-1,916	93,54%	0,132	6,46%	-1,783	2,048	15,207
<b>Média</b>	<b>0,734</b>	<b>62,39%</b>	<b>0,344</b>	<b>37,61%</b>		<b>1,079</b>	8,714

### 5.4.2. Análise das percentagens de desvio em y para P1

À semelhança de x, também para o plano de inclinação foram definidos dois parâmetros de erro,  $\epsilon_{1y}$  e  $\epsilon_{2y}$  em que o primeiro representa a projecção do emboquilhamento no fim do furo, enquanto que o segundo, traduz a distância que se verifica entre o furo teórico aos 12m de profundidade e do furo real. Este factor representa assim o erro associado aos desvios em profundidade (figura 47).

Nota: os valores médios referem-se apenas a valores absolutos. O total é simplesmente uma conta de aritmética simples que consiste na soma do valor absoluto dos erros de emboquilhamento e pontuais, não refletindo assim a distância real entre o furo teórico e o real uma vez que ao longo do furo os desvios podem aproximar ou afastar o furo em relação ao eixo vertical. Podem ainda ocorrer desvios significativos ao longo do furo e que também não são perceptíveis pela análise da tabela.



Legenda	
$\epsilon_{1y}$	Desvios por emboquilhamento
$\epsilon_{2y}$	Desvios Pontuais

Figura 47. Esquematização dos desvios em y.

Da análise do quadro 49, verifica-se um maior equilíbrio quanto às percentagens que cada componente tem no desvio final. O valor absoluto de desvio foi de 0,8m sendo que a percentagem associada ao erro por emboquilhamento é de quase 58% com valores absolutos de 0.5m de desvio no fim do furo. Por consequência, a percentagem associada a erros pontuais é de 42% com valores médios absolutos de 0,3m. Comparativamente ao plano de direcção verifica-se

---

desvios ligeiramente inferiores para  $\gamma$ , sendo, portanto, necessária uma maior atenção à direcção da coluna durante a perfuração.

É importante referir que nestes valores, não foi possível incluir uma componente fundamental e que também tem grande influência do desvio final em cada furo, e que tem a ver com o operador que controla a coluna de perfuração. Em vários furos, na 1ª leitura, ou seja, ao 1º metro, existia já um desfasamento relativamente acentuado em relação ao valor teórico definido para os furos nesta pega. A projecção do emboquilhamento, e apesar de ter excluído o primeiro metro para os cálculos, acaba sempre por reflectir este mesmo erro sendo que fará sentido analisar estes valores tendo sempre presente que os erros de direcção e inclinação no início do processo, acabam sempre por se reflectir nos desvios que se verificam no fim de realizado o furo e que não podem ser quantificados.

Quadro 49. Tabela resumo com os erros frontais verificados em P1.

Furo	E1y (m)	% P E1	E2y (m)	% E2	Desvio Final	Desvio Absoluto	
						(m)	(cm/m)
1	-0,492	70,18%	-0,209	29,82%	-0,701	0,701	6,347
2	0,017	14,09%	0,104	85,91%	0,122	0,122	1,093
3	-0,039	32,99%	0,078	67,01%	0,040	0,117	1,050
4	0,419	66,67%	-0,209	33,33%	0,210	0,628	5,570
5	-0,108	39,21%	-0,168	60,79%	-0,276	0,276	2,361
6	0,184	34,18%	-0,354	65,82%	-0,170	0,538	4,936
7	-0,399	64,84%	0,217	35,16%	-0,183	0,616	5,501
8	-0,110	43,54%	-0,143	56,46%	-0,252	0,252	2,252
9	-0,029	15,06%	-0,165	84,94%	-0,195	0,195	1,739
10	0,390	71,50%	0,155	28,50%	0,546	0,546	4,764
11	0,510	72,90%	-0,190	27,10%	0,321	0,700	6,059
12	-0,193	87,69%	0,027	12,31%	-0,166	0,220	1,885
13	-0,565	79,96%	-0,142	20,04%	-0,707	0,707	6,006
14	-0,651	56,27%	0,506	43,73%	-0,145	1,157	9,942
15	-0,892	66,17%	0,456	33,83%	-0,436	1,348	11,145
16	-1,447	65,93%	0,748	34,07%	-0,699	2,195	17,749
17	-0,312	42,68%	-0,419	57,32%	-0,731	0,731	5,816
18	-0,530	46,92%	0,600	53,08%	0,070	1,131	8,983
19	-0,637	97,44%	0,017	2,56%	-0,620	0,653	6,090
20	0,959	79,84%	0,242	20,16%	1,201	1,201	10,593
21	-1,535	82,06%	-0,336	17,94%	-1,871	1,871	15,373
22	-0,192	48,75%	-0,202	51,25%	-0,394	0,394	3,359
23	-0,737	67,74%	-0,351	32,26%	-1,088	1,088	10,015
24	0,218	78,33%	0,060	21,67%	0,278	0,278	2,441
25	-1,100	70,11%	0,469	29,89%	-0,631	1,569	13,042
26	-0,598	65,65%	0,313	34,35%	-0,285	0,911	7,432
27	-0,010	14,87%	-0,058	85,13%	-0,069	0,069	0,534
28	-0,671	50,37%	-0,661	49,63%	-1,332	1,332	10,457
29	-1,142	70,02%	0,489	29,98%	-0,653	1,631	13,280
30	-0,652	55,14%	0,530	44,86%	-0,121	1,182	9,482
31	-0,523	79,68%	-0,133	20,32%	-0,656	0,656	5,413
32	-0,959	90,67%	0,099	9,33%	-0,860	1,057	8,950
33	-0,239	62,20%	0,145	37,80%	-0,094	0,384	3,248
34	-1,004	75,86%	-0,320	24,14%	-1,324	1,324	12,182
35	-0,608	45,90%	0,716	54,10%	0,109	1,324	10,520
36	-0,033	18,23%	-0,147	81,77%	-0,180	0,180	1,360
37	0,518	96,75%	0,017	3,25%	0,535	0,535	4,654
38	0,859	71,04%	0,350	28,96%	1,210	1,210	10,061
39	0,160	36,29%	0,281	63,71%	0,441	0,441	3,478
40	0,006	1,71%	0,369	98,29%	0,376	0,376	2,920
41	-0,474	46,11%	-0,554	53,89%	-1,029	1,029	8,166
Média	<b>0,515</b>	<b>57,94%</b>	<b>0,287</b>	<b>42,06%</b>		<b>0,802</b>	<b>6,738</b>

Da análise do quadro verifica-se que os erros de emboquilhamento, para P1, têm em média 0,7m de desvio, valor substancialmente mais baixo quando comparado a P2, em que o valor médio de desvio é superior a 1m. Quanto aos desvios pontuais, inverte-se a tendência anteriormente referida, uma vez que, em P1, este valor é de 0,34m, ligeiramente superior a P2 com desvio de 0,28m. Comparando as percentagens, verifica-se que, em P2, a percentagem associada ao emboquilhamento é superior quando comparada com P1 (de 62% passa para 79%) sendo que, no entanto, em ambas as pegas, estas percentagens são bastante superiores comparativamente às que estão associadas a desvios pontuais (quadro 50). Tendo em conta que, como referido atrás, na segunda pega em média o desvio por emboquilhamento foi superior, o desvio total, por consequência também é superior. Quanto ao plano de inclinação, e à semelhança do que aconteceu para x, o valor de desvio no emboquilhamento superior para P2 com uma diferença ligeira de 0,2m entre ambas. Quanto aos desvios pontuais, os valores registados em P2 também foram superiores a P1 (de 0,28m passa para 0,4m). Quanto às percentagens, verifica-se um decréscimo na influência que o emboquilhamento tem no desvio final. No entanto continuam a ser superiores em comparação com as percentagens de erro associadas aos desvios pontuais, sendo que em P1 a influência está quase repartida alto.

Quadro 50. Quadro resumo da análise das percentagens de desvio para P1 e P2.

					(m)	(cm/m)
		<b>ε1x (m)</b>	<b>% ε1</b>	<b>ε2x (m)</b>	<b>% ε2</b>	<b>Desvio Absoluto</b>
P1	<b>Média</b>	0,734	62,39%	0,344	37,61%	1,079
	<b>ε1y (m)</b>	<b>% ε1</b>	<b>ε2y (m)</b>	<b>% ε2</b>	<b>Desvio Absoluto</b>	
	<b>Média</b>	0,515	57,94%	0,287	42,06%	0,802
		<b>ε1x (m)</b>	<b>% ε1</b>	<b>ε2x (m)</b>	<b>% ε2</b>	<b>Desvio Absoluto</b>
P2	<b>Média</b>	1,301	78,79%	0,278	21,21%	1,573
	<b>ε1y (m)</b>	<b>% ε1</b>	<b>ε2y (m)</b>	<b>% ε2</b>	<b>Desvio Absoluto</b>	
	<b>Média</b>	0,708	61,85%	0,409	38,15%	1,117

## 5.5. Dispersão de Pontos

Atrás foi feita uma caracterização generalizada aos erros associados aos desvios tratados nesta tese, tendo recorrido a alguns gráficos relativos aos dados analisados, no sentido de retratar esses mesmos desvios. Assim sendo, é importante identificar a localização em planta dos valores dos ângulos Pitch (ângulo frontal) no eixo do y e Roll (ângulo lateral) no eixo do x. A perfuração foi definida com uma inclinação de 14° pelo que o valor do ângulo de inclinação deve estar nesse valor. Quanto ao valor de desvio lateral este deve ser de 0°, ou seja, sem qualquer erro.

### 5.5.1. 1ª Pega

No capítulo 3 foi aplicada uma fórmula empírica, desenvolvida por Langefors & Kihlstrom (1978) no cálculo do desvio em função do diâmetro e comprimento do furo. Na figura seguinte estão representadas as leituras finais dos 41 furos de P1, segundo X e Y. A partir do comprimento médio dos furos para esta pega e sabendo que os furos tinham 76mm de diâmetro, foi calculada a partir da fórmula anteriormente referida, um desvio teórico aplicado aos dois planos abordados.

Onde:

F – 0,453m

H – 12,6m

d – 76mm.

$$F = \frac{76}{1000} + 0,03 * 12,6$$

Na figura 48 verifica-se que a maior parte dos furos estão dentro da margem de erro definida tanto para o plano de inclinação como para o de direcção. Quando ambos os planos se intersectam, a percentagem de furos dentro dos limites calculados, desce consideravelmente para cerca de 1/3 do total de furos de P1

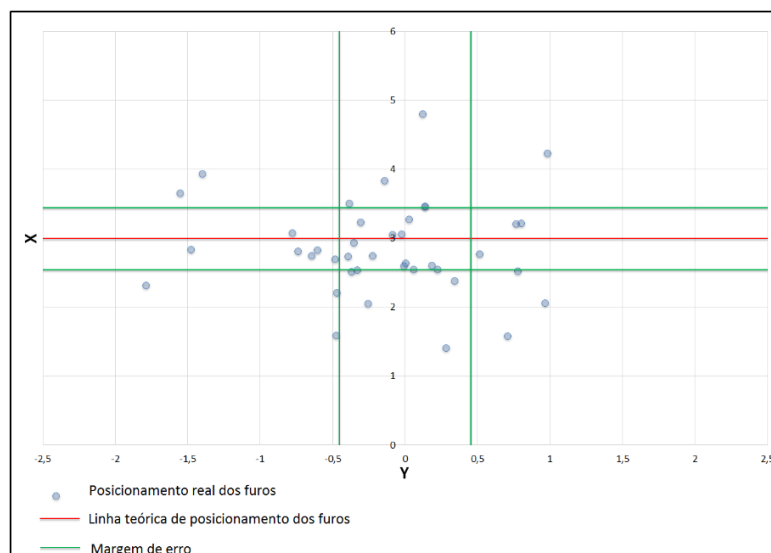


Figura 48. Dispersão de pontos em P1.

## Plano Lateral

Na figura 49, estão expostos os valores de desvio lateral a cada metro dos 41 furos que foram analisados nesta primeira pega. Da leitura do primeiro gráfico onde estão representados os valores acumulados em cada tramo onde foram efectuadas as leituras, verifica-se uma ligeira tendência de desvio para a esquerda com valores perto dos 2m. O valor máximo de desvio para a direita é inferior não chegando a atingir 1m. É ainda possível retirar que, ao longo dos primeiros metros estão representadas linhas bem definidas, a partir dos 11m verifica-se uma maior dispersão dos valores ao longo do furo. Existe ainda uma percentagem grande de pontos abaixo dos 12m, comprimento teórico definido para a perfuração.

