



Desmonte de rocha com explosivos: Importância da optimização

Carlos Alberto Aguiar Correia

Outubro de 2011



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Desmonte de rocha com explosivos: Importância da otimização

Carlos Alberto Aguiar Correia



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Desmonte de rocha com explosivos: Importância da optimização

Carlos Alberto Aguiar Correia

Nº 1970934

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 Prof. Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Dedico esta tese à minha família, em especial à Joana e ao Manuel Nicolau, pelo apoio e motivação que sempre me proporcionaram.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes, que sempre me apoiou e motivou, pelos seus ensinamentos e discussões tidas sobre o tema, empenho, pela sua disponibilidade e apoio sempre demonstrado.

Ao Eng.º António Rodrigues Vieira, pelos seus ensinamentos e intensa colaboração, quer no terreno, quer no gabinete, sem os quais não teria sido possível atingir os objectivos propostos para finalização deste trabalho, pelo espírito crítico e construtivo que sempre me ajudou a crescer, desde já, o meu muito obrigado.

Um especial agradecimento ao Eng.º Eduardo Gomes.

Ao Sr. Francisco Brito, pela informação recolhida de forma a finalizar este trabalho.

À empresa Mota-Engil Engenharia, S.A. pela colaboração, no que diz respeito à disposição de recursos e meios, sem os quais não teria sido possível obter os elementos que constam neste trabalho, e pelo bom desenvolvimento do projecto, envolvida com o protocolo de cooperação do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Aos meus colegas de curso, Eng.º Ernesto Rodrigues e Eng.º Domingos Nuno, agradeço o espírito de equipa e companheirismo demonstrado ao longo do curso.

Palavras-chave

Perfuração, optimização, rebentamento, fragmentação, produtividade.

Resumo

Este trabalho pretende avaliar e melhorar o modo de execução da aplicação da técnica de rebentamento com explosivos, aumentando a fragmentação e reduzindo o custo no conjunto das operações de perfuração, carga, detonação e fragmentação secundária e compreender a influência na variação do custo das operações face às melhorias adoptadas. A investigação foi executada na pedreira da Mota-Engil, Engenharia S.A. " Bouça do Menino" Vila Verde, Cervães, tendo os dados iniciais sido recolhidos em 2004 (ano de referência) e comparados com os seguintes 4 anos. A perfuração é geralmente um dos principais factores que influenciam o resultado de um rebentamento, já que do seu rigor pode depender a eficiência do explosivo. Hoje em dia, para além da adequação dos métodos de execução ao local a fragmentar, existem ferramentas que nos permitem visualizar com rigor as circunstâncias em que se desenvolvem os trabalhos, nomeadamente as utilizadas pelos equipamentos de perfuração para controlo de profundidade, inclinação e direcção, a utilização de feixes "laser" que nos permitem manter o nivelamento das plataformas, o "laser" profile que nos ajuda a definir o posicionamento e inclinação dos furos relativamente à frente livre antes de executar a perfuração, ou ainda, a utilização de equipamentos de registo de coordenadas que nos permitem verificar o posicionamento do furo após a sua execução e decidir sobre a sua utilização mais correcta em função da sua posição. A utilização destas ferramentas associadas a um "software" de desenho é ainda uma excelente ferramenta de formação para os operadores da perfuração e utilização dos explosivos, já que permite visualizar e compreender a relação da posição dos furos com o resultado do rebentamento.

Keywords

Drilling, optimization, blasting, fragmentation, productivity.

Abstract

This study aims to evaluate and improve the conduct of the blasting technique, increasing fragmentation and reducing cost in all operations, drilling, loading, blasting and secondary fragmentation and understand the influence of the variation in operations cost related with the adopted improvements. The investigation was performed in the quarry of Mota-Engil, Engenharia S.A. "Bouça do Menino" Vila Verde, Cervães, and the initial data was collected in 2004 (reference year) and compared with the following four years. The drilling is usually one of the main factors influencing the result of the blast, since from its accuracy may depend on the efficiency of the explosive. Today, in addition to the appropriateness of methods of fragmentation, there are tools that allow us to see the precise circumstances in which the activities take place, including those operated by the control equipment for drilling depth and slop direction, use of laser beams that allow us to maintain the level of platforms, the laser profiler that help us define the position and the inclination of the holes on the front free before performing the drill, or the use of the recording equipment that allow us to check right placement of the holes after its implementation and decide about its more appropriate use depending on their position. The use of these tools associate with a software design is still an excellent training tool for driller operators and blasters, as it allows to view and understand the relationship of the position of the holes with the result of the blast.

Índice

Agradecimentos.....	ix
Palavras Chave.....	xi
Resumo.....	xi
Keywords.....	xiii
Abstract.....	xiii
Índice.....	1
Índice	1
Índice de Anexos (Ver em CD-ROM)	4
Índice de Figuras	5
Índice de Quadros	8
Índice de Gráficos.....	9
Lista de abreviaturas	10
Capítulo 1 – Introdução.....	11
1. Introdução	13
1.1 Enquadramento geral.....	13
1.2 Enquadramento específico	13
Capítulo 2 – Objectivo	17
2. Objectivo	19
Capítulo 3 – Enquadramento da actividade da exploração da pedreira.....	21
3. Enquadramento da actividade de exploração da pedreira.....	23
3.1 Explosivos e acessórios de detonação utilizados no desmorte de rocha em bancada	23
3.1.1 Factores que influenciam a selecção dos explosivos.	24
3.1.2 Sistema de iniciação	25
3.1.3 Temporização dos rebentamentos	26
3.2 Cuidados a ter no carregamento com explosivo.....	26
3.3 Desmorte de rocha com explosivos	27
3.3.1 Diagrama de fogo	27
3.3.2 Variáveis do maciço rochoso que interferem com a perfuração e fragmentação da rocha	27
3.3.3 Vantagens na inclinação dos furos no desmorte de rocha com explosivos.....	29
3.4 Fragmentação.....	30
3.5 Factores que influenciam a fragmentação.....	31

Capítulo 4 – Técnicas utilizadas.....	33
4. Técnicas utilizadas.....	35
4.1 Equipamentos utilizados na optimização da perfuração de rocha para desmonte com explosivos.....	35
4.2. Utilização do sistema Lim associado ao “Laser” Plano.....	41
4.3 Utilização do sistema “Laser” Plano em contínuo ou em manual.....	44
4.3.1 Vantagens na utilização do sistema de “laser” plano.....	46
4.3.2 Importância do controlo da direcção, inclinação e profundidade dos furos na perfuração.....	47
4.3.3 Mais-valias no uso dos sistemas de inclinómetro com medição dos furos.....	49
4.4. Influência da posição final dos furos relativamente ao posicionamento inicial.....	50
4.5 Sistema “Laser” Profile.....	53
4.5.1 Metodologia de aplicação.....	53
4.5.2 Vantagens na utilização do equipamento.....	54
4.5.3 Exemplo de aplicação.....	55
4.5.6 Utilização do equipamento de monitorização da inclinação e direcção dos furos “boretrak”.....	67
4.5.7 Relatórios do “software” Rockmate.....	68
4.5.8 Vantagens na utilização do equipamento numeração errada.....	69
4.5.9 Relatórios de perfuração.....	70
4.5.9.1 Relatório de ajustamento de cada um dos furos.....	70
4.5.10 Monitorização contínua para evitar os erros na qualidade versus produtividade.....	71
Capítulo 5 – Caso de estudo.....	77
5 Caso de estudo.....	79
5.1 Localização.....	80
5.2 Descrição do processo de exploração da pedra.....	80
5.3 Avaliação inicial da operação de perfuração (1ª Fase - Diagnóstico).....	81
5.3.1 Estado geral das frentes de escavação.....	81
5.3.2 Irregularidade das plataformas.....	82
5.3.3 Acções que envolvem a perfuração.....	85
5.4 Introdução de melhorias na operação da perfuração.....	90
5.4.1 Optimização do processo de perfuração.....	90
5.4.2 Tipos de malhas.....	91
5.4.3 Metodologia de perfuração.....	92
5.4.4 Aumento do volume dos rebentamentos e número de fiadas.....	100

5.4.5	Carga dos rebentamentos.....	100
5.5	Avaliação inicial da operação de carregamento com explosivos.....	101
5.5.1	Acções que envolvem a carga de explosivos	101
5.5.2	Temporização dos furos	103
5.5.3	Disparo dos rebentamentos.....	103
5.6	Implementação de melhorias na operação de carregamento de explosivos	103
5.6.1	Optimização do carregamento com explosivos	103
5.6.2	Diagramas de fogo implementados	105
5.6.3	Acções necessárias para um correcto carregamento com explosivos.....	106
5.7	Avaliação dos resultados do rebentamento	111
5.8	Acções que envolvem a carga do material.....	111
5.9	Utilização da pá carregadora versus escavadora no carregamento do material.....	113
5.10	Visualização 3 D da pedreira no início e final do estudo.....	116
5.11	Fragmentação secundária	118
5.12	Acções que envolvem a fragmentação secundária.....	118
5.13	Optimização da fragmentação secundária.....	119
Capítulo 6 – Análise dos dados e resultados.....		121
6.	Análise dos dados e resultados	123
6.1	Perfuração	123
6.1.1	Rendimento de perfuração	123
6.1.2	Perfuração específica	124
6.1.3	Relação entre o comprimento do furo e carga de explosivo	125
6.1.4	Custos de perfuração	126
6.2	Custo do explosivo e acessórios de detonação.....	127
6.2.1	Variação da carga específica	127
6.2.2	Variação do consumo do explosivo e relação com o custo de produção	130
6.2.3	Variação do consumo de ligadores e relação com o custo de produção.....	131
6.2.4	Variação do consumo dos detonadores não eléctricos e relação com o custo de produção	132
6.3	Fragmentação secundária	133
6.3.1	Custo da fragmentação secundária.....	133
6.4	Variação do custo de produção.....	135
6.5	Mais-valias resultantes da melhoria dos procedimentos de perfuração.....	136
6.6	Utilização contínua do “laser” plano (decrécimo de operações de regularização das plataformas).....	136

Capítulo 7 – Conclusões	139
7. Conclusões.....	141
8. Bibliografia.....	145
8. Bibliografia.....	147
Anexos	151
Índice de Anexos (CD-ROM)	153

Índice de Anexos (Ver em CD-ROM)

Anexo 1 - Furukawa HCR 1000 - Equipamento de perfuração

Anexo 2 – “Laser” plano Trimble LL500

Anexo 3 - Registo de Dados (LIM) - Relatório

Anexo 4 – “Laser” profile 3D - Equipamento

Anexo 5 - Programa Rockmate – “Boretrak” (Exemplo de aplicação)

Anexo 6 – “Boretrak” (Manuais de utilização)