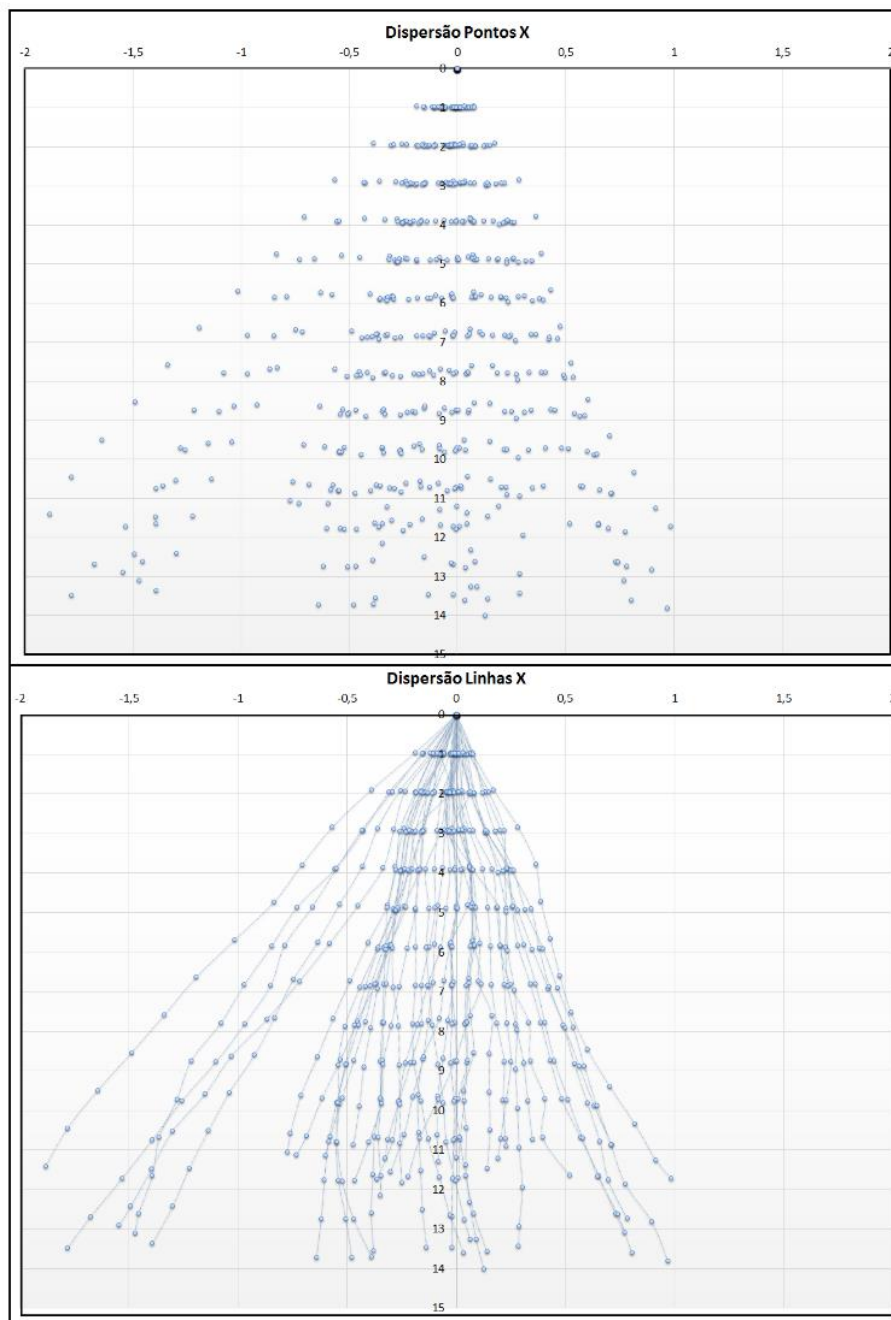


Figura 49. Projecção lateral de todos os furos de P1.

## Plano Frontal

À semelhança do que acontece nos desvios laterais, a dispersão de pontos é mais acentuada quanto maior for a profundidade da furação uma vez que estão representados dados acumulados e por consequência o erro vai-se também acumulando (figura 50). Quanto à tendência de desvio esta é mais acentuada à retaguarda do furo teórico, sendo que o desvio máximo é semelhante tanto à frente como atrás com cerca de 1,5m de desvio máximo em relação ao teórico.

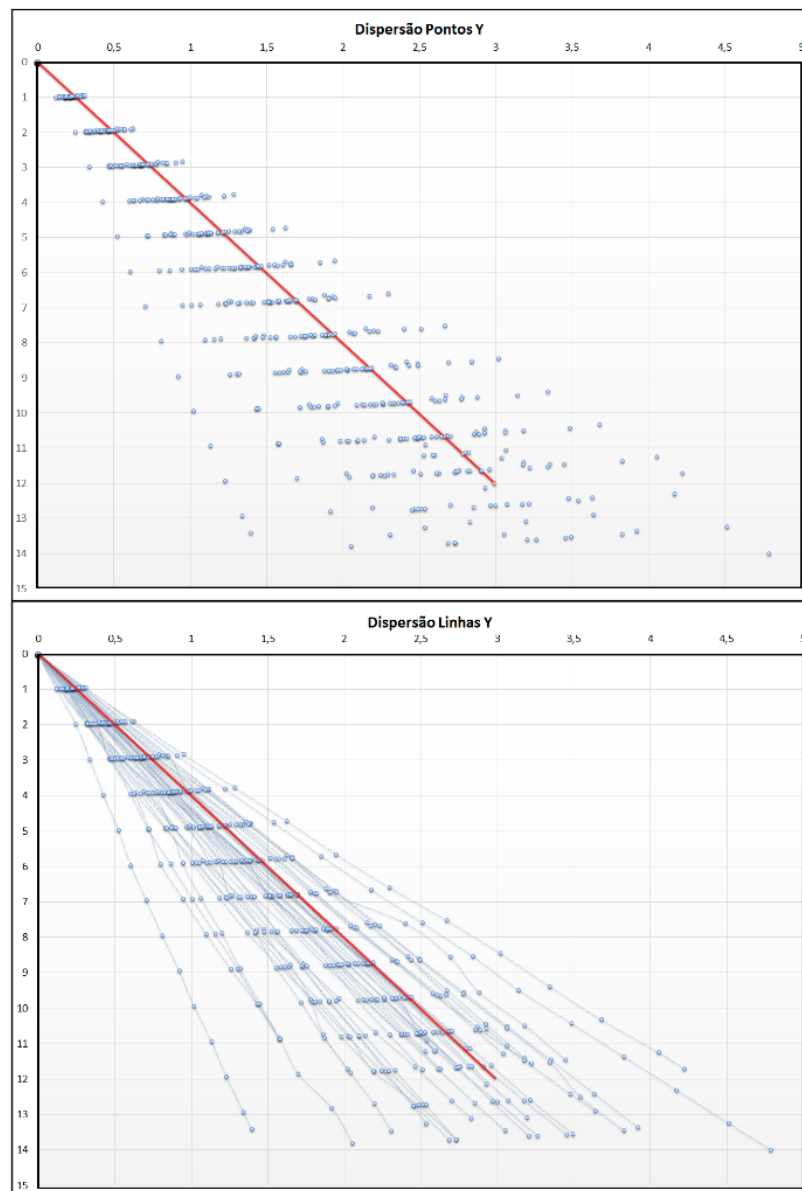


Figura 50. Projecção frontal de todos os furos de P1.

### Descontinuidade vs Perfuração para P1

Na figura 51 foram inseridos no software dips, os valores de azimute e o dip de todas as leituras no funo dos 41 furos para P1. Na representação dos polos, verifica-se que praticamente a totalidade das leituras, inserem-se na mesma área do gráfico, sendo que numa percentagem pequena, verificam-se desvios para o quadrante o oposto. Estão ainda representadas as principais famílias de descontinuidades bem como um plano médio representativo da totalidade de furos em P1. Da sua análise não se verificou qualquer desvio tanto na direcção como na inclinação dos furos.

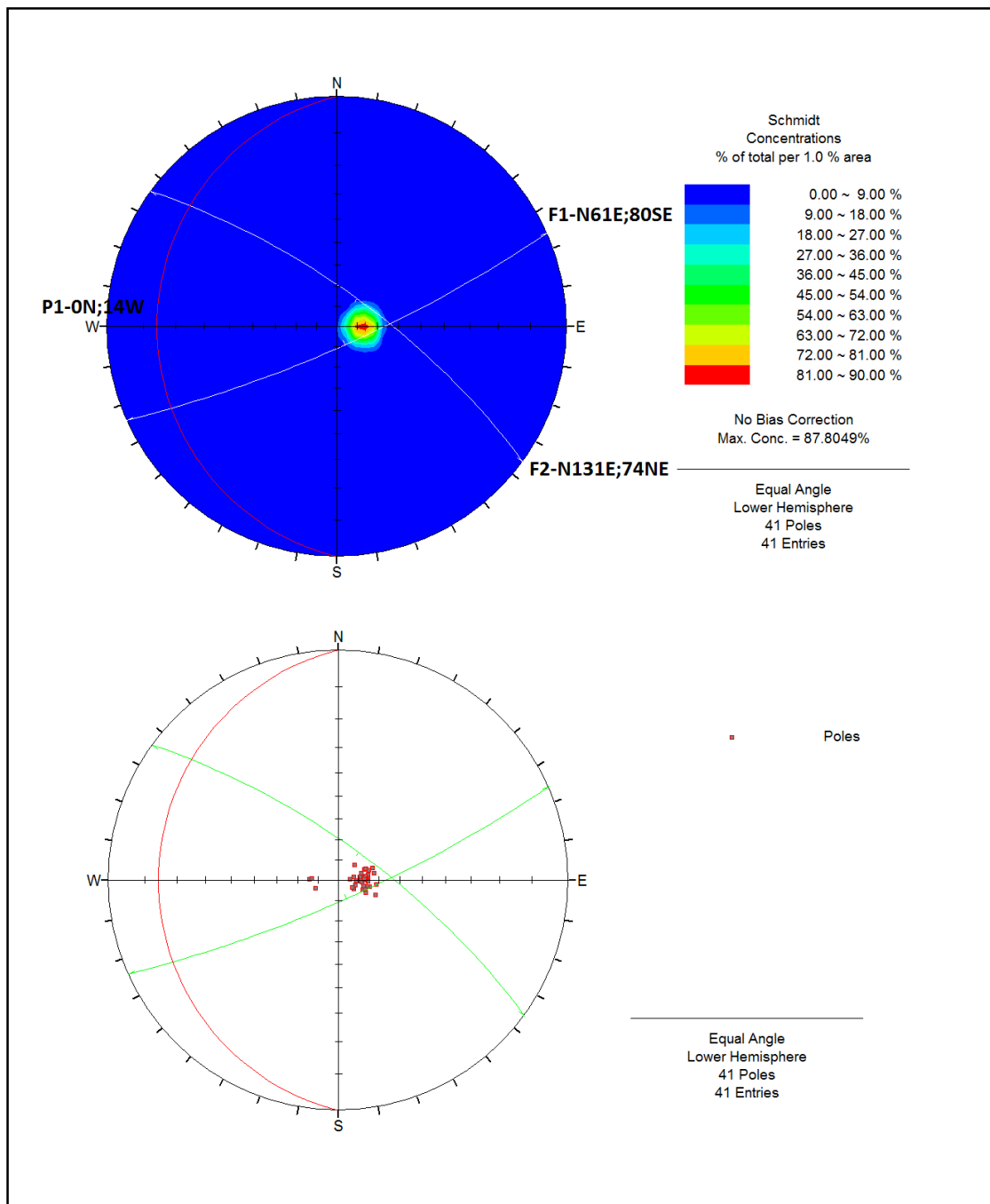


Figura 51. Representação das famílias de descontinuidade e um plano médio dos furos em P1.

### 5.5.2. 2ªPega

Ao analisar a figura 52, Figura 52 verifica-se uma grande área de dispersão no posicionamento dos furos à cota final sendo que a maioria se encontra fora da margem de erro definida para o comprimento médio da perfuração em P2.

Da análise da figura fica ainda clara a tendência de desvio no sentido positivo do eixo X, bem como uma maior verticalidade nos furos quando comparados com P1. Mais à frente, os dados analisados ajudam a suportar os factos aqui evidenciados nomeadamente nas figuras 53 a 55.

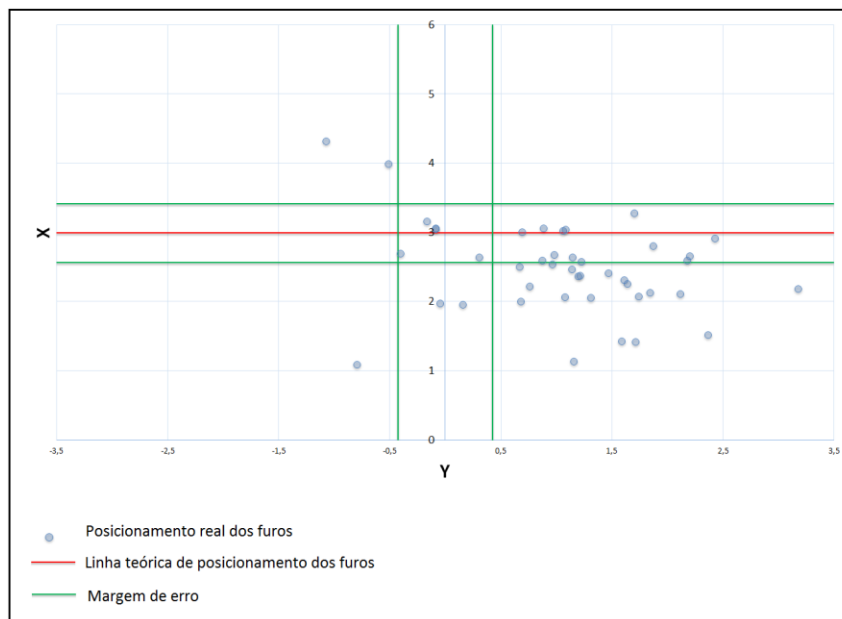


Figura 52. Dispersão de pontos para P2.

F – 0,424m

H – 12,6m

d – 76mm.

$$F = \frac{76}{1000} + 0,03 * 11,6$$

#### Plano Lateral

A tendência de desvio para a direita é bem visível a partir dos gráficos notando-se uma maior dispersão de pontos quanto maior é a profundidade uma vez que, à semelhança do que acontecia em P1, o valor do erro é acumulado. Nesta pega, o valor máximo de desvio é de cerca de 3m para a direita enquanto que para a esquerda do eixo vertical o valor é cerca de 1m. Ao contrário do que acontecia na primeira pega, o número de furos com comprimento superior ou inferior a 12m é pouco significativo estando maioria dentro desse valor.

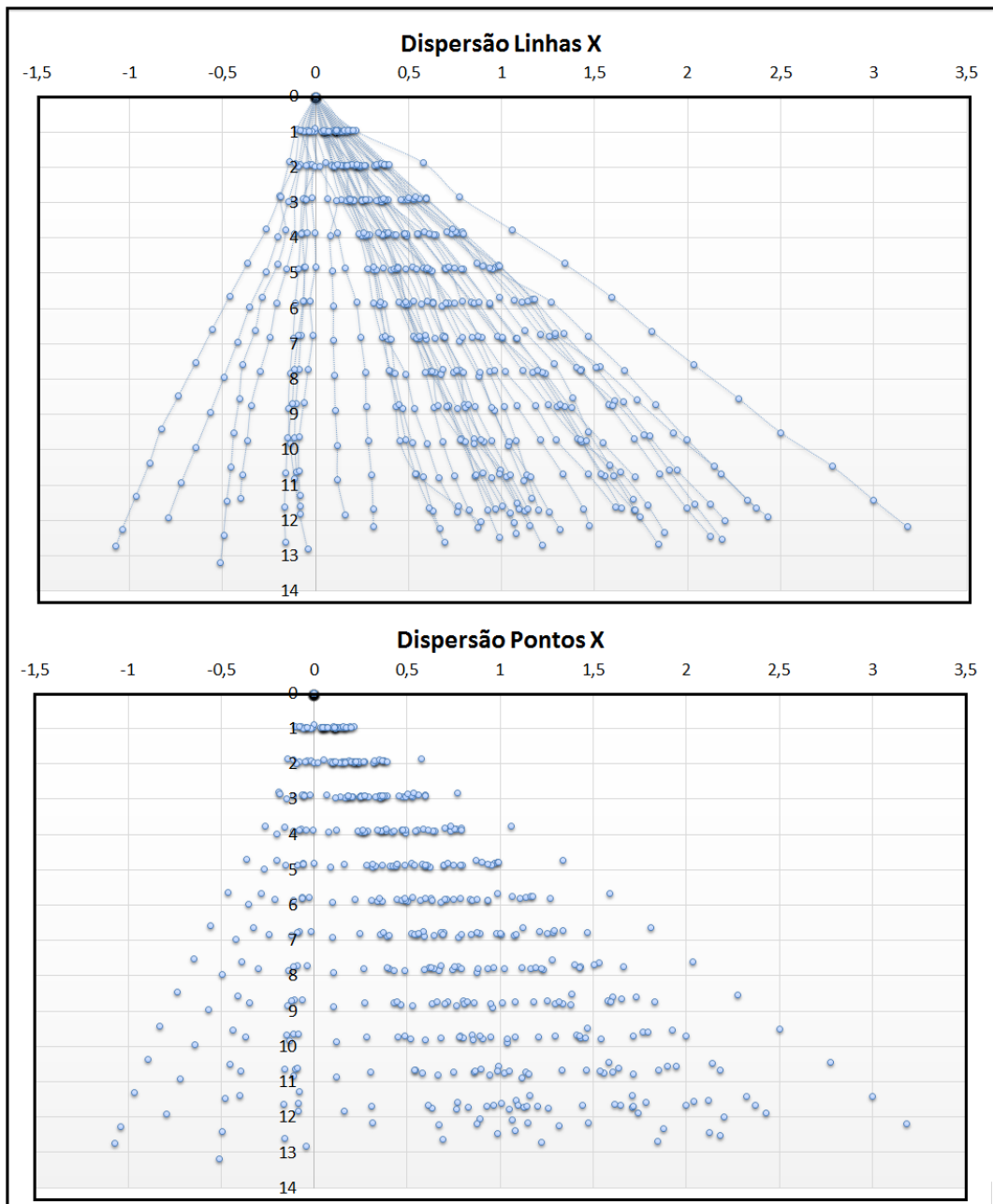


Figura 53. Projecção Lateral de todos os furos de P2.

### Plano Frontal

Em P2, quanto ao plano frontal, os furos têm uma clara de tendência de desvio à retaguarda em relação ao teórico com desvio máximo de quase 2m. Em sentido contrário, o valor máximo de erro verificado para esta pega é de 1,5m. Foi definido para esta pega furos de 12m de comprimento, verificando-se, no entanto, grande variação no comprimento dos furos com valores entre os 8m e os 13m.

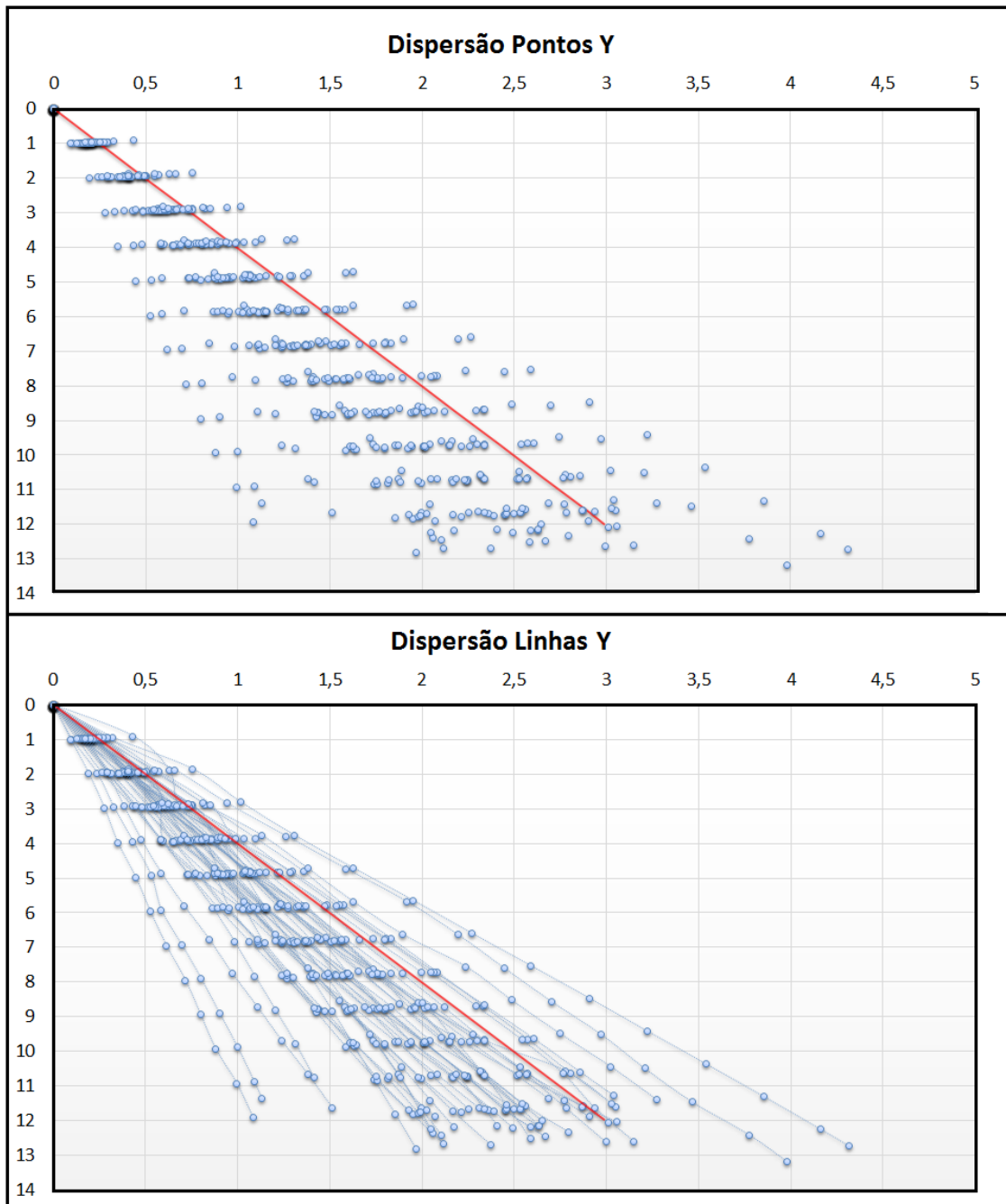


Figura 54. Projecção frontal de todos os furos de P2.

### Descontinuidade vs Perfuração para P2

Em comparação com P1, nesta segunda pega denota-se uma maior dispersão de pontos. Da análise da figura 55 é de salientar dois factos. Em primeiro, e ajudando a suportar a projecção lateral dos furos em profundidade (figura 53) verifica-se uma tendência de desvio do plano médio de perfuração com orientação de N15°E. Em segundo, e mais uma vez suportado pelos dados apresentados anteriormente na figura 54 fica clara uma maior verticalidade dos furos com inclinações na ordem dos 9°.

Da análise das Figura 60 e Figura 70 do capítulo seguinte, que representam a posição final dos furos em cada fiada, verifica-se uma tendência clara de desvio para P2 quando comparada com P1 confirmando assim os dados acima evidenciados.