Anexo 7 – Dados Cartografia 3D_2004 - 2010

Índice de Figuras

Figura 1 – Detonador pirotécnico com mecha lenta (Gomes et al., 2008).....	25
Figura 2 – Detonador não eléctrico (Gomes et al., 2008).....	25
Figura 3 – Efeito da inclinação dos furos no perfil da bancada e espalhamento do material desmontado (Adaptado de Manual SEC).....	30
Figura 4 - Principais erros associados à perfuração (Sandvik, 2006). Os algarismos assinalados (1 a 5) estão descritos no texto.....	36
Figura 5 – Erros de direcção inclinação e comprimento dos furos.....	36
Figura 6 – Flexão das varas de perfuração.....	37
Figura 7 – Efeitos da má inclinação na perfuração em bancada (Adaptado de: Transtronic AB, Fevereiro 2010).....	38
Figura 8 – Desvios de flexão versus excesso de escavação na frente livre, com aparecimento de explosivos na zona de intercepção com a frente livre.....	38
Figura 9 – Remoção dos explosivos de um furo com acentuado desvio por flexão das varas T38.	38
Figura 10 – Projecções resultantes na base da soleira em resultado dos desvios na direcção da frente livre.....	39
Figura 11 – Escape de gases das diaclases sub-verticais existentes no maciço.....	39
Figura 12 - Máquina de afiação de bits.....	40
Figura 13 – Sistema do “laser” plano a trabalhar em conjunto com o equipamento de perfuração em modo automático.....	41
Figura 14 – Célula de recepção do feixe “laser” no equipamento de perfuração.....	42
Figura 15 – Interface interno para visualização da informação sistema “laser” plano.....	43
Figura 16 – Sistema de alinhamento da direcção dos furos a perfurar face a um referencial.....	43
Figura 17 – Sistema “laser” plano.....	44
Figura 18 – Receptor “laser” plano (http://www.trimble.com/II500.shtml).....	45
Figura 19 – Controlo do nível das bancadas.....	46
Figura 20 – Perfuração executada com os furos alinhados (http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application); Ilustração prática em pedreira sendo visível o alinhamento e direcção dos furos.....	47
Figura 21 – Resultado final com furos alinhados (http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application); Frente bem definida, estável e com a soleira nivelada.....	48
Figura 22 – Falta de rigor relativamente direcção e inclinação dos furos (http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application); Observam-se irregularidades na soleira que irão dificultar as operações de carga e transporte... ..	48
Figura 23 – Resultado final da perfuração sem rigor (http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application); As irregularidades da soleira dificultam o movimento dos equipamentos e podem originar confinamento dos rebentamentos seguintes.....	49
Figura 24 – Raio de influência de cada furo ao nível da soleira condicionado pelo desvio dos furos (Adaptado de: Sandvik, 2006).....	50
Figura 25 – Raio de influência de cada furo ao nível da soleira na situação ideal sem desvios (Adaptado de: Sandvik, 2006).....	51
Figura 26 – Posicionamento do “laser” profile relativamente à frente livre (Adaptado de: Quarryman, Fevereiro 2010).....	53

Figura 27 – Sistema “laser” profile em funcionamento.....	55
Figura 28 – Ajustamento das frentes de trabalho em duas direcções principais.	56
Figura 29 – Planta de uma bancada com 18 furos antes do ajuste dos perfis.....	57
Figura 30 – Perfil nº4 sem ajuste de inclinação.	58
Figura 31 – Perfil nº 16 sem ajuste.....	60
Figura 32 – Perfil nº 4 ajustado.	62
Figura 33 – Perfil nº 16 ajustado.	64
Figura 34 – Planta dos perfis ajustados.....	66
Figura 35 – Utilização do sistema de monitorização “boretrak”.....	67
Figura 36 – Sonda “boretrak” com o interface externo de visualização.	68
Figura 37 – Instabilidade do equipamento de perfuração nas bancadas irregulares.....	73
Figura 38 – Resultado em planta da direcção e inclinação dos furos analisada com “boretrak”. ..	74
Figura 39 – Perfil nº 4 com a distância à frente real.	75
Figura 40 – Perfil nº 16 com a distância à frente real.	76
Figura 41 – Localização das zonas a desmontar em flanco de encosta (http://earth.google.intl/pt/).	80
Figura 42 - Frentes livres existentes na zona A.	81
Figura 43 - Frentes livres existentes na zona B.	81
Figura 44 – Vista geral da zona B em flanco de encosta na 1ª Fase - Diagnóstico.....	82
Figura 45 – Vista geral da zona B em flanco de encosta na 1ª Fase - Diagnóstico.....	82
Figura 46 – Irregularidades existentes na zona B (1ª Fase – Diagnóstico).....	82
Figura 47 – Repés existentes.....	82
Figura 48 – Afectação da zona superficial.....	83
Figura 49 – Limpeza antes da perfuração seguinte com consequente afectação da zona superficial.	84
Figura 50 – Pistas de circulação dos dumpers.....	85
Figura 51 - Furos protegidos com cartão para evitar a queda de material.....	87
Figura 52 - Perfuração desalinhada e com plataforma irregular.	87
Figura 53 – Malha em quincôncio usada na 1ª Fase.	91
Figura 54 – Malha rectangular usada na 2ª Fase.	91
Figura 55 - Fita métrica com marcas realçadas função da malha utilizada.	93
Figura 56 – Sentido de maior produtividade.....	94
Figura 57 - Posicionamento perpendicular à frente livre.....	95
Figura 58 – Níveis de bolha utilizados.	95
Figura 59 - Posicionamento aleatório auxiliado por inclinómetros.	96
Figura 60 – Marcação da zona a perfurar.	96
Figura 61 – Equipamento de perfuração com a inclinação e direcção desejada.	97
Figura 62 – Colocação dos tubos de protecção.....	98
Figura 63 – Evolução dos trabalhos em flanco de encosta na zona B (vista superior).	99
Figura 64 – Evolução dos trabalhos em flanco de encosta na zona B (vista inferior).	99
Figura 65 – Definição das frentes de trabalho em flanco de encosta na zona B (vista frente).	99
Figura 66 – Definição zona B (lado esquerdo) versus antiga exploração (lado direito).....	99
Figura 67 - Peso com uma corda calibrada.	106
Figura 68 – Varas para desencravamento dos cartuchos de explosivo nos furos.	107
Figura 69 – Vara para remoção de cartuchos alojados nos furos.	107

Figura 70 – Placa de sinalização.....	107
Figura 71 – Distribuição do explosivo e acessórios de detonação.....	108
Figura 72 – Escorvador.....	108
Figura 73 – Colocação do explosivo dentro da cada um dos furos a detonar.	109
Figura 74 – Uso das varas de apoio ao carregamento para garantir o encosto dos cartuchos dentro do furo.....	109
Figura 75 – Atacador utilizado.	110
Figura 76 – Decréscimo de produtividade face ao desmonte efectuado na 1ª fase.	112
Figura 77 – Boa movimentação dos rebentamentos e definição das meias-canas na zona A. A definição das meias canas resulta essencialmente do alinhamento dos furos e da temporização utilizada.	112
Figura 78 – Boa fragmentação zona A permite que a pá carregadora entre no rebentamento com facilidade.	113
Figura 79 – Boa fragmentação zona A depois de inseridas as medidas de optimização. É visível a perfeita deslocação do material relativamente à nova frente livre.	113
Figura 80 – Cortes bem definidos e sem irregularidades da plataforma.....	114
Figura 81 – Maior produtividade dos equipamentos.....	114
Figura 82 – Boa fragmentação e movimentação do escombros.	115
Figura 83 – Adequada temporização das diferentes fiadas de furos.....	115
Figura 84 – Cortes bem definidos depois da implementação dos novos procedimentos.	115
Figura 85 – Visualização das bancadas em Dezembro de 2009 na zona B.	116
Figura 86 – Modelação 3 D inicial.	116
Figura 87 – Modelação 3 D final.....	117
Figura 88 – Cartografia final.....	117
Figura 89 – Vista aérea final.....	118
Figura 90 – Bloco sobre o qual se iniciou a fragmentação secundária.	119
Figura 91 – Separação dos blocos para fragmentar com vista ao aumento da produtividade.	120

Índice de Quadros

Quadro 1 – Número total de furos executados no rebentamento.....	51
Quadro 2 – Monitorização do furo 78 ao furo 84.....	52
Quadro 3 – Descrição dos parâmetros de perfuração do furo nº 84.....	52
Quadro 4 – Perfil nº4 inicial sem ajuste no programa Rockmate.....	59
Quadro 5 – Perfil nº16 inicial sem ajuste no programa Rockmate.....	61
Quadro 6 - Perfil nº4 final ajustado no programa Rockmate (Anexo 5).	63
Quadro 7 - Perfil nº16 final ajustado no programa Rockmate.....	65
Quadro 8 – Relação de volumes sem e com ajustamento dos perfis.....	66
Quadro 9 – Relatório para correcção da perfuração.....	70
Quadro 10 – Inclinação e direcção do perfil nº4 em profundidade.....	75
Quadro 11 – Inclinação e direcção do perfil nº16 em profundidade.....	76
Quadro 12 – Controlo dos procedimentos da perfuração (1ª Fase – Diagnóstico).	88
Quadro 13 – Controlo dos procedimentos da perfuração (2ª Fase – Implementação).....	89
Quadro 14 – Comprimento do furo em função da altura da bancada (Gomes et al., 2008).	94
Quadro 15 – Controlo dos procedimentos de carregamento com explosivos (1ª Fase – Diagnóstico).....	101
Quadro 16 – Controlo dos procedimentos de carregamento com explosivos (2ª Fase – Implementação).	102
Quadro 17 – Diagrama de temporização, abertura em v.	105
Quadro 18 – Diagrama de temporização, abertura em diagonal.	105
Quadro 19 – Variação do rendimento de perfuração no período de análise.	123
Quadro 20 – Variação da perfuração específica ao longo do período em análise.	124
Quadro 21 – Variação do comprimento da carga de coluna em relação ao comprimento do furo.	126
Quadro 22 – Variação do custo de perfuração ao longo do período em análise.	127
Quadro 23 – Variação da carga específica ao longo do período em análise.	128
Quadro 24 – Custo do explosivo.	130
Quadro 25 – Variação do custo dos ligadores.....	131
Quadro 26 – Variação do consumo de detonadores não eléctricos e influência no custo.....	132
Quadro 27 – Custo da fragmentação secundária.....	133
Quadro 28 – Variação do custo de produção.....	135
Quadro 29 – Proveitos obtidos.	136
Quadro 30 – Custo da regularização das plataformas	136

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Variação do rendimento de perfuração no período em análise.	124
Gráfico 2 – Evolução da perfuração específica ao longo do período em análise.	125
Gráfico 3 – Variação do comprimento da carga de coluna em relação ao comprimento do furo.	126
Gráfico 4 - Variação da carga específica ao longo do período em análise.....	129
Gráfico 5 – Custos globais.	135

Lista de abreviaturas

AGE = Agregado britado de granulometria extensa

E = Espaçamento entre furos (m)

lb = Concentração de carga (kg/m)

PVC = Tubo de policloreto de vinil

T 38 = Vara de perfuração com espessura de 38 mm

T 45 = Vara de perfuração com espessura de 45 mm

U = Subfuração

V = Distância à frente

V máx. = Distância à frente máxima

Capítulo 1 – Introdução

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

Este documento constitui o relatório no âmbito da unidade curricular de “Dissertação/Projecto/Estágio” (formato “Projecto”) do Curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (EGG|ISEP), leccionada no 2º ano deste curso pelo Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP para a conclusão do segundo ciclo de estudos no corrente ano lectivo 2010/2011.