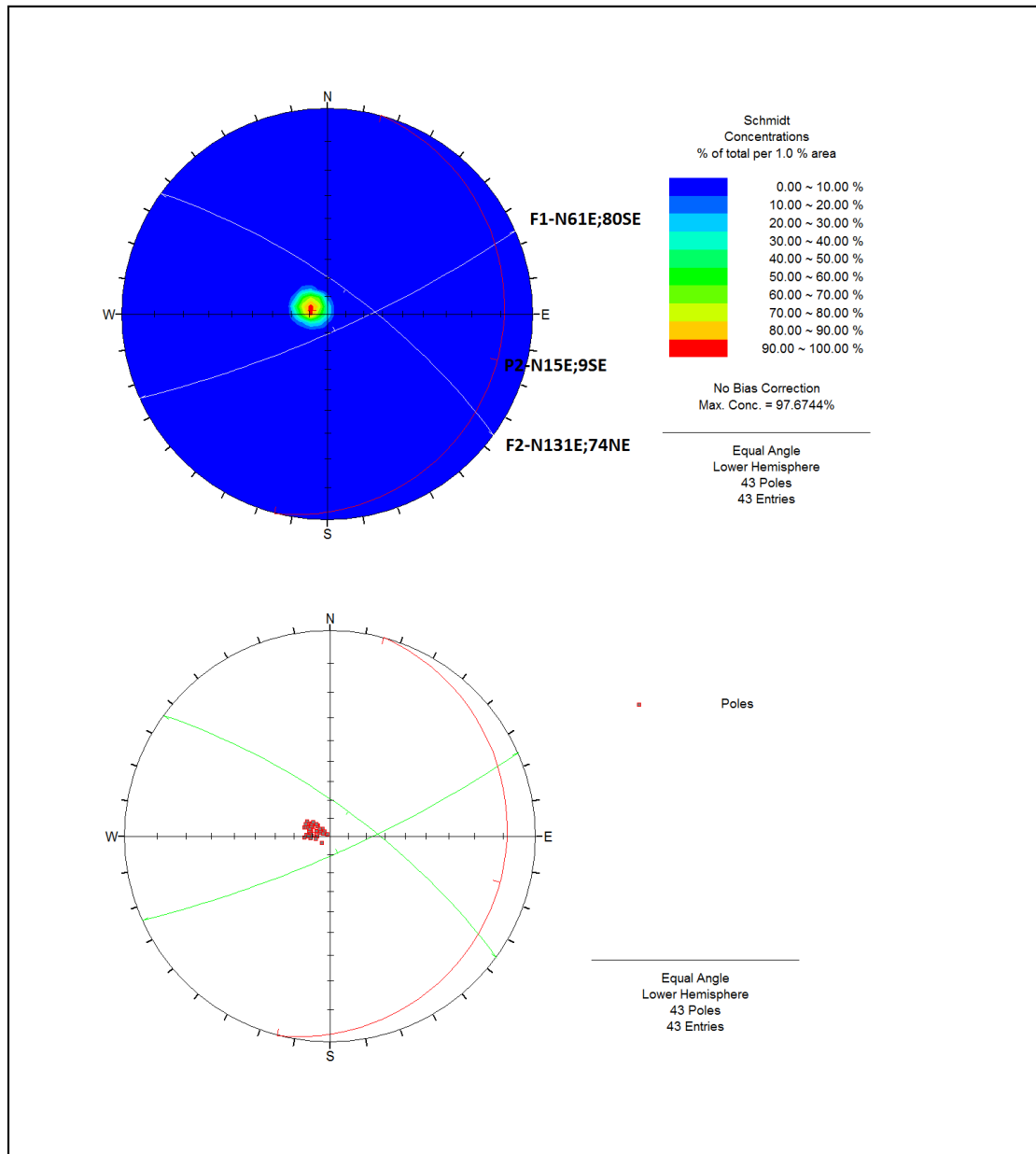


Figura 55. Representação das famílias de descontinuidade e um plano médio dos furos em P2.

## 5.6. Análise da trajectória de perfuração

Nos capítulos anteriores, foram definidos os parâmetros utilizados na caracterização dos erros que, posteriormente, foram identificados nos furos analisados para o estudo realizado nesta tese. Assim sendo, foi feita uma análise individual ao longo de cada furo quanto aos desvios encontrados. No entanto é essencial avaliar cada furo numa perspetiva global e integrada, ou

seja, o desvio de cada furo vai ter influência nos furos adjacentes. A qualidade do desmorte é assim proporcional à qualidade de perfuração. O conhecimento real dos desvios de perfuração permite possíveis alterações nas concentrações das cargas de fundo e de coluna do explosivo, ajustando-as às distâncias reais existentes, e, também, medidas minimizadoras desses desvios durante a operação de perfuração.

### 5.6.1. Análise a P1

Na figura 56 estão dispostos em planta a posição final dos furos teóricos tal como foram idealizados, com uma malha quadrada de 2x2m. A primeira fiada, a azul, é a que tem mais furos com 23. A vermelho e verde estão representadas a 2ª e 3ª fiadas respectivamente.

No entanto, e depois da análise aos desvios verificados, é então necessário avaliar a sua influência na totalidade da pega. Esta análise passa por dois planos, o de direcção a partir dos desvios laterais, com repercussões no aumento ou diminuição do espaçamento teórico definido no projecto e o de inclinação, com influência na distância á frente entre fiadas.

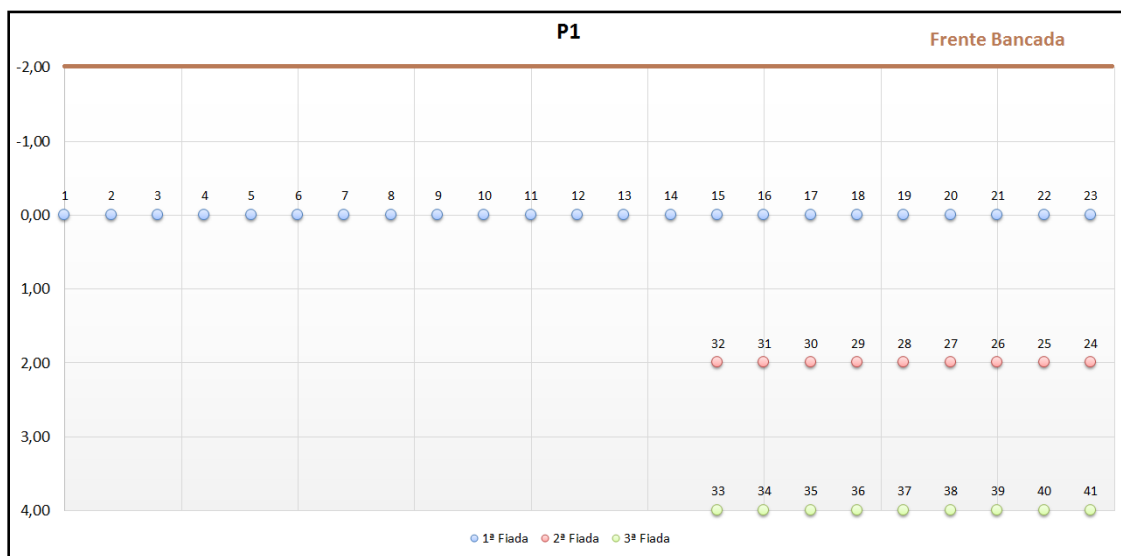


Figura 56. Disposição teórica inicial dos furos de P1.

### Plano Direcção

#### 1ª Fiada

Da análise das figuras 57 a 59, vê-se que praticamente todos os furos apresentam desvios de direcção ocorrendo inclusive sobreposição segundo o plano lateral entre alguns furos nas três fiadas. O espaçamento teórico fica desajustado uma vez que este valor é fixo e parte do pressuposto que a distância entre furos é constante. Assim sendo, seria necessário redefinir o diagrama de fogo adaptando-o à situação em concreto. Quanto à superfície real após o

desmante, esta é bastante irregular, com zonas de subfuração e sobrefuração. A irregularidade da bancada que se irá verificar após o desmante será uma condicionante importante à qualidade da pega seguinte nesta mesma bancada, aumentando a probabilidade de erros no início da perfuração quanto ao posicionamento da coluna, dos parâmetros de inclinação e direcção definidos, bem como erros associados ao emboquilhamento.

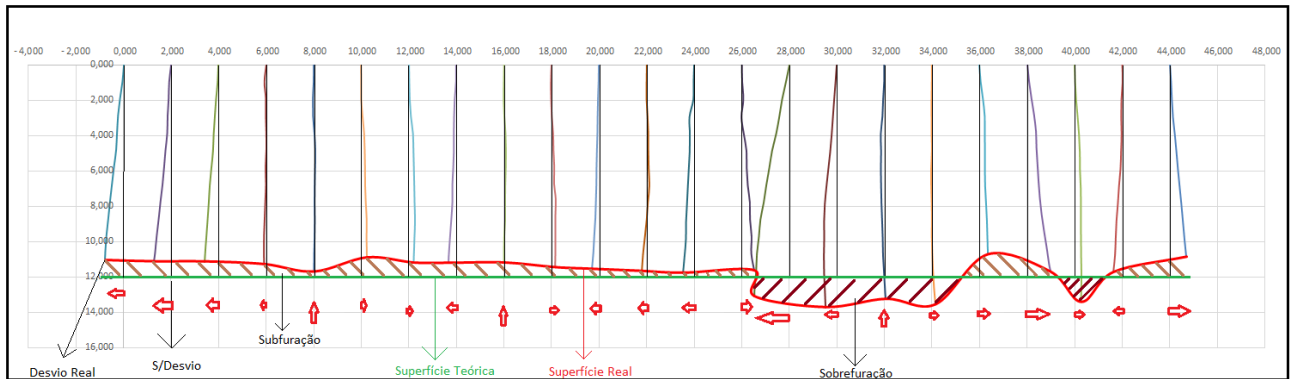


Figura 57. Disposição em planta lateral dos furos da 1ª fiada de P1.

### 2ª Fiada

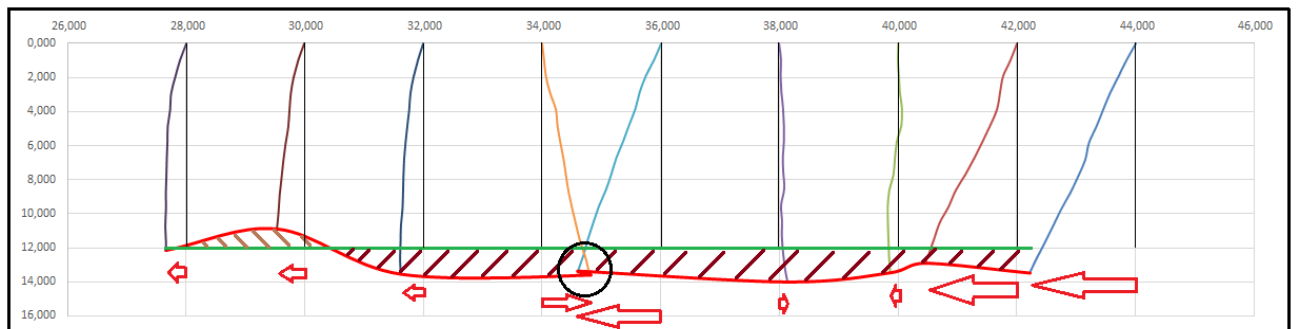


Figura 58. Disposição em plano lateral dos furos da 2ª fiada de P1.

### 3ª Fiada

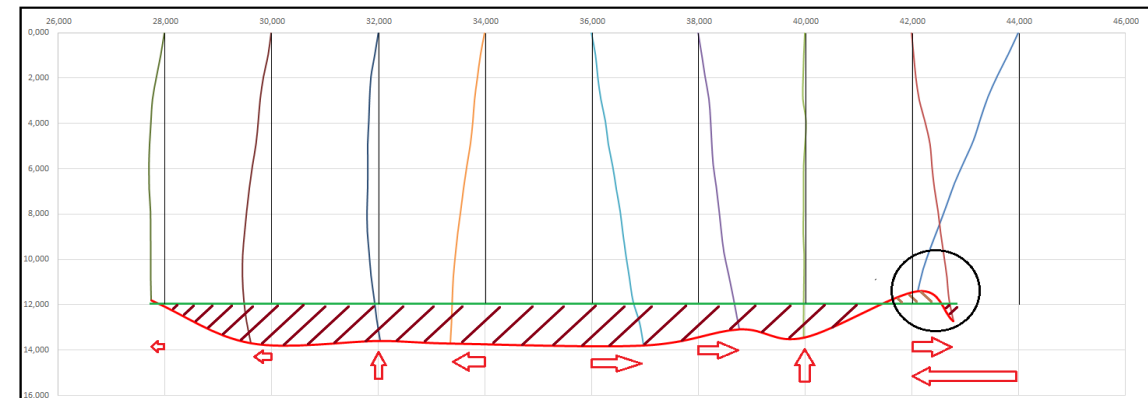


Figura 59. Disposição em plano lateral dos furos da 3ª fiada de P1.

## Disposição dos pontos em planta

Atrás foi feita uma caracterização aos desvios verificados em cada furo e a influência entre furos adjacentes na mesma fiada na análise dos desvios laterais em x. No entanto, para se compreender a dimensão real da influência que cada furo tem no diagrama final é necessário avaliar nos dois planos (x e y) anteriormente abordados. Posteriormente, será possível, de acordo com os dados obtidos, redefinir o diagrama de fogo no sentido de se corrigir as diferentes distâncias entre furos e consequentemente redefinir as novas concentrações de carga.

Na figura 60 é possível, a partir de um plano superior, ter uma perspectiva da totalidade da pega e dos desvios que se verificaram e que condicionaram a geometria dos taludes após o desmonte. De facto, existe um considerável desfasamento entre a superfície teórica de corte e o que se verifica na realidade após o desmonte.

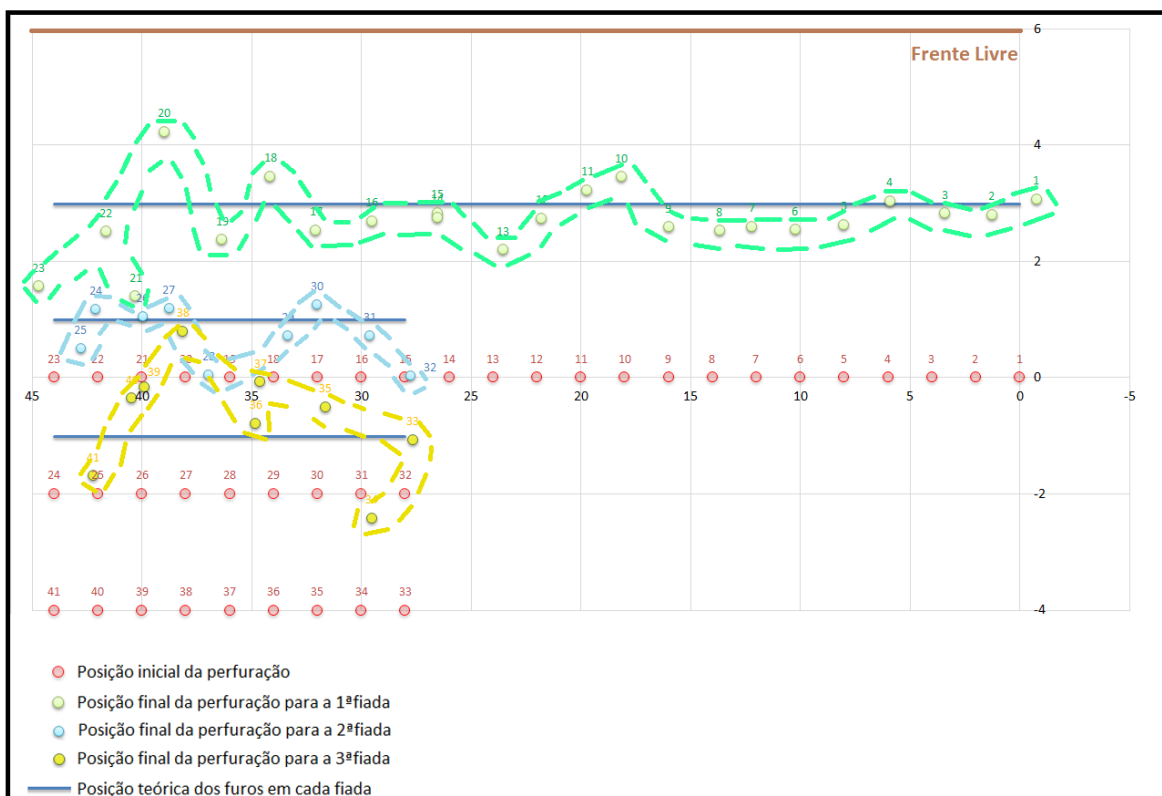


Figura 60. Disposição em planta inicial e final, dos furos de P1.

## Cálculo dos Volumes

Após a caracterização da primeira pega, será interessante fazer um cálculo dos volumes teóricos expectáveis (figura 61), obtidos após o desmonte, caso não ocorresse qualquer desvio. Já atrás se viu que os comprimentos de alguns furos se afastam bastante dos 12m idealizados, havendo

zonas de subfuração e sobrefuração. Também ao nível da geometria final do talude, este é bastante irregular afastando-se à retaguarda ou para a frente da linha de corte teórica.

Para este cálculo mais não fiz do que uma média ponderada, calculando uma área de influência para cada furo de cada fiada.

De seguida apresento um exemplo de cálculo dos volumes teóricos e real da 1ª fiada (quadro 51). Nota para que estes valores representam apenas uma estimativa fundamentada em cálculos, do que será espectável que ocorra, no entanto, o efeito do explosivo não é linear, afectando áreas adjacentes aos limites da pega e que não puderam ser contabilizados para este efeito (quadro 52).

### 1ª Fiada

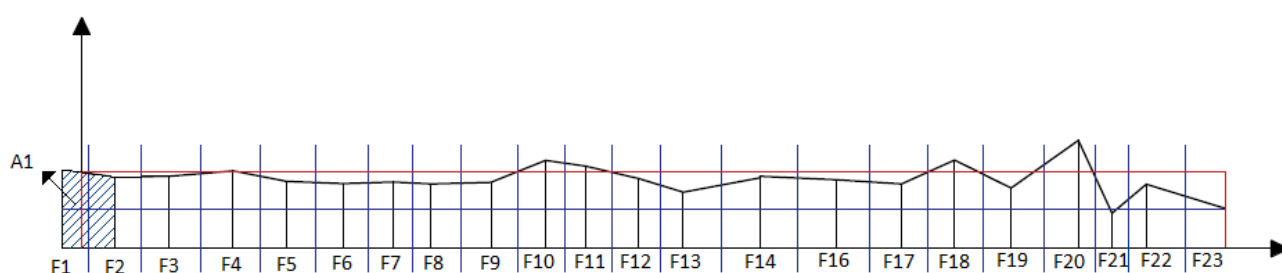


Figura 61. Esquemática do cálculo dos volumes para a 1ª fiada em P1.

Quadro 51. Cálculo dos volumes teórico e real da 1ª fiada para P1.

Furo	Percentagem	Área (m <sup>2</sup> )	H (m)	Volume Real (m <sup>3</sup> )	Volume teórico (m <sup>3</sup> )
1	2,24%	3,1	11,052	34,26	<b>1592,4</b>
2	4,58%	5,91	11,125	65,75	
3	5,11%	6,62	11,129	73,67	
4	5,06%	6,83	11,282	77,06	
5	4,74%	5,75	11,703	67,29	
6	4,60%	5,35	10,902	58,33	
7	3,78%	4,4	11,195	49,26	
8	4,19%	4,85	11,210	54,37	
9	4,91%	6	11,189	67,14	
10	4,07%	6,1	11,454	69,87	
11	4,00%	5,78	11,549	66,75	
12	4,22%	5,25	11,665	61,24	
13	5,21%	5,54	11,771	65,21	
14	6,57%	8,12	11,633	94,46	
16	6,09%	7,44	13,715	102,04	
17	5,08%	6,14	13,249	81,35	
18	4,72%	6,88	13,559	93,29	
19	5,32%	6,65	10,726	71,33	
20	4,33%	7,26	11,711	85,02	
21	2,92%	2,5	13,420	33,55	
22	4,86%	5	11,724	58,62	

---

23	3,38%	2,74	10,861	29,76
Total	<b>100%</b>	<b>124,21</b>	----	<b>1459,61</b>

---

Quadro 52. Quadro resumo do volume teórico e real de P1.

	Área (m2)	Volume Teórico (m3)	Volume Real (m3)	Diferença
Fiada 1	124,21	1592,4	1459,61	132,79
Fiada 2	41,38	574,08	547,603	26,48
Fiada 3	49,62	594,72	657,661	-62,94
Total	<b>215,21</b>	<b>2761,2</b>	<b>2664,88</b>	<b>96,32</b>

---

Do quadro verifica-se que na soma das três fiadas de P1, verificou-se um défice de volume desmontado em relação ao teórico. Só na 3ª fiada o volume real foi superior ao teórico sendo que no total foram desmontados menos 96,32m<sup>3</sup>.

### Modelo de superfície

Na tabela anterior, praticamente todos os furos apresentam variações significativas nos parâmetros que foram abordados para o estudo desta tese, provocando, como já vimos, alterações no volume, mas, mais importante vão ser causa de erros na próxima pega. Uma das causas associadas ao erro de emboquilhamento é precisamente a irregularidade na superfície da bancada, devendo ser evitados grandes variações entre comprimentos de furos da mesma pega, de forma a garantir a estabilidade da coluna de perfuração. Os desvios que se verificam numa pega terão contributo importante nos desvios nas pegas seguintes sendo o processo uma espécie de bola de neve em que o erro vai-se acumulando sucessivamente pondo em causa a qualidade, do produto final obtido.

Assim sendo, será interessante ter uma perspectiva da superfície que irá resultar após o desmonte. A figura 62 representa isso mesmo. Com o programa *surfer*, foi possível simular um modelo a 3 dimensões dispondo os furos segundo as suas posições finais em x e y, representando em z o comprimento final de cada furo.

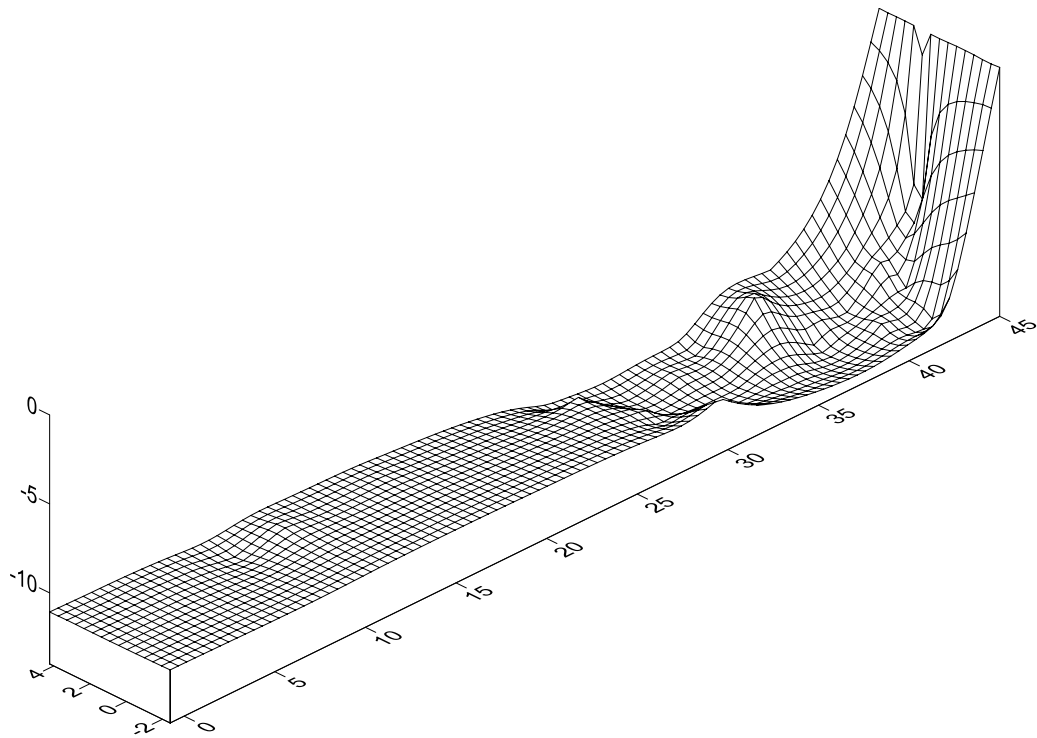


Figura 62-Modelo de superfície teórico em P1 após o desmonte.

Na figura 63, vê-se que é essencialmente entre os 25 e os 44m em que se verificam maiores irregularidades ao nível da superfície. Aos 10m em x, existe uma ligeira depressão sendo que na área restante não se verificam alterações significativas.

Por fim, e para compilar toda a informação anteriormente analisada, tentei criar um modelo que representasse os taludes finais obtidos. A imagem seguinte representa isso mesmo.