1.2 Enquadramento específico

Neste contexto, o estudo realizado teve como objectivo enquadrar o conhecimento e experiência obtida na Pedreira “Bouça do menino” da empresa Mota-Engil, Engenharia, S.A. (<http://www.mota-engil.pt>) ao longo de cinco anos de estudo, com recolha de dados nas seguintes operações: perfuração, carga dos explosivos, rebentamento e fragmentação secundária.

No desmonte de rocha em bancada, o bom andamento das operações da perfuração e carregamento de explosivos influencia directamente todas as operações seguintes, nomeadamente a fragmentação secundária, a carga do material e transporte à britagem, e o próprio custo da britagem primária, podendo o somatório dos custos das operações individuais ser mais elevado do que o desejado por influência de uma fragmentação grosseira.

É a fragmentação que condiciona as operações posteriores e contribui decisivamente para o custo de produção, no caso concreto de exploração de uma pedreira, onde o que se pretende é maximizar a fragmentação da rocha, com vista à produção de agregados (agregados britados, AGE, etc.).

A perfuração é a operação preponderante para o sucesso da fragmentação da rocha, pois os erros cometidos podem influenciar directamente as operações seguintes no que diz respeito aos rendimentos e custos, devendo ser dada particular importância, rigor e formação dos operadores, com uma monitorização contínua ao longo do tempo.

Considera-se eficiência do equipamento, a relação entre as horas trabalhadas pelo martelo de perfuração e as horas do equipamento motor. Quanto maior for esta relação em percentagem maior será a eficiência da máquina. De uma forma geral, se existirem condições de

trabalho óptimas, este valor varia entre os 55 a 60%, e variará entre 40 a 50% quando as condições de operação não são as mais convenientes.

O rendimento de perfuração pode ser analisado de duas formas: rendimento instantâneo e rendimento industrial. O rendimento instantâneo é a penetração em metros por minuto ao longo do maciço rochoso em profundidade o rendimento industrial é o número médio de metros de furo obtido num ciclo de trabalho completo considerando as deslocações de bancada para bancada, perfuração de irregularidades, limpeza manual à volta do furo, abastecimento de combustível, etc.

O desmonte efectuado não é mais do que a operação de destaque do maciço rochoso, de uma parte mais ou menos representativa da rocha que o constitui, de forma a extrair uma matéria-prima mineral destinada a alimentar o processo de valorização industrial e satisfazer uma necessidade da sociedade em que vivemos.

A operação de carga é tanto mais difícil quanto pior for a movimentação da rocha e maiores forem os blocos produzidos pelo rebentamento. Os diversos componentes do equipamento de carga, balde, motor e pneus sofrem maior desgaste sempre que são forçados a operar em condições adversas, obrigando necessariamente a um maior consumo de combustível.

Nessas condições o consumo de energia será necessariamente maior para a produção da mesma quantidade de trabalho com repercussões no custo da operação e no ambiente já que serão maiores as emissões de poluentes.

Com curvas de fragmentação grosseiras, mesmo depois de ultrapassados os problemas da carga, existe um maior desgaste das caixas de carga dos equipamentos de transporte e das tolvas de descarga no alimentador do britador primário.

Os encravamentos com paragem da produção no britador primário também estão relacionados com a dimensão máxima do bloco e ainda com a curva granulométrica da alimentação.

Quanto maior for o bloco, maior será a energia necessária para o fragmentar e maior o desgaste dos materiais constituintes das maxilas pelo maior esforço necessário à compressão para redução do mesmo.

A fragmentação da rocha com explosivos depende de diversos factores: características geológicas do maciço rochoso, desenho do diagrama de fogo, qualidade da perfuração, qualidade do explosivo, técnica de carga e temporização das cargas. Com tão elevado número de variáveis, a operação de desmonte de rocha com explosivos é uma tarefa que exige uma permanente observação dos resultados e correcções para aperfeiçoamento e optimização.

Uma grande fragmentação não é sinónima de menor custo se foi obtida à custa da utilização de uma perfuração específica elevada e de uma grande quantidade de explosivo. Um

excesso de fragmentação também aumentará a percentagem de partículas finas, produzindo maior quantidade de resíduos de britagem e diminuindo o valor da matéria-prima.

Este trabalho descreve as metodologias adoptadas nas operações de perfuração, carga do explosivo e detonação e fragmentação secundária e o texto utilizado procura relatar com maior exactidão possível o observado durante a fase de estudo e nas conclusões obtidas pela análise dos dados recolhidos.

Capítulo 2 – Objetivo

2. Objectivo

O presente relatório tem como finalidade relatar a experiência obtida com o processo de optimização do desmonte em bancada conseguido em resultado da utilização de técnicas e instrumentos auxiliares à produção.

A elevada quantidade de variáveis envolvidas no desmonte de rocha com explosivos e a dificuldade de uma análise global, levou-nos a seleccionar apenas algumas das variáveis com as quais fosse possível retirar conclusões e desta forma extrapolar para outras situações as boas práticas, resultando em mais-valias técnico-económicas.

O objectivo deste trabalho é optimizar o desmonte em bancada, neste caso da Pedreira “Bouça do Menino”, tendo em consideração todos os factores que existem nas diferentes fases da produção.

A investigação iniciou-se com uma recolha de dados operativos e custos respeitantes a um ano de actividade. O objectivo foi perceber no terreno as metodologias utilizadas e posteriormente com base nessa informação, implementar novos procedimentos, a fim de melhorar todo o processo produtivo a jusante das operações de perfuração e rebentamento.

Foram ainda seleccionados e adquiridos diversos equipamentos e “software” que permitiram monitorizar as operações de perfuração e o resultado da fragmentação.

Com o intuito de optimizar as diversas fases do sistema produtivo, foram então implementados novos procedimentos, não só ao nível da perfuração de rocha, mas também ao nível do carregamento com explosivos e recolhidos os dados para análise e verificação da influência dos novos procedimentos no custo de produção.

Em resumo, podemos enquadrar os objectivos deste trabalho nos seguintes temas:

- Análise aos procedimentos existentes;
- Estudo dos equipamentos e técnicas a utilizar para monitorização e avaliação dos resultados;
- Desenvolvimento e aplicação de novos procedimentos tendo em consideração a necessidade de utilizar os novos equipamentos de forma coerente e prática;
- Implementação de um programa de formação adequado às características e conhecimentos dos operadores de forma a facilitar a compreensão e desempenhos futuros;
- Avaliação dos resultados e demonstração da utilidade na utilização de equipamentos e “software” para auxílio à produção;
- Avaliação do custo de produção em função da alteração dos procedimentos.

Capítulo 3 – Enquadramento da actividade da exploração da pedraira

3. Enquadramento da actividade de exploração da pedreira

3.1 Explosivos e acessórios de detonação utilizados no desmonte de rocha em bancada

O explosivo é um composto químico, constituído fundamentalmente por substâncias combustíveis (ricas em carbono) e substâncias comburentes (ricas em oxigénio) que quando activadas por uma fonte de energia térmica ou mecânica se decompõem bruscamente, libertando um elevado volume de gases a alta temperatura (Gomes et al., 2008).

Os principais parâmetros de selecção de explosivos são os seguintes:

- Força de um Explosivo – É caracterizada pelo trabalho que um determinado explosivo é capaz de efectuar em condições normais de utilização. É expressa por unidade de peso ou unidade de volume, relativamente ao trabalho realizado pela unidade de peso ou volume de um explosivo tomando como referência a dinamite a 33% de nitroglicerina (Gomes et al., 2008).
- A força por unidade de peso de um explosivo pode ser calculada conhecendo o volume de gases libertados e o calor da reacção (Olofsson, 1991).
- A eficiência deste é determinada não só pelo conhecimento da energia total libertada, mas também entre a relação desta e a que efectivamente é utilizada na fragmentação e movimentação da rocha.
- Velocidade de detonação – é a velocidade a que se propaga a decomposição ao longo do comprimento de uma carga explosiva (Cooper, 1997). Esta é tanto maior quanto maior for o confinamento da carga, dependendo de vários factores como:
- Diâmetro dos furos - quanto maior o diâmetro da carga, maior a velocidade de detonação. Cada explosivo tem o seu diâmetro crítico de utilização, abaixo do qual o fenómeno de detonação não se propaga (Bhandari, 1997), também depende do tipo de explosivo e da temperatura do meio ambiente, logo do maciço rochoso;
- Densidade do explosivo – É o peso específico do explosivo (Akhavan, 2004), pode variar entre 0,8 e 1,65 g/cm³.
- Impedância do Explosivo – É o produto da velocidade de detonação pela densidade de carga do explosivo. É habitual aquando da escolha do explosivo para o desmonte de um maciço rochoso, utilizar o seguinte critério, a impedância do explosivo a utilizar deverá ser mais próxima da impedância acústica do maciço

rochoso (produto da velocidade de propagação sísmica no maciço pela densidade da rocha que o constitui (Gomes et al., 2008).

- Sensibilidade – Traduz a aptidão de um explosivo à sua activação pela detonação de outra carga próxima, medida pelo espaço máximo entre as duas cargas iguais, não confinadas, para o qual é possível a detonação da segunda carga provocada pelo rebentamento da primeira (coeficiente de auto-detonação); para assegurar uma conveniente velocidade de detonação é necessário assegurar uma adequada energia de activação (Gomes et al., 2008).
- Segurança no manuseamento – É uma característica muito importante dos explosivos industriais permitindo o transporte e carregamento dos furos em condições de segurança.
- Toxicidade dos fumos – Os gases produzidos na reacção são mais ou menos tóxicos (Bhandari, 1997), causando um considerável mal-estar às pessoas que os inalam.
- Bom comportamento durante o armazenamento – Quando sujeitos a longos períodos de armazenamento, às vezes em condições deficientes, alguns explosivos vão perdendo as suas características, tais como a sensibilidade à iniciação e a aptidão à propagação da reacção, reduzindo a sua eficácia (Gomes et al., 2008).