Modelo 3D P1

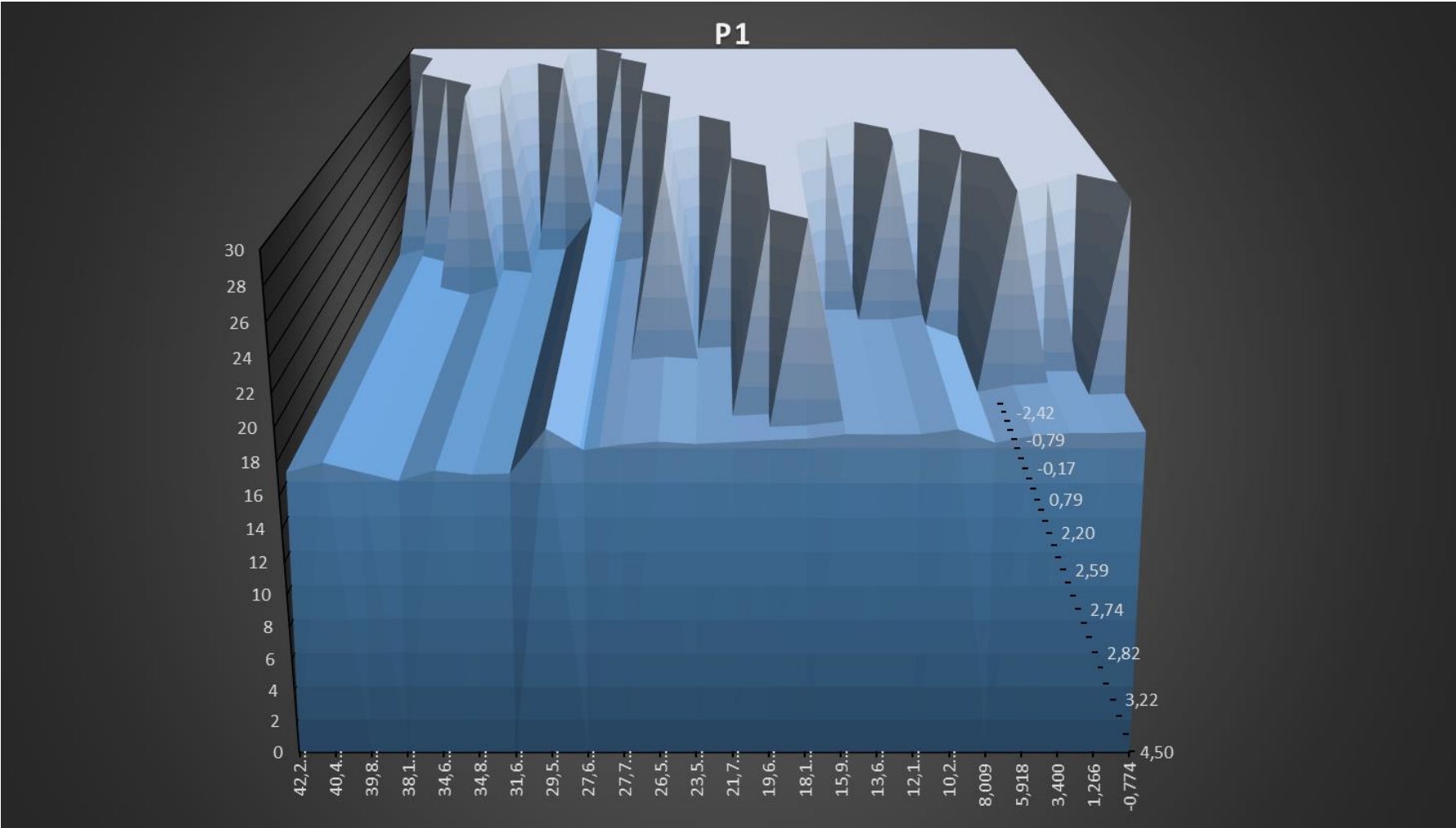


Figura 63. Modelo representativo dos taludes finais obtidos.

## 5.6.2. Análise a P2

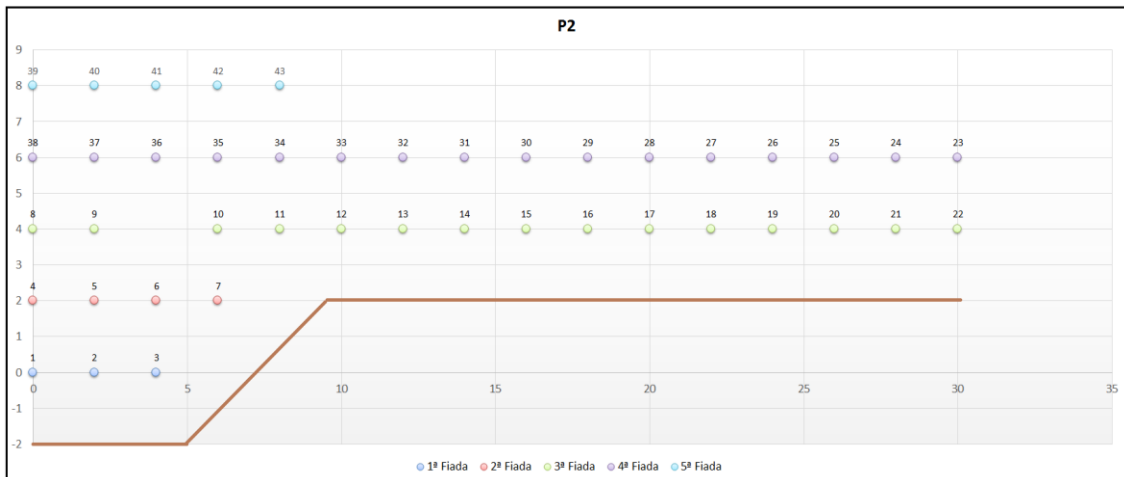


Figura 64. Disposição inicial teórica dos furos de P2-

### Plano de direcção

#### 1ª Fiada

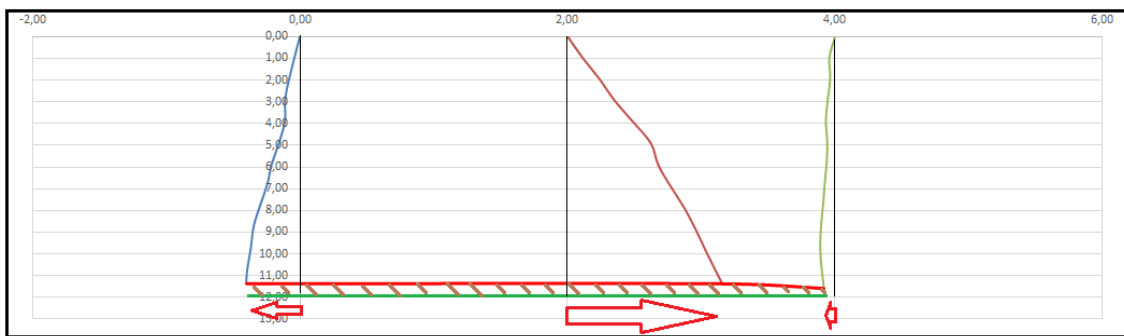


Figura 65. Disposição em plano lateral dos furos da 1ª fiada de P2.

#### 2ª Fiada

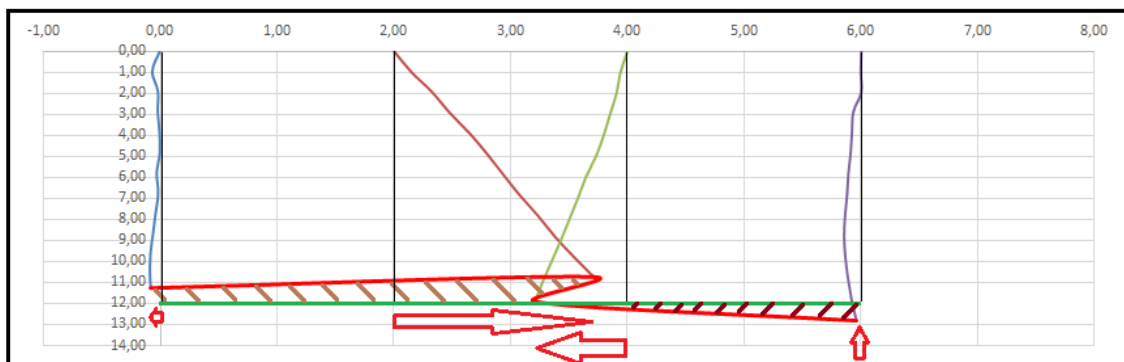


Figura 66. Disposição em plano lateral dos furos da 2ª fiada de P2.

### 3ª Fiada

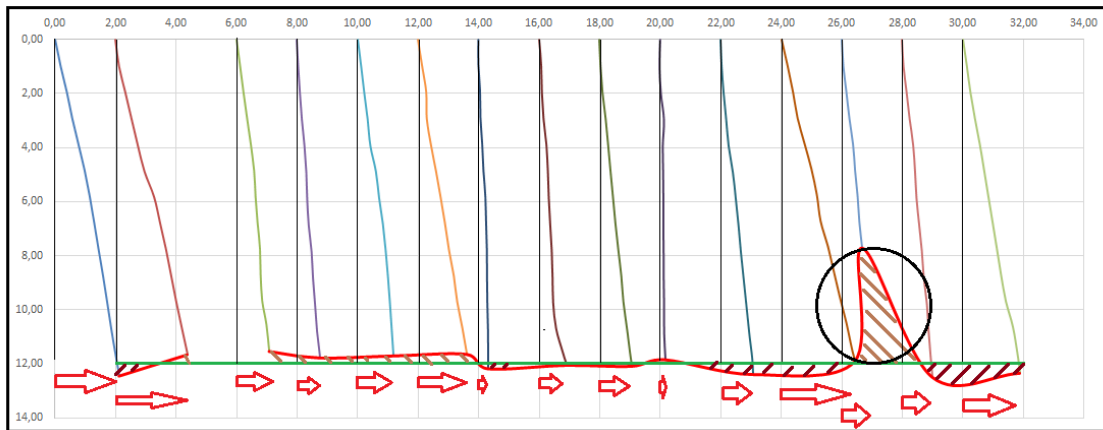


Figura 67. Disposição em plano lateral dos furos da 3ª fiada de P2.

### 4ª Fiada

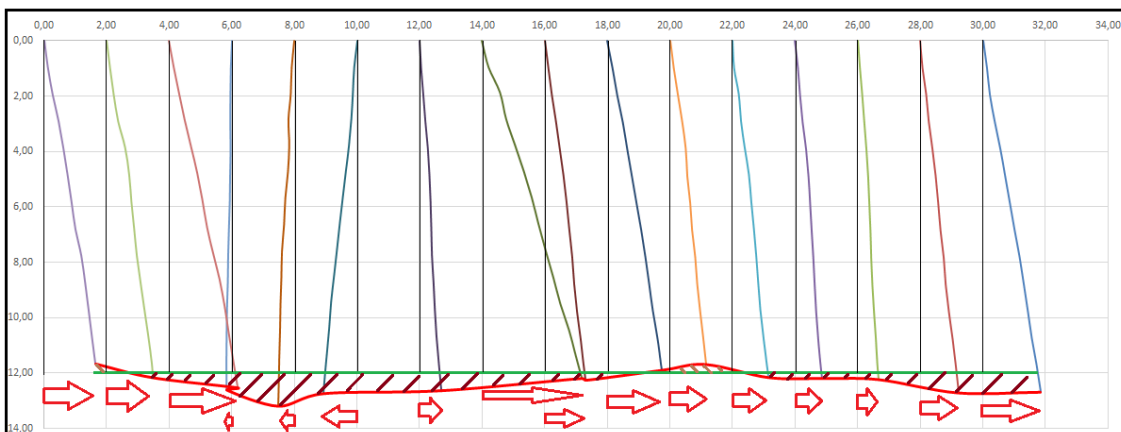


Figura 68. Disposição em plano lateral dos furos da 4ª fiada de P2.

### 5ª Fiada

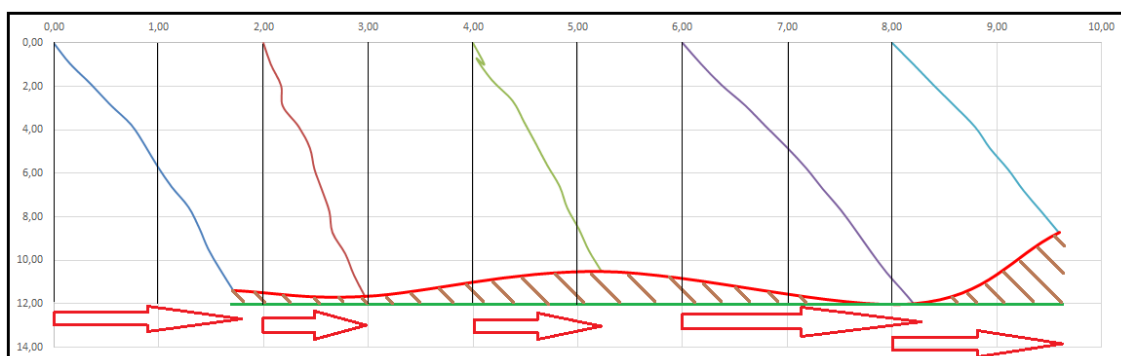


Figura 69. Disposição em plano lateral dos furos da 5ª fiada de P2.

Da análise dos desvios laterais dos furos dispostas em planta, vê-se claramente a existência de erros em todas as fiadas verificando-se inclusive na 2ª e 3ª fiadas, a intersecção de furos adjacentes. Quanto à tendência de desvio, esta também é demais evidente com os furos a desviar

quase na totalidade no mesmo sentido. Ao nível das cotas finais dos furos verificam-se variações entre eles sendo que a maior discrepância se verifica na 3ª fiada com um défice de furação de cerca de 4m aos 12m definidos no projecto.

### Disposição dos pontos em planta

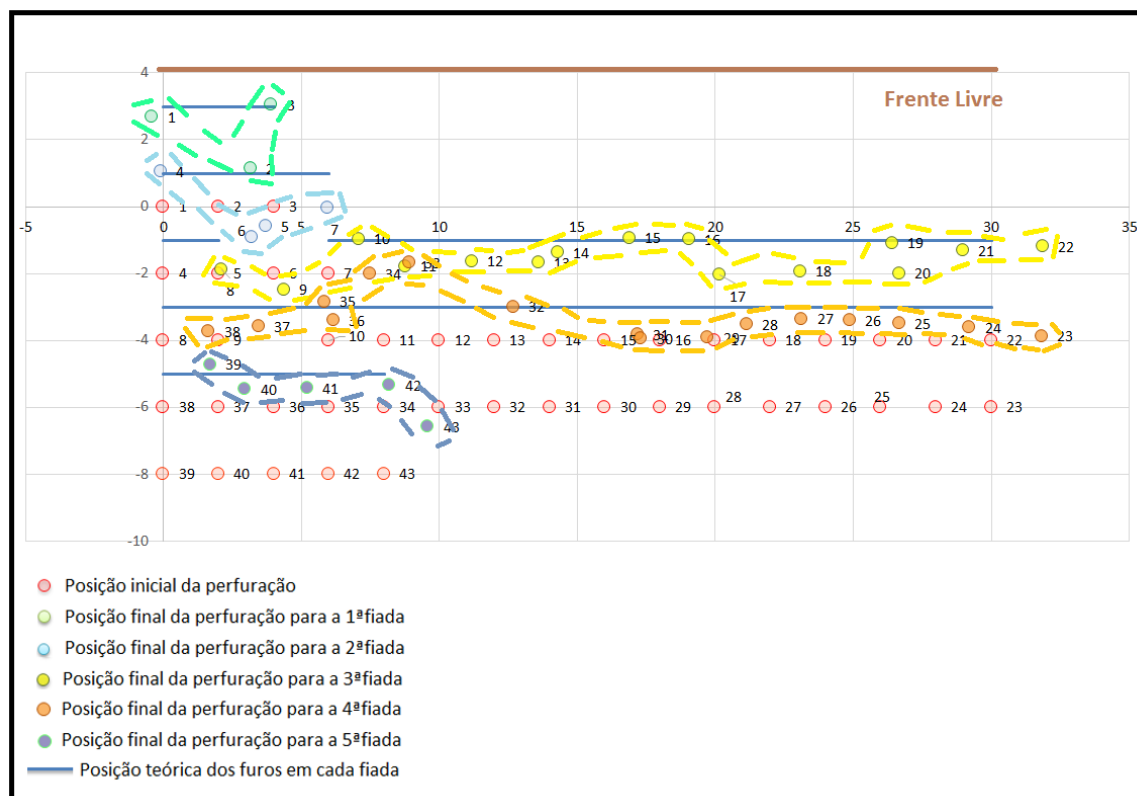


Figura 70-Disposição em planta, inicial e final, dos furos de P2

### Cálculo dos Volumes para P2

Quadro 53. Quadro resumo do volume teórico e real de P2.

	Área (m2)	Volume Teórico (m3)	Volume Real (m3)	Diferença
1ª fiada	8,39	143,64	95,67	47,97
2ª fiada	12	215,4	139,79	75,61
3ª fiada	75,53	1077,12	896,29	180,83
4ª fiada	85,73	1077,12	1062,05	15,07
5ª fiada	25,61	287,28	287,47	-0,19
<b>Total</b>	<b>207,26</b>	<b>2800,56</b>	<b>2481,26</b>	<b>319,30</b>

Quando comparado com P1, verifica-se um défice de volume maior para a segunda pega. Enquanto que o volume expectável seria de 2800m3, tendo por base os cálculos anteriores aos desvios ocorridos, verifica-se que o volume real será de 2481m3, menos 300m3 do que o previsto.

---

De facto, e recorrendo ao gráfico de desvios anteriormente exposto, o desvio total para P2 foi superior a P1 o que suporta os dados aqui apresentados.

### Modelo de superfície P2

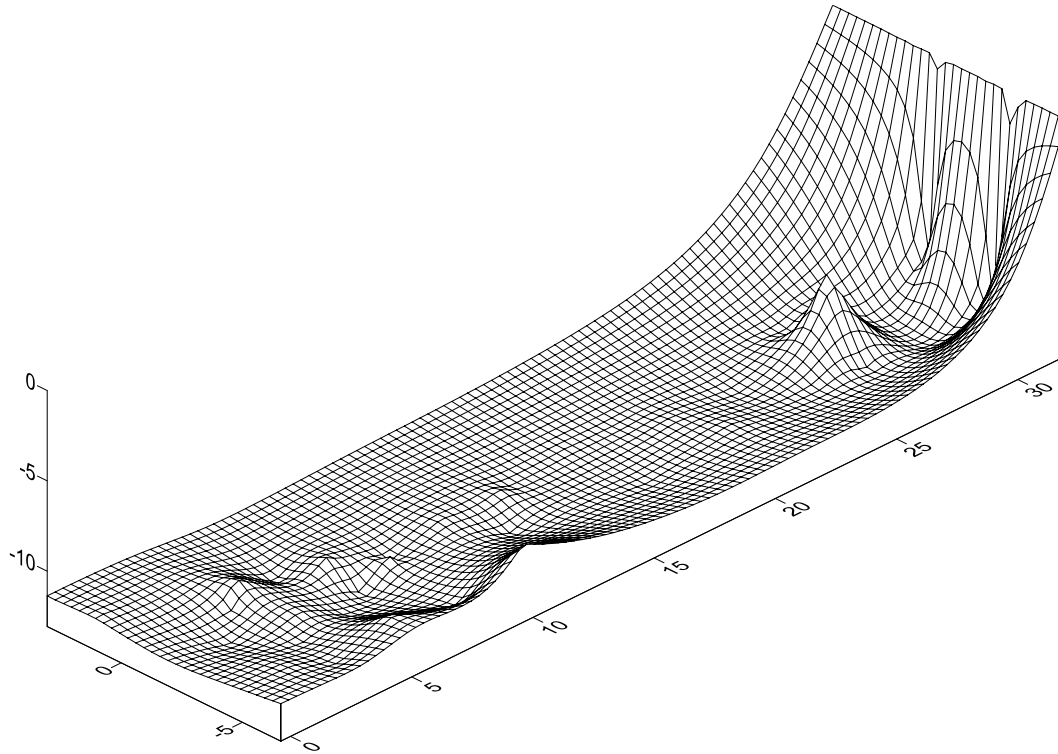


Figura 71. Modelo de superfície teórico em P2 após o desmonte-

A partir do gráfico de superfície de P2, verificam-se essencialmente duas zonas mais irregulares, uma nos primeiros furos das últimas fiadas, nomeadamente da 4ª e 5ª fiadas, bem como uma zona que mais não é do que o F20 da 3ª fiada em que se verificou um furo bastante curto, com cerca de 4m a menos do total esperado. É ainda notória uma tendência ao aumento do comprimento dos furos à medida que se avança tanto em x como y.

É importante ter a noção de que, os desvios provocam maiores ou menores espaçamentos entre furos da mesma fiada ou de fiadas diferente, com influência no produto que é obtido após o desmonte e que será posteriormente processado. No caso de espaçamentos demasiado grandes, pode ser necessário recorrer a desmonte secundário se os blocos obtidos tiverem dimensões superiores às admitidas pelo primário, ou então caso a distância à frente seja demasiado reduzida, pode ocorrer o risco de projecções de material e dar origem a incidentes graves. Seria então importante redimensionar todo o diagrama de fogo após a análise aos desvios que se verificaram e depois de analisados os modelos finais.

Modelo 3D

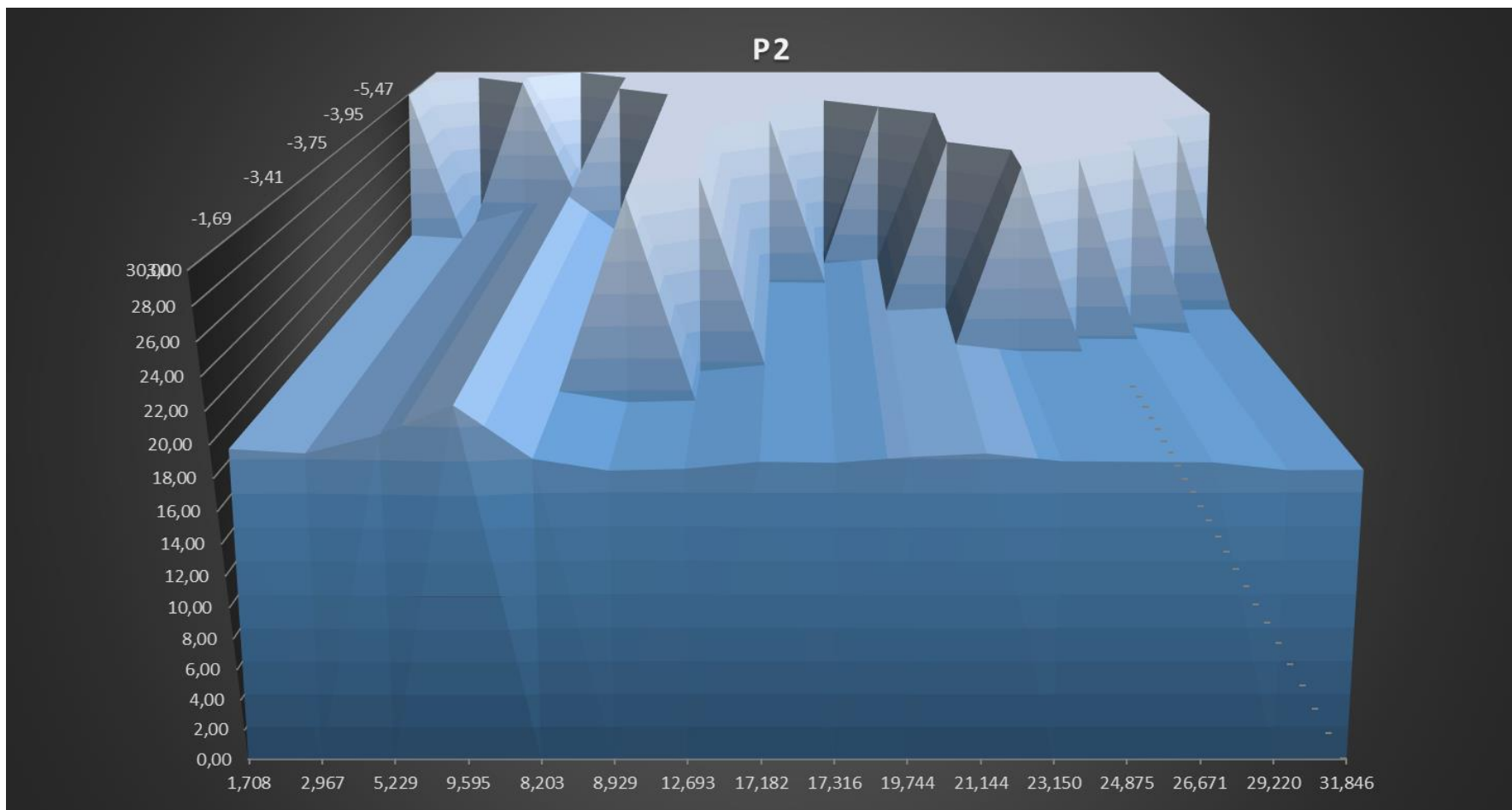


Figura 72. Modelo 3D.