3.1.1 Factores que influenciam a selecção dos explosivos.

São muitos os factores que influenciam a escolha dos explosivos, mas também devido à diversidade existente no mercado existe a necessidade de escolher o explosivo mais adequado ao trabalho a realizar (Heinio, 1999).

Logo, a selecção do explosivo deve ser apoiada nos seguintes parâmetros:

- Diâmetro dos furos, porque os explosivos possuem um diâmetro crítico, não permitindo a sua utilização abaixo desse diâmetro, já que são grandes as possibilidades de ser interrompida a detonação;
- Impedância, idêntica à impedância do maciço;
- Resistência à água, principalmente quando se prevê a sua utilização abaixo do nível freático ou em períodos de pluviosidade;

- Sensibilidade, a qual deve permitir o manuseamento em segurança;
- Bom balanço de oxigénio e baixa toxicidade, principalmente quando são para utilizar em subterrâneo.

3.1.2 Sistema de iniciação

No mercado existem sistemas de iniciação eléctrica, não eléctrica e electrónica. No caso em estudo, o sistema de iniciação do explosivo dos furos utiliza detonadores não eléctricos, colocados no fundo do furo (Persson et al., 1994). Estes acessórios podem ser activados por um tubo de choque onde se propaga uma onda de activação, com a utilização de detonadores eléctricos ou com a utilização de um detonador pirotécnico iniciado com mecha lenta, cuja montagem se pode ver na Figura 1.

O comprimento de mecha utilizado deve ser tal que nos garanta cerca de 4 minutos de intervalo para a detonação.

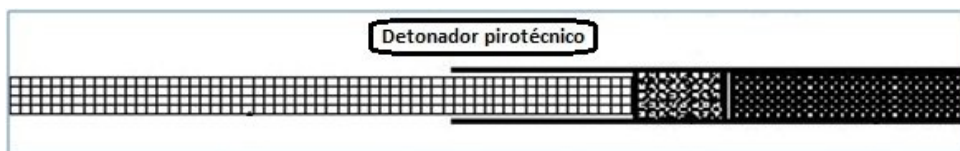


Figura 1 – Detonador pirotécnico com mecha lenta (Gomes et al., 2008).

O sistema não eléctrico (Figura 2), tem a vantagem de não ser sensível a qualquer tipo de corrente eléctrica, sobretudo a correntes induzidas ou à electricidade estática, podendo ainda ser usado em zonas húmidas ou submersas (Persson et al., 1994).

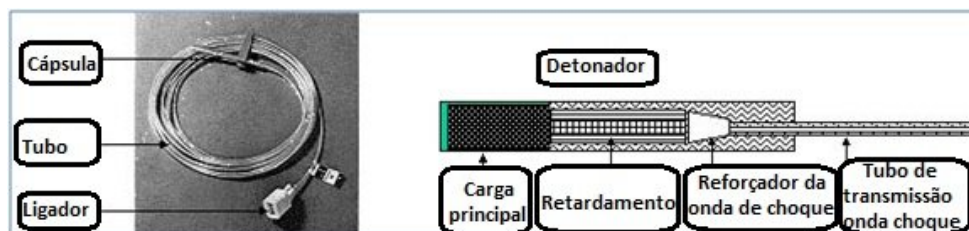


Figura 2 – Detonador não eléctrico (Gomes et al., 2008).

O detonador é basicamente constituído por uma pequena carga explosiva, um temporizador pirotécnico e um sistema de iniciação da combustão por efeito da onda de choque, transmitida por um tubo oco normalmente com 3 mm de diâmetro, contendo este

no seu interior uma substância reactiva que permite a transmissão de energia a uma velocidade de cerca de 2000 ms^{-1} .

3.1.3 Temporização dos rebentamentos

O rebentamento simultâneo dos furos, para além dos efeitos de natureza ambiental como as vibrações, o ruído e a onda de choque aérea, produz fragmentação grosseira, normalmente não adequada à utilização nas operações de britagem. Conhecido o mecanismo de fragmentação em resultado da utilização de explosivos, é pois fundamental que exista um maior número possível de superfícies de reflexão das ondas de choque, pelo que os rebentamentos são temporizados de forma a rebentarem em V, o que ainda permite modificar favoravelmente a relação espaçamento / distância à frente.

3.2 Cuidados a ter no carregamento com explosivo

Os furos antes de serem carregados deverão ser cuidadosamente limpos, eliminando os detritos de perfuração e a água (Daniel, 2000). Assim:

- O diâmetro do furo deverá em todo o seu comprimento, ser ligeiramente superior ao dos cartuchos em uso;
- Os cartuchos deverão ser introduzidos no furo e, se necessário, compactados com um atacador próprio, evitando-se os choques e os movimentos bruscos;
- O atacador deverá ser de madeira ou de outros materiais adequados que em contacto com as paredes do furo não produzam faíscas ou descargas eléctricas e ter um diâmetro ligeiramente superior ao do cartucho;
- O cartucho escorvado será colocado sempre numa das extremidades da carga e com o fundo do detonador voltado para ela;
- Em terrenos muito húmidos ou sempre que exista água nos furos, os cartuchos a utilizar devem ser feitos em material impermeável e o rebentamento deve ser feito o mais rapidamente possível. Deve usar-se preferencialmente um explosivo resistente à água e com densidade superior a esta;
- Nos trabalhos a céu aberto os tiros (quando necessário) deverão ser cobertos com material apropriado, de modo a evitar qualquer projecção;
- Garantir o contacto na colocação dos cartuchos, no caso de dúvida colocar um detonador na parte superior da coluna a fim de garantir a detonação do resto da

coluna;

- Garantir que todos os furos se encontram com a altura pretendida;
- No caso de furos encravados, utilizar o equipamento para desencravamento, apenas desde que não se tenha carregado nenhum dos furos.

3.3 Desmorte de rocha com explosivos

3.3.1 Diagrama de fogo

A optimização de um diagrama de fogo, tal como já foi referido, é uma operação bastante complexa devido à dificuldade que existe em analisar e quantificar a influência de um grande número de variáveis no resultado do rebentamento.

Em cada situação é necessário estabelecer a quantidade de explosivo a utilizar e a sua distribuição a fim de se conseguir o grau de fragmentação pretendido um custo mínimo (Jimeno & Lopez, 1994; Konya & Walter, 1990). Qualquer procedimento para conseguir tal objectivo envolverá uma caracterização geológica adequada antes da perfuração e do rebentamento de forma a tirarmos partido da fracturação natural do maciço.

3.3.2 Variáveis do maciço rochoso que interferem com a perfuração e fragmentação da rocha

Podemos considerar dois tipos de variáveis: As incontroláveis e as controláveis. Em termos de variáveis incontroláveis, directamente ligadas às características geológicas da zona em causa, podem-se salientar as seguintes (Jimeno & Lopez, 1994; Vallejo e t al., 2006):

- Fracturação, fissuras, dobras e falhas existentes no maciço rochoso;
- Grau de alteração e presença de água;
- Tipo de estrutura, se em banco, laminar, colunar;
- Dureza;
- Densidade;
- Resistência à compressão e tracção;
- Textura;
- Elasticidade;
- Abrasividade;
- Plasticidade.

No caso de variáveis controláveis, podem-se considerar-se:

No caso da perfuração:

- Diâmetro do furo;
- Comprimento do furo;
- Subfuração;
- Altura de bancada;
- Inclinação do furo;
- Relação (E/V);
- Volume do rebentamento a desmontar versus nº de fiadas;
- Tipo de perfuração;
- Equipamento de perfuração;
- Eficiência da perfuração (percussão, rotação, força de avanço, limpeza);
- Acessórios de perfuração;
- Manuseamento dos acessórios;
- Manutenção dos equipamentos;
- Características dos aços de perfuração (encabadouros, varas, bits);
- Tipo de bit;
- Composição dos botões do bit;
- Forma dos botões do bit;
- Número dos botões do bit;
- Forma da face do bit.

Em termos de carga explosiva:

- Tipo de explosivo;
- Energia do explosivo;
- Método de colocação do explosivo nos furos;
- Comprimento da carga;
- Composição da carga;
- Diagrama de distribuição dos detonadores;
- Direcção da movimentação da rocha;
- Tipo de material usado no tamponamento.

Quanto à detonação:

- Tipo de detonador usado (não eléctrico ou eléctrico);
- Temporização utilizada;
- Forma de ligação entre detonadores (em V ou diagonal);
- Limpeza da frente livre (irregularidades da bancada);
- Número de frentes livres.

3.3.3 Vantagens na inclinação dos furos no desmonte de rocha com explosivos

A inclinação dos furos tem uma série de vantagens, nomeadamente:

- Melhor fragmentação da rocha;
- Bancadas com a face mais estável devido à inclinação;
- Diminuição do consumo de explosivo;
- Maiores afastamentos e espaçamentos entre furos;
- Diminuição do problema das irregularidades da soleira;
- Diminuição da intensidade das vibrações provocadas pelo rebentamento;
- Diminuição da quebra à retaguarda.

A utilização de furos inclinados tem como vantagem reduzir o efeito de quebra à retaguarda, facilitando não só o emboquilhamento da furação do rebentamento seguinte, mas também reduzindo a possibilidade de interrupção do sistema de iniciação já que uma rocha muito fragmentada permite a deslocação lateral dos blocos durante a movimentação provocada no rebentamento (Daniel, 2000).

Por outro lado, uma subfuração conveniente facilita o corte segundo o plano da soleira, evitando assim o aparecimento de irregularidades na bancada permitindo que os produtos desmontados não fiquem espalhados por uma área grande de forma a ser mais fácil e económico o seu carregamento (Figura 3).

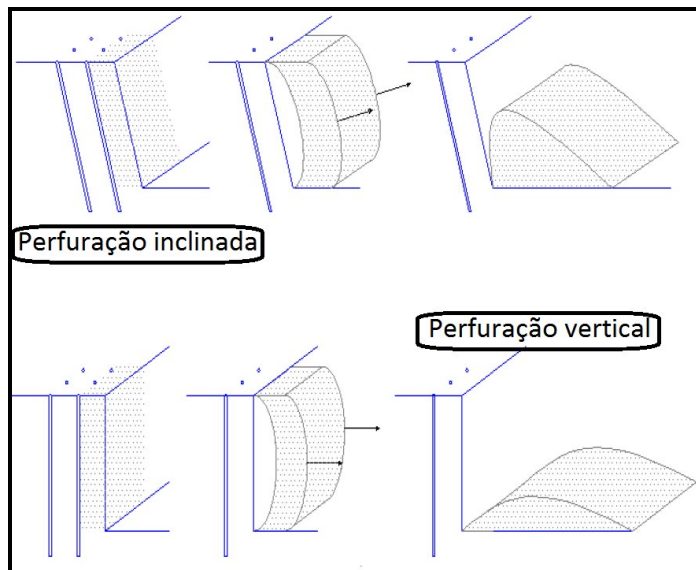


Figura 3 – Efeito da inclinação dos furos no perfil da bancada e espalhamento do material desmontado (Adaptado de Manual SEC).

3.4 Fragmentação

Por razões limitativas da capacidade do balde do equipamento de carga ou do calibre de admissão ao britador primário torna-se necessário obter um calibre adequado e com a menor percentagem possível de fragmentos que necessitem de fragmentação secundária.

Contudo, desvios ocasionais ao diagrama de fogo, não utilização de explosivo na parte superior da bancada e fracturas singulares do maciço rochoso, poderão ocasionar o aparecimento de alguns blocos que terão de ser reduzidos forçosamente.

Hoje em dia a grande maioria das operações de fragmentação secundária utiliza um martelo de impacto de propulsão hidráulica, de forma a conseguir os seguintes objectivos:

- Eliminação do perigo resultantes de projecções difíceis de controlar;
- Preocupação de natureza económica, procurando assim minimizar custos;
- Preocupação de carácter ambiental reduzindo o ruído provocado pelo rebentamento de um explosivo rápido e normalmente pouco confinado.

3.5 Factores que influenciam a fragmentação

A fragmentação no desmonte em bancada pode ser influenciada por:

- Estado da fracturação natural do maciço rochoso;
- Características geomecânicas do maciço rochoso;
- Carga específica;
- Perfuração específica;
- Tipo de diagrama de fogo;
- Sequência de iniciação;
- Inclinação da perfuração;
- Qualidade da perfuração (desvios);
- Dimensão do rebentamento.

Deve tentar-se na medida do possível aproveitar as características naturais do maciço (descontinuidades), para assim definir o sentido mais favorável ao desmonte para o tipo de material que se pretende obter.

Capítulo 4 – Técnicas utilizadas

4. Técnicas utilizadas

4.1 Equipamentos utilizados na otimização da perfuração de rocha para desmonte com explosivos.

A perfuração em rocha consiste na abertura de um furo para que posteriormente se possam alojar as cargas explosivas. A energia necessária é produzida por um martelo, que no caso em estudo se encontra à superfície e desliza na coluna do equipamento. Os impactos produzidos pelo martelo são transmitidos pelas varas ao bit, que por sua vez aplica a energia à rocha a perfurar (Dessureault, 2006).

Para que a operação de perfuração seja eficaz, para além do impacto, é necessário dotar o conjunto de uma força de avanço, rotação e limpeza adequadas ao tipo de rocha.

Uma operação deste tipo tem normalmente dificuldades de execução que induz em erros e desvios causadores do mau desempenho do explosivo e deficiente fragmentação e movimentação da rocha.

Os erros comuns associados à perfuração de rocha são os seguintes (Figura 4):

- 1- Erros de marcação no posicionamento dos furos e erros de emboquilhamento;
- 2- Erros de alinhamento da direcção e inclinação dos furos;
- 3- Erros por flexão das varas nos furos;
- 4- Erros de profundidade;
- 5- Furos encravados.

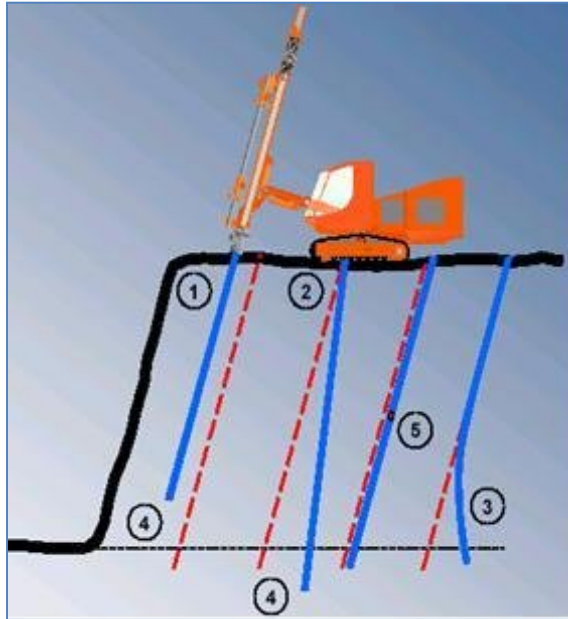


Figura 4 - Principais erros associados à perfuração (Sandvik, 2006). Os algarismos assinalados (1 a 5) estão descritos no texto.

Na Figura 5 podem observar-se erros de direcção e inclinação dos furos, onde se percebe que os parâmetros de espaçamento não são uniformes. Na parte superior da bancada verificam-se erros de subfuração em excesso da bancada anterior que afectaram a nova bancada em cerca de 1 a 1,5 m, dificultando a perfuração a executar.



Figura 5 – Erros de direcção inclinação e comprimento dos furos.

Na Figura 6, evidenciam-se erros por flexão nas varas, quando utilizadas varas T 38 em rocha diaclasada.



Figura 6 – Flexão das varas de perfuração.

Na Figura 7, pode-se observar que a diferença de 1 a 5 graus na coluna na zona a emboquilhar, influencia directamente a posição final dos furos traduzindo-se num desvio que aumenta proporcionalmente com a altura de bancada a perfurar.

Como exemplo, verifica-se que para um furo de 14 m de profundidade, considerando a má colocação da coluna com um erro inicial de 5°, o desvio rondará um erro de 1,23 m da posição desejada em profundidade. Se não existir sensibilidade para este efeito por parte dos operadores ou responsáveis das operações, estes desvios, quando no sentido da frente livre, darão origem a projecções de pedras que poderão resultar em acidentes graves, quer para os equipamentos quer para as infra-estruturas envolventes.

Face a várias projecções existentes, e com a medição da inclinação dos furos numa das bancadas superiores, optou-se por mudar as varas de T38 para T45, de forma a minimizar os desvios por flexão. Numa das bancadas, verificou-se que furos com uma altura de bancada de 11 m, iniciavam em 12 ° e terminavam em 35 °, comprometendo a segurança dos disparos.

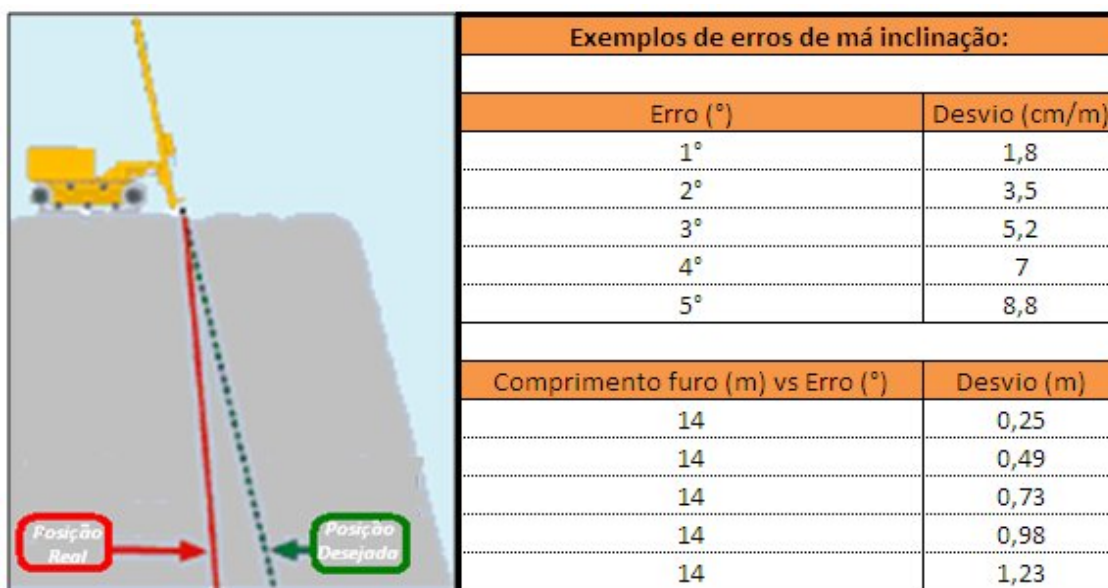


Figura 7 – Efeitos da má inclinação na perfuração em bancada (Adaptado de: Transtronic AB, Fevereiro 2010).

As Figuras 8 e 9 ilustram uma situação real com o aparecimento de cartuchos soltos na zona inferior da bancada, situação que felizmente foi detectada antes da detonação e permitiu desactivar a detonação e retirar os cartuchos. Caso o furo não tivesse interceptado a frente livre não teria sido possível prevenir uma situação de risco.



Figura 8 – Desvios de flexão versus excesso de escavação na frente livre, com aparecimento de explosivos na zona de interceptação com a frente livre.



Figura 9 – Remoção dos explosivos de um furo com acentuado desvio por flexão das varas T38.

É o caso ilustrado na Figura 10 onde se observam projecções ao nível da soleira no momento inicial da detonação. Pelo contrário, na Figura 11, não se observam projecções ao nível da soleira e apenas são visíveis algumas projecções já ao nível intermédio da bancada produzidas pelo escape do gás nas zonas de mais intensa fracturação.



Figura 10 – Projecções resultantes na base da soleira em resultado dos desvios na direcção da frente livre.



Figura 11 – Escape de gases das diaclases sub-verticais existentes no maciço.

O bit é a parte do material de perfuração que, estando em contacto com a rocha, vai promover a sua fragmentação durante a execução do furo.

Os bits utilizados são de botões em carbuneto de tungsténio. De forma cónica ou esférica, os botões são responsáveis pela desagregação da rocha pelo facto da energia aplicada no momento de impacto ser maior que a resistência à compressão e tracção da rocha. Como a energia do equipamento se mantém constante para um determinado comprimento de furo, tal significa que a pressão sobre a rocha irá variar em função da superfície de contacto possibilitada pelos botões do bit. Quanto menor for a superfície de contacto maior será a pressão transmitida na superfície de contacto.

A afiação dos bits não só é importante para a obtenção um maior rendimento de perfuração, como também promove directamente a vida útil dos aços de perfuração, varas, encabadouros, reduzindo os custos na manutenção do martelo.

A não afiação dos bits de perfuração tem as seguintes desvantagens:

- Elevado desgaste (menor tempo de vida útil);
- Redução do respectivo diâmetro de perfuração;
- Aumento dos desvios em profundidade;
- Possibilidade de encravamentos e perda dos acessórios;
- Redução de rendimento de perfuração;
- Diminuição da vida útil dos restantes acessórios de perfuração.

Em rochas duras e abrasivas, os bits são afiados em média depois de terem furado cerca de 90 m. São afiados na oficina com uma máquina e acessórios de diâmetro adequado ao

diâmetro dos botões (Figura 12). Para não sobreaquecer os botões do bit e o acessório de afiação, é injectada água durante a rotação.



Figura 12 - Máquina de afiação de bits.

Quando não existe cuidado em afiar os botões do bit atempadamente os botões desapareceram por completo, já que a libertação de um fragmento de tungsténio é suficiente para danificar os restantes botões durante a percussão.

Hoje em dia os equipamentos de perfuração podem estar equipados com instrumentos de controlo que permitem monitorizar a operação diminuindo os erros responsáveis pela deficiente fragmentação. Já foi referido que a qualidade da perfuração pode ser responsável pelo aumento da produtividade, nomeadamente nas operações que estão a jusante do desmonte de rocha com explosivos, ou seja, na diminuição da percentagem de fragmentação secundária, na diminuição do tempo de ciclo da carga e transporte ao britador primário, e na diminuição do número de horas de encravamentos no sector primário. Assim, é fundamental apostar no rigor da perfuração, não só na direcção e inclinação dos furos, mas também no controlo da profundidade. Actualmente, existem equipamentos "laser" que permitem controlar e definir com rigor os planos das bancadas, inicialmente teremos mais trabalho, no entanto, posteriormente todo o trabalho anterior será ganho rapidamente, depois de estar implementada, trará resultados muito satisfatórios a nível técnico-económico, na gestão dos meios/recursos.

Esta técnica de controlo das plataformas deve-se ao facto de, na maioria dos centros de produção, aquando o inicio dos trabalhos de decapagem numa zona virgem, de decapagem na maioria das situações nunca encontramos terrenos regulares, logo os operadores vão fazendo a

perfuração tentando regular com a sua sensibilidade, daí verificarmos que existem desníveis muito acentuados nas diversas bancadas.

Neste caso particular, o sistema trabalha em conjunto com um sensor que está acoplado no martelo de perfuração, o qual começou a ser utilizado em Setembro de 2005, quando foi adquirido pela empresa um novo equipamento de perfuração, um Furukawa HCR 1000 (Anexo 1).

4.2. Utilização do sistema Lim associado ao “Laser” Plano

A Lim é uma empresa que fornece sistemas de apoio para diversos equipamentos de movimentação de terras e perfuração. No caso do equipamento de perfuração Furukawa, a Lim forneceu os sistemas para controlo da direcção, inclinação dos furos e controlo de profundidade ou comprimento do furo com auxílio de um feixe “laser” externo. O “laser” plano (Anexo 2) é um sistema que pode trabalhar de uma forma automática com o equipamento de perfuração ou poderá ser executado também de forma manual. Quando em forma automática (Figura 13), um emissor “laser” rotativo emite um feixe horizontal que quando captado por uma sonda receptora faz parar o avanço da perfuração por se ter atingido a profundidade pretendida.



Figura 13 – Sistema do “laser” plano a trabalhar em conjunto com o equipamento de perfuração em modo automático.

Assim, independentemente das variações da altura de bancada à superfície, é possível realizar os furos com comprimentos diferentes, obrigando a que todos os furos sejam executados à mesma cota. Na Figura 14 pode-se ver a célula de recepção a vermelho associada ao movimento do martelo de perfuração. Esta célula trabalha com um ângulo de recepção de 180°.



Figura 14 – Célula de recepção do feixe “laser” no equipamento de perfuração.

O sistema completa-se com o monitor na cabine do operador, que permite visualizar toda a informação: perfuração instantânea, direcção, inclinação de cada furo e nº do furo em execução. A informação é igualmente armazenada num cartão de memória interno que permite ao final do dia copiar os dados de cada rebentamento para um disco de arquivo.

Com o “software” específico (programa Lim), a informação é recolhida e tratada com a possibilidade de gerar automaticamente vários relatórios (Anexo 3).

Na Figura 15, vê-se o interface que existe dentro do equipamento, onde é visível a informação da operação em curso.



Figura 15 – Interface interno para visualização da informação sistema “laser” plano.

Existe ainda um sistema de direcção e inclinação, que se encontra dentro do equipamento, que permite em função de um referencial, alinhar todos os furos de modo a ficarem sempre paralelos, independentemente da posição do equipamento de perfuração. Este método de correcção não influencia a profundidade dos furos.

Como se pode ver na Figura 16, o sensor encontra-se dentro do equipamento permitindo ao operador direccionar, para um referencial, que pode ser uma árvore ou um poste. Quanto mais longe estiver o referencial menor será o erros.



Figura 16 – Sistema de alinhamento da direcção dos furos a perfurar face a um referencial.

4.3 Utilização do sistema “Laser” Plano em contínuo ou em manual

Este sistema de “Laser” Plano (Figura 17), não é mais que um emissor que roda a 360 graus a determinada velocidade e envia um sinal não visível ao olho humano. Para além de ser possível receber o sinal no equipamento de perfuração, através da célula de recepção colocada acima do martelo, permite ainda com um pequeno receptor externo associado a uma régua receber o sinal e definir uma cota, trabalhando independente do equipamento de perfuração.

O “Laser” permite recepcionar o sinal a uma distância máxima de 250 m e está preparado para trabalhar em ambientes externos, com más condições atmosféricas.



Figura 17 – Sistema “laser” plano.

Sob o ponto de vista de prático, pode dizer-se que a utilização do “laser” plano tem as seguintes vantagens:

- Permite o controlo dos planos das bancadas (seguir uma determinada cota na soleira);
- No caso de bancadas muito irregulares define, em função de uma determinada cota, o valor de perfuração para cada um dos furos;
- Permite controlar as pendentes das bancadas para facilitar a drenagem e definir rampas de acesso aos vários patamares;
- Facilmente utilizável pelo operador da perfuração/encarregado do centro de produção.

Actualmente, existem no mercado “lasers” que, para além de definirem planos horizontais, definem também planos verticais. Ao contrário do “laser” LL500 o nivelamento do aparelho é feito automaticamente, tornando mais rápido e simples a sua utilização, sendo ainda possível definir rampas com as inclinações pretendidas.

A célula de recepção do “laser” é resistente à água, com relativa resistência a potenciais quedas (Figura 18).



Figura 18 – Receptor “laser” plano
(<http://www.trimble.com/II500.shtml>).

Em certas situações, não é possível utilizar o sistema de “laser” plano automático, pois a célula de recepção tem apenas um ângulo de recepção de 180 graus do lado esquerdo do equipamento, o que limita de certa forma a sua utilização. Noutros casos, a dificuldade em termos de movimentação do equipamento também não permite a sua utilização.

Assim, para ultrapassar estas dificuldades faz-se a marcação dos furos no terreno e, em seguida, com a cota referencial da bancada faz-se a medição furo a furo para que se possa garantir o mesmo plano na bancada seguinte. É elaborado um relatório com o comprimento de cada furo e entregue ao operador. Com o sistema auxiliar LIM, o operador indica o comprimento do furo a executar de modo a que o sistema pare automaticamente quando esse comprimento é alcançado.

A Figura 19 exemplifica a utilização do “laser” plano manual definindo, a cerca de 1,5 m acima da soleira, um plano de referência para controlo das plataformas. Deste modo é possível fazer a marcação dos rebentamentos seguintes com rigor, já que permite em zonas desniveladas definir a profundidade furo a furo de acordo com a referência da bancada.

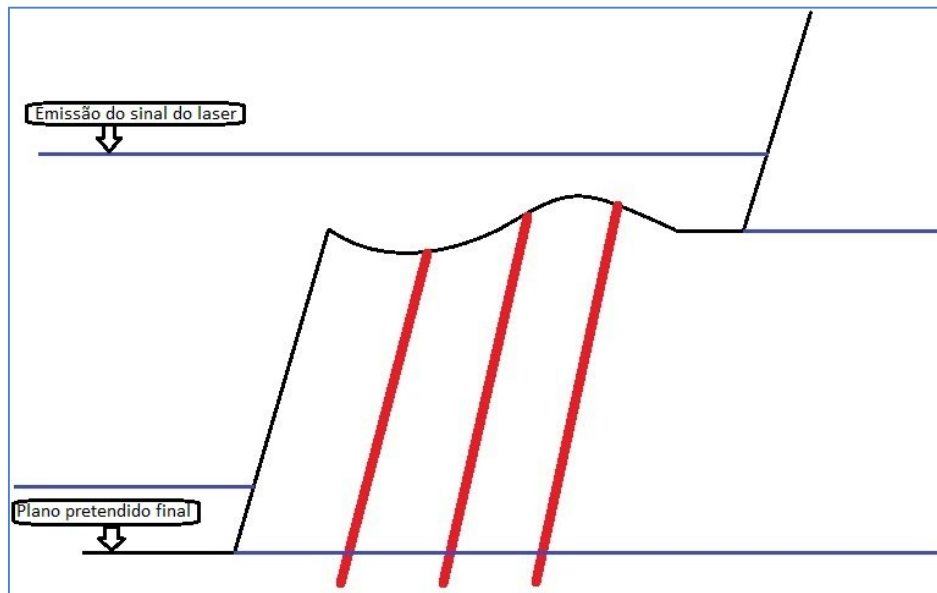


Figura 19 – Controlo do nível das bancadas.

4.3.1 Vantagens na utilização do sistema de “laser” plano

Em termos de utilização, o “laser” plano tem as seguintes vantagens:

- Maior rendimento de perfuração já que se evitam subfurações desnecessárias;
- Controlo da superfície de drenagem, reduzindo ou anulando as dificuldades nas perfurações seguintes;
- Melhor movimentação dos rebentamentos, visto que todos os furos estão ao mesmo nível (o corte na soleira é mais eficiente);
- Possibilidade de aumento do nº de fiadas de furos por rebentamento sem risco de má movimentação de rocha pelo confinamento das fiadas da frente;
- Perfuração controlada em profundidade, com redução do consumo em explosivos e em perfuração;
- Diminuição das vibrações por efeito do confinamento das cargas em excesso;
- Emboquilhamento seguinte com maior rendimento, com apenas cerca de 0,5 m de superfície afectada pelo rebentamento anterior e sem afectação à retaguarda (minimiza os desvios de perfuração);
- Aumento da segurança na frente da escavação pela diminuição dos desvios e fracturação à retaguarda:

- Aumento da vida útil do equipamento de perfuração, a trabalhar sempre em condições óptimas e com máxima produtividade e eficiência;
- Aumento da vida útil dos acessórios de perfuração (varas, bits e encabadouros);
- Maior produtividade na carga e transporte;
- Possibilidade de utilizar o equipamento de perfuração em outros locais.

4.3.2 Importância do controlo da direcção, inclinação e profundidade dos furos na perfuração

Para que o resultado do desmonte de rocha com explosivos seja eficiente, é necessário, acima de tudo, que a perfuração seja executada com os parâmetros pretendidos, tendo sempre em atenção a direcção, inclinação e profundidade dos furos. Só desta forma se conseguirão resultados finais eficientes, com vista ao aumento da produtividade e à redução de custos em todo o processo (perfuração, carga de explosivos, acessórios de detonação, fragmentação secundária, carga e transporte do material e sector da britagem).

A Figura 20 ilustra um exemplo de como a perfuração deve ser executada em condições ideais, com todos os furos estão perfeitamente alinhados, em termos de direcção, inclinação e profundidade.

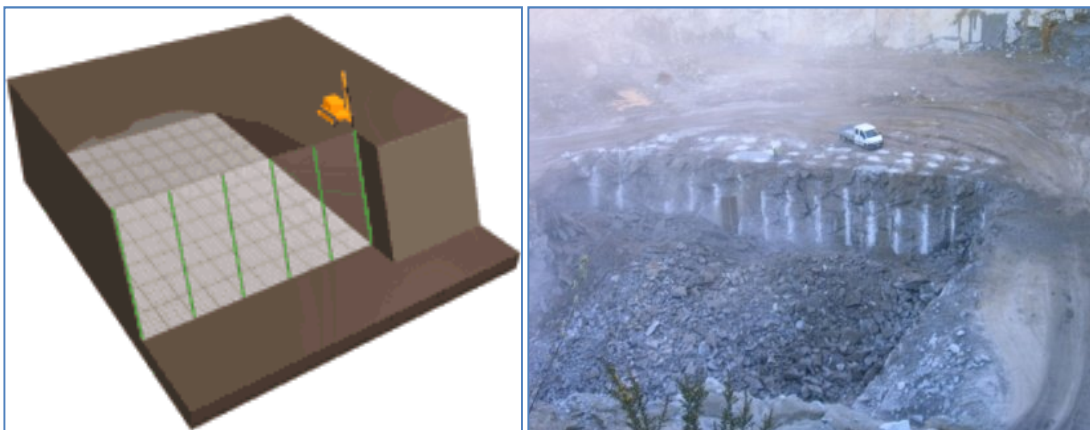


Figura 20 – Perfuração executada com os furos alinhados (<http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application>); Ilustração prática em pedra sendo visível o alinhamento e direcção dos furos.

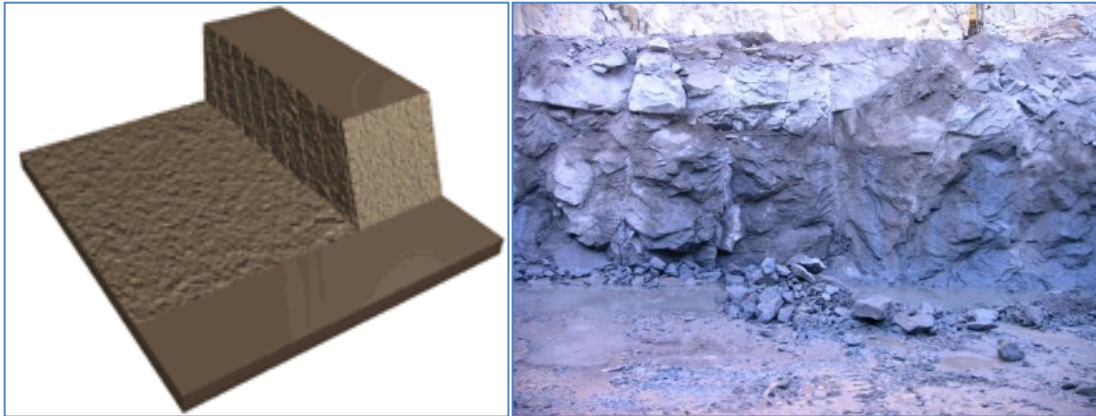


Figura 21 – Resultado final com furos alinhados
(<http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application>);
Frente bem definida, estável e com a soleira nivelada.

Face ao rigor da perfuração o resultado é positivo como se pode ver na Figura 21, obtendo-se uma plataforma nivelada e frente estável com melhoria para a segurança dos trabalhadores e equipamentos.

A Figura 22 evidencia a diferença entre o rigor e a falta do mesmo, com a inclinação, direcção dos furos e profundidade incorrectas. Em consequência, o perfil da bancada e da soleira serão irregulares e obrigarão a que os equipamentos de carga tenham um maior tempo de ciclo, exista uma maior percentagem blocos de dimensão superior ao desejado, a entrada dos equipamentos de carga no escombro do rebentamento será mais complicada, as irregularidades dificultarão a operação dos equipamentos de carga, a velocidade de circulação dos dumpers será inferior e a drenagem dificultada com consequências para a manutenção dos equipamentos.

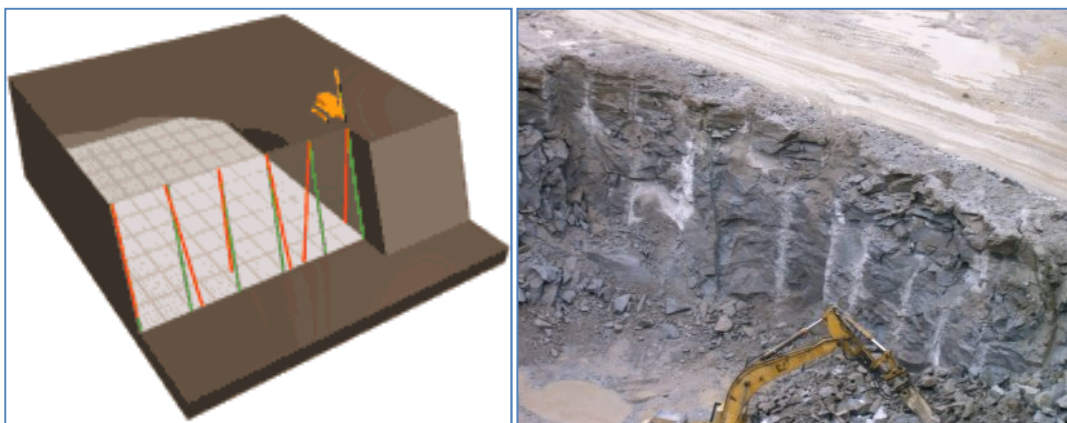


Figura 22 – Falta de rigor relativamente direcção e inclinação dos furos
(<http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application>);
Observam-se irregularidades na soleira que irão dificultar as operações de carga e transporte.

O resultado económico final não será o desejado, já que irão aumentar forçosamente os custos de todas as operações subsequentes ao desmorte de rocha, aumentado directamente o custo de produção (Figura 23).

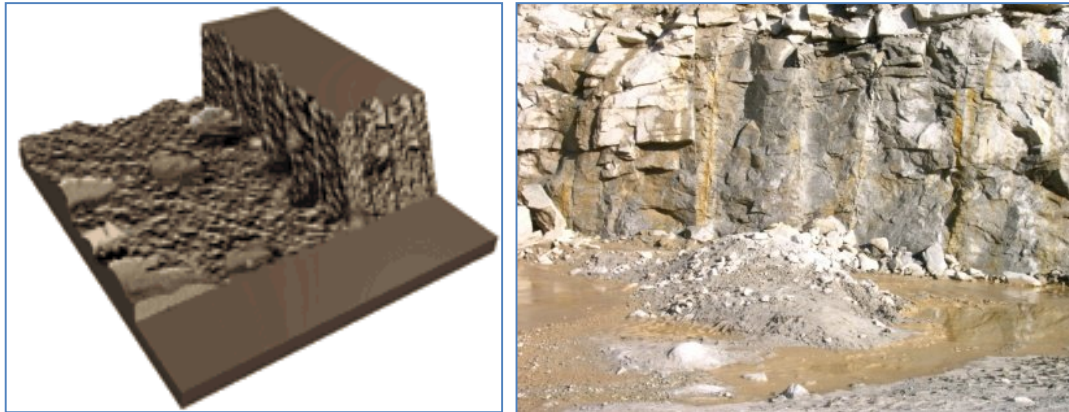


Figura 23 – Resultado final da perfuração sem rigor (<http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application>); As irregularidades da soleira dificultam o movimento dos equipamentos e podem originar confinamento dos rebentamentos seguintes.

4.3.3 Mais-valias no uso dos sistemas de inclinómetro com medição dos furos

O sistema da Lim tem associado um contador de metros de perfuração, que permite saber qual a profundidade de cada furo executado, e possibilita a marcação prévia da profundidade para que o equipamento pare a perfuração sempre à mesma cota sem depender da ordem de paragem do operador. Este sistema não permitirá que o operador erre aquando a paragem de cada furo, sendo assim é possível reduzir custos de perfuração e consumo em explosivos desnecessários. As principais vantagens apontadas são as seguintes:

- Menos tempo de alinhamento da coluna para posicionar na direcção e inclinação pretendida, pois o operador não tem que fazer a confirmação externa;
- Diminuição da perfuração específica face à não execução de subfuração em excesso;
- Diminuição da carga específica;
- Aumento de vida útil dos acessórios de perfuração relativamente ao volume desmontado;
- Aumenta a segurança (minimização de projecções, minimização da probabilidade de acidentes por deslizamentos na frente);
- Reduz o impacto ambiental, ao nível de ruído/vibrações;

- Menos quebra à retaguarda, maior facilidade na perfuração seguinte e imediato reflexo no custo da operação;
- Fragmentação mais homogénea com melhor movimentação do material;
- Minimização da percentagem de blocos de dimensão superior ao desejado para fragmentação secundária.

4.4. Influência da posição final dos furos relativamente ao posicionamento inicial

O posicionamento dos furos à superfície deve ser marcado de forma rigorosa. Como se pode verificar nas Figuras 24 e 25, apesar de os furos estarem bem posicionados à superfície (com marcação rigorosa da relação E/V), tal não se verifica em profundidade, o que irá influenciar o resultado final do desmonte de rocha em termos de fragmentação. De uma forma generalizada, os responsáveis pelos centros de produção não têm conhecimento de como os furos estão posicionados em profundidade, logo não tomam as medidas necessárias para evitar os desvios e maximizar a fragmentação. Estes desvios devem-se a vários factores, nomeadamente:

- Mau posicionamento da coluna em termos de direcção e inclinação (sistema de inclinómetros avariado, ou incorrecta utilização);
- Superfície inicial de perfuração com material afectado dos desmontes anteriores originando deficiente emboquilhamento (pode estar relacionado com erros de comprimento do furo anteriores);
- Emboquilhamento deficiente por não correcção do desvio causado no início do furo em superfícies irregulares ou por utilização de força de avanço exagerada;
- Desvios relacionados com a natureza geológica do local;
- Desvios por flexão das varas.

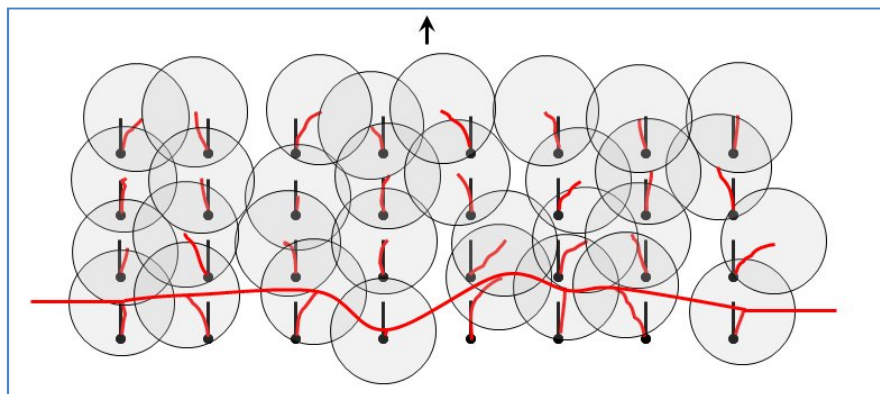


Figura 24 – Raio de influência de cada furo ao nível da soleira condicionado pelo desvio dos furos (Adaptado de: Sandvik, 2006).

A situação óptima está de acordo com a Figura 25, ou seja, todos os furos têm a posição inicial e final de acordo com o planeado. Logo, a distribuição das cargas explosivas será uniforme quando inseridas no interior do maciço rochoso. Desta forma, influenciará directamente o aumento da fragmentação, evitando o aparecimento de irregularidades na plataforma de trabalho, tendo efeitos imediatos no aumento da produtividade e reduzindo o aparecimento de blocos de dimensão superior ao desejado em percentagem elevada.

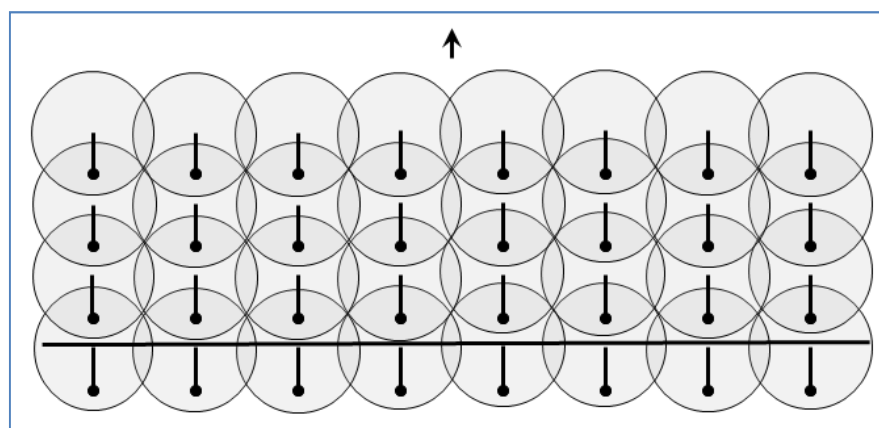


Figura 25 – Raio de influência de cada furo ao nível da soleira na situação ideal sem desvios (Adaptado de: Sandvik, 2006).

Como exemplo e de acordo com os dados recolhidos (rebetamento CERVAES351 – Anexo 3), o “software” possibilita o tratamento da informação na preparação de vários relatórios, como se pode ver nos Quadros 1,2 e 3.

O Quadro 1 permite ver um relatório síntese, onde aparece o nº do rebetamento, o local onde foi executado, a data da criação do ficheiro, o nº total de furos executados e o total de metros executados.

Quadro 1 – Número total de furos executados no rebetamento.

LimSoft – Data: 12-09-2006			
Local	Data de execução	Número de furos	Total de perfuração
Pedreira de Cervães	12-09-2008 13:05:07	39	435,34 m

Os ficheiros originais retirados como exemplo para este trabalho, podem ser consultados no Anexo 3.

É ainda possível verificar do Quadro 2, a profundidade de cada um assim como a data de registo dos mesmos.

Quadro 2 – Monitorização do furo 78 ao furo 84.

LimSoft Lista de Furos – Data: 12-09-2006			
Furo nº	Profundidade	Primeira / Última Data de registo	Registos de perfuração
78	11,00 m	01-08-2006 - 7:46:00	1
79	11,01 m	01-08-2006 - 8:03:00	1
80	11,00 m	01-08-2006 - 8:20:00	1
81	11,00 m	01-08-2006 - 8:55:00	1
82	11,00 m	01-08-2006 - 9:11:00	1
83	11,01 m	01-08-2006 - 9:28:00	1
84	12,50 m	01-08-2006 - 9:57:00	2
		01-08-2006 - 10:01:00	

O Quadro 3 regista os parâmetros de perfuração por furo, neste caso específico o furo nº 84, onde é visível a data hora inicial e final do furo. Regista ainda dois valores muito importantes na execução dos furos que são a direcção e inclinação de acordo com o pré-definido no diagrama inicial dado pelo responsável do centro de produção. Desta forma é possível confirmar posteriormente se o operador executou cada um dos furos de acordo com o planeado anteriormente, de forma a garantir uma perfuração com qualidade.

O registo da hora de início e final do furo permite determinar a perfurabilidade prática e não existindo relato de incidentes relativos a dificuldade de penetração do bit em rocha diaclasada, pode ser um bom indicador sobre o estado de afiação do bit e da necessidade da sua troca.

Quadro 3 – Descrição dos parâmetros de perfuração do furo nº 84.

Furo nº 84 – Descrição dos parâmetros de perfuração.			
Furo	84	Data de Início	01-08-2006 - 10:01:00
Arquivo	0264A03808	Data de fim	01-08-2006 - 10:16:00
Início	0,00 m	Ângulo X	15,80 °
Fundo	12,50 m	Ângulo Y	0,30 °

4.5 Sistema “Laser” Profile

4.5.1 Metodologia de aplicação

O “laser” profile não é mas do que um aparelho topográfico de varrimento da frente e registo de coordenadas por reflexão do feixe directamente na rocha. Os dados obtidos são utilizados para gerar uma planta em 2D compatível com o tratamento em “software” específico para integração dos dados da perfuração obtidos com o equipamento “boretrak”.

O uso em contínuo do sistema de “laser” profile, 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. Na prática trata-se de alinhar a perfuração em termos de distância à frente com a inclinação ajustada à inclinação de frente de modo a obtermos a correcta distância à frente para a concentração de carga prevista.

A Figura 26 apresenta o procedimento de marcação do alinhamento da primeira fiada de furos antes da execução da perfuração na parte superior da bancada com dois marcadores laterais, os marcadores A e B, colocados em zonas opostas. O tripé do “laser” deverá ser colocado sensivelmente a meio da bancada a desmontar. Os furos são marcados topograficamente através de uma vara com reflector, a fim de medir a distância ao “laser” e saber exactamente onde estará cada ponto. Os pontos de leitura têm a seguinte sequência: de cima para baixo e da esquerda para a direita. A resolução varia entre 0,6 m a 2 m sensivelmente.

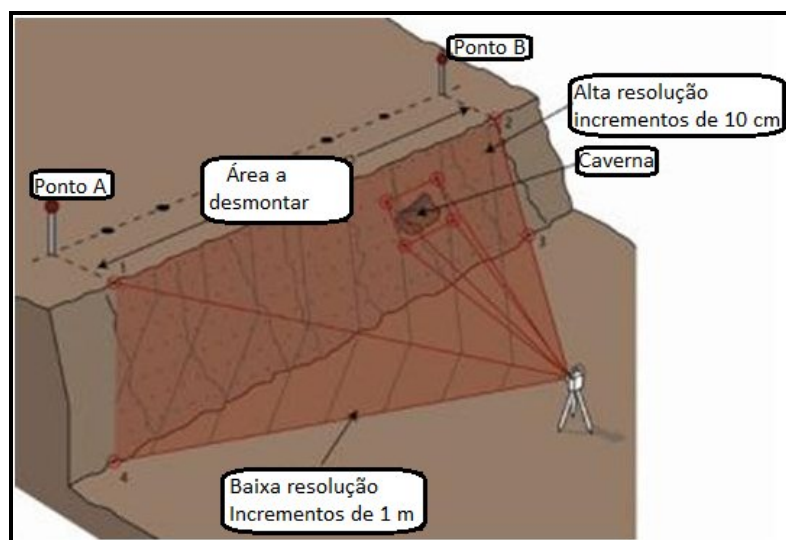


Figura 26 – Posicionamento do “laser” profile relativamente à frente livre (Adaptado de: Quarryman, Fevereiro 2010).

Terminado o varrimento da frente, efectua-se o tratamento dos dados para verificar se a posição e inclinação dos furos é a mais correcta relativamente à frente livre. Caso seja necessário são introduzidas alterações à posição do emboquilhamento e inclinação do furo.

4.5.2 Vantagens na utilização do equipamento

A utilização deste equipamento e os desenhos elaborados, permitirá mostrar aos operadores das diferentes tarefas, designadamente a perfuração, a carga e a detonação, a posição de cada furo relativamente à frente livre e motivá-los de forma a perceberem a importância deste tipo de ferramenta no que respeita à segurança e produtividade. Com a monitorização das operações, o trabalho de desmonte de rocha em bancada minimizará os seguintes erros:

- Distância à frente elevada;
- Distância à frente reduzida;
- Subfuração excessiva:
- Reduzida subfuração;
- Desvios dos furos (convergentes ou divergentes);
- Mau posicionamento do equipamento de perfuração, relativamente à frente livre.

As vantagens técnicas e económicas deste sistema de monitorização são as seguintes:

- Redução do consumo em explosivos e acessórios de detonação;
- Redução da perfuração específica;
- Redução das irregularidades da soleira ou mesmo eliminação das mesmas;
- Maior produtividade do equipamento de perfuração;
- Maior produtividade dos equipamentos de carga e transporte;
- Melhores condições de segurança;
- Menor impacto ambiental, redução de vibrações.

No caso da pedreira de Cervães, de uma forma generalizada a relação E/V é de 3 m * 2,5 m respectivamente. Neste caso o que se pretende é que a distância à frente seja

sempre 2,5 m ao longo de todo o furo. Com a tecnologia do “laser” profile, é possível modificar a inclinação do furo para a aproximar do valor pretendido.

A Figura 27 mostra o “laser” profile em posição de funcionamento (Anexo 4), na evolução dos trabalhos de ajustamento das frentes de desmonte em flanco de encosta. Na parte superior da Figura verifica-se já a diferença e o aparecimento das bancadas definidas com as melhorias introduzidas. Nesta fase dos trabalhos, já eram perceptíveis 4 das 6 bancadas projectadas.



Figura 27 – Sistema “laser” profile em funcionamento.

A conjugação do “laser” profile com o programa Rockmate permite fazer o tratamento de dados e elaborar um plano de execução para o operador da perfuradora, tendo em consideração a direcção e inclinação de cada um dos furos em função do perfil de cada um deles.

4.5.3 Exemplo de aplicação

De uma forma geral as frentes de escavação devem estar