---

(Página propositadamente em branco)



---

(Página propositadamente em branco)

---

## 6. Conclusões

Tal como já foi referido, este trabalho surge na sequência de outra tese anteriormente desenvolvida em que foi realizada uma caracterização, a partir da técnica da amostragem linear, às superfícies expostas do maciço rochoso da pedreira da Curviã nº2 em Famalicão no estudo da sua compartimentação. Posteriormente, abordou-se a problemática dos desvios de perfuração tendo sido feita uma descrição e posterior caracterização aos dados obtidos em duas pegas pelo equipamento Boretrak.

Assim sendo, faz sentido dividir as conclusões em duas partes diferentes: quanto às propriedades do maciço rochoso a partir do levantamento e estudo geológico-geotécnico das suas descontinuidades e posteriormente uma análise crítica aos desvios que se verificaram na perfuração das duas pegas em que foram recolhidos dados para tratamento.

Quanto ao estudo do maciço:

- O material rochoso em estudo corresponde a um monzogranito de grão médio, de tendência porfiróide, de duas micas, com predomínio de biotite. Possui cor geralmente cinzenta e textura bastante uniforme. A análise dos dados do grau de alteração do material-rocha permitiu classificar como maioritariamente, são a pouco alterado, W1, ocorrendo em percentagens, algo expressivas descontinuidades ligeiramente alteradas, W2, e pouco expressivas descontinuidades medianamente alteradas, W3.
- A fácies granítica, em termos de qualidade geotécnica apresenta com maior expressão, as descontinuidades afastadas (F2). A estas seguem-se, as descontinuidades medianamente afastadas (F3), as descontinuidades muito afastadas (F1), as descontinuidades próximas (F4) e ainda com alguma expressão, descontinuidades muito próximas (F5).
- O maciço em termos de resistência à compressão uniaxial classifica-se, na sua maioria, como sendo do tipo S2, resistência elevada, sendo o valor médio da resistência, nesta classe de 108 MPa, seguindo-se, com menor expressão, descontinuidades com grau de resistência média, S3 e resistência muito elevada, S1, com valores médios de 55 e 219 MPa, respectivamente. Globalmente, o valor médio da resistência à compressão avaliado situa-se no intervalo 100-110 MPa (S2).

Quanto ao estudo dos desvios de perfuração:

- Quanto ao emboquilhamento, no que diz respeito a P1 a maioria dos furos não apresentou percentagens significativas de erro com percentagens na ordem dos 70%

---

sendo que a tendência de desvio é também semelhante para os três planos analisados. Quanto a P2, a percentagem de furos sem erro em x e y anda perto dos 60%, diminuindo para quase 50% quando analisado segundo o plano  $\alpha$ . Ao analisar a tendência de erro, verifica-se que, para x, a maioria dos furos com erro se afasta do eixo vertical enquanto que para y se verifica um afastamento à retaguarda. Na resultante  $\alpha$ , os furos apresentam tendência de afastamento face ao eixo vertical.

- Relativamente aos desvios pontuais, para os valores de referência definidos, quase todos os furos apresentam este tipo de desvio em ambas as pegas. Quanto a P1, a percentagem de furos sem qualquer tipo de erro é de apenas 20% em x e cerca de 30% em y. Para  $\alpha$  a percentagem sobe ligeiramente praticamente até aos 37%. Para P2, a percentagem de furos sem erro para x, sobe ligeiramente em relação a P1 com quase 24% dos furos a não apresentarem este tipo de desvio em toda a sua extensão. Em y e  $\alpha$ , a tendência inverte-se uma vez que os furos que apresentam erro são de cerca de 83% no plano de inclinação e de 93% segundo o ângulo. É ainda de salientar que tanto para P1 como para P2, a propensão de desvio é semelhante como percentagens muito próximas dos 50% para  $c/\epsilon+$  e  $c/\epsilon-$ .
- Após ter caracterizado os desvios evidenciados em ambas as pegas, foi necessário quantificar as duas componentes do erro em ambos os planos analisados (flexão e desvios pontuais e/ou outros), tendo para isso desenvolvido dois parâmetros em x,  $\epsilon_{1x}$  e  $\epsilon_{2x}$ , e em y,  $\epsilon_{1y}$  e  $\epsilon_{2y}$ , que posteriormente apliquei a todos os furos analisados. Dessa análise resulta que para P1, e para o plano lateral, quanto à projecção do emboquilhamento ( $\epsilon_{1x}$ ), verifica-se que em média o valor de desvio é cerca de 0,7m enquanto que  $\epsilon_{2x}$  o valor é substancialmente mais baixo com valores médios na ordem dos 0,3m. Para y, a distância da projecção do emboquilhamento face ao furo real, aos 12m de profundidade ( $\epsilon_{1y}$ ), foi em média de 0,5m enquanto que, e, à semelhança do que aconteceu para x, o valor para  $\epsilon_{2y}$ , foi inferior com cerca de 0,3m de desvio. Da comparação com P1, é de salientar que para P2, o valor de  $\epsilon_{1x}$ , é mais elevado com valor médio de cerca de 1,3m de desvio. Em sentido inverso está o valor de  $\epsilon_{2x}$ , que é ligeiramente inferior a P1. Quanto ao plano de inclinação, os desvios são mais acentuados para P2 com valores médios de  $\epsilon_{1y}$  e  $\epsilon_{2y}$ , 0,7m e 0,4m respectivamente.
- Da análise do gráfico de dispersão de pontos em ambas as pegas, acentuam-se os dados anteriormente obtidos, uma vez que, enquanto que em P1, a percentagem de leituras efectuadas a cada metro de perfuração, cai dentro da área de tolerância que foi definida

---

para este estudo, o mesmo não acontece para P2, em que se verifica um número elevado de leituras ao lado dessa mesma margem de erro e, da análise dos gráficos das projecções laterais e frontais, uma clara tendência de desvio á direita e á retaguarda em relação ao furo teórico. Ao analisar a intersecção das projecções das descontinuidades e de um plano médio de perfuração, verifica-se que para P1, apesar de alguns polos se encontrarem no quadrante oposto, o plano de representação média dos furos está direccionada para oeste cerca de  $13^{\circ}$  enquanto que em P2, este mesmo plano tem uma atitude de N18;E como inclinação para SE cerca de  $11^{\circ}$ . Estes dados confirmam essa mesma tendência de desvio face ao ideal teórico.

- Da análise da disposição em planta dos furos teóricos e reais em ambas as pegas, é possível retirar várias conclusões. Antes de mais é notório o desfasamento da linha de corte real em comparação à teórica ocorrendo inclusive a justaposição de furos adjacentes. Daqui resulta uma distribuição incorrecta das concentrações de carga nos furos, calculada para uma área de influência teórica e que na realidade não se verifica em praticamente a totalidade dos furos tanto em P1 como em P2. É também possível validar os dados anteriores sendo bem evidente que, os desvios acentuam-se na 2ª pega, notando-se ainda uma tendência de desvio bem definida. Por fim, é ainda de salientar que os valores de referência para a classificação dos erros são fixos, mas a sua obtenção depende da variação entre leituras. Assim sendo, mesmo que os valores de direcção/inclinação no primeiro tramo se encontrem longe dos valores teóricos, caso se mantenha essa mesma tendência de erro ao longo do furo, tal só vai ser perceptível na análise da distribuição final dos furos. Ao analisar por exemplo o F2 de P2, segundo os critérios utilizados não foi registado qualquer erro sendo que, no entanto, a posição final do furo está bastante afastada da linha teórica representada nas tabelas de disposição final dos furos. O inverso também acontece sendo que, o F4 de P1 regista erro de emboquilhamento em x e vários desvios pontuais ao longo do furo tanto na inclinação como na direcção, mas o ponto final do furo está praticamente colado ao furo teórico. Conclui-se assim que, apesar de ocorrerem vários desvios no desenvolvimento dos furos, para um possível redimensionamento do diagrama de fogo, fará sentido analisar com mais cuidado a localização real de cada furo.
- No cálculo dos volumes teórico e real, mais uma vez se nota que os desvios se acentuam mais na 2ª pega com um défice de volume real cerca de 320 m<sup>3</sup>, praticamente 3x mais do que em P1. Para além dos desvios em x e y, também o comprimento dos furos contribui de forma decisiva nas diferenças de volume que se verificam.

---

(Página propositadamente em branco)

---

## ***7 – Referências Bibliográficas***

---

---

(Página propositadamente em branco)

---

## 7. Referências Bibliográficas

Atlas Copco, s.d.. Surface drilling. Second edition, 156 pp

Brady B.H.G. & Brown, E.T., 2004. Rock mechanics for underground mining. Kulwer Academic Publishers, Dordrecht. 628 pp.

Brown, E. T. 1991. Da teoria à prática em mecânica das rochas. Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros, Ano IV, 48: pp. 9-29.

CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996, Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.

Chaminé H.I., Afonso M.J., Ramos L. & Pinheiro R. (2014). Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty (Chapter 61). In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P., Delgado C. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects, IAEG, Springer, 6: 357-361.

Chaminé H.I., Afonso M.J., Teixeira J., Ramos L., Fonseca L., Pinheiro R. & Galiza A.C. (2013). Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. European Geologist Magazine, Journal of the European Federation of Geologists, 36: 27-33.

Chaminé, H. I. & Gaspar, A. F., 1995, Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto, 37: 97-111.

Dinis da Gama C., 1991. Qualidade e patologia de obras geotécnicas. In: 4º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 3: 1-20.

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

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

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

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

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

Galiza A.C., Ramos L. & Chaminé H.I., 2008. Controlo da qualidade geotécnica do desmonte do maciço rochoso através de uma perfuração alinhada. In: Actas do 11º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Coimbra. Volume 1, pp. 243-250.

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

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I., 2011b. O papel da geotecnia mineira na optimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. Boletim de Minas, DGEG, Lisboa, 46(2): 104 105.

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

Lamas, P. C., 1993. Estudos Geotécnicos para obras de Engenharia-Ensaio de rochas em laboratório. Cursos de sensibilização, CEGSA, Santo André, 29 e 30 de Março de 1993, pp.17.

Langefors U. & Kihlstrom B., 1978. The modern technique of rock blasting. 3rd revised edition. John Wiley and Sons Ltd, New York, 438 pp.

López Jimeno C., López Jimeno E. & Carcedo F.J.A., 1995. Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema, Taylor & Francis Group, Rotterdam, 400 pp.

Martins, R., Moreira, P., Santos Pereira, Neto, E., Pereira, A. M., Teixeira, J., Vieira, A. & Chaminé, H. I., 2006. A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: Actas do 10.º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia/Univ. Nova de Lisboa, Maio de 2006. Volume 1, pp. 255-264.

Mazzoccola D.F., Millar D.L. & Hudson J.A. (1997). Information, uncertainty and decision making in site investigation for rock engineering. Geotechnical and Geological Engineering, 15: 145-180.

Olsen V., 2009. Rock Quarrying Prediction models and blasting safety. Norwegian University of Science and Technology. (Doctoral theses)

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

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

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

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

Rocha M., 1981. Mecânica das rochas. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.

Sandvik-Tamrock, 1999. Rock excavation handbook. Sandvik Tamrock Corp., 364 pp.

Silva D., 2014. Cartografia de zonamento geotécnico no apoio ao planeamento e valorização da exploração do georrecurso: o caso do maciço rochoso da Curviã (Joane). Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (Tese de Mestrado).

Thuro, K., 1997. Drillability prediction: Geological influences in hard rock drill and blast tunnelling. Geologische Rundschau 86 (2), pp426-438.

Zhang I., 2005. Engineering properties of rocks, (4) 290 pp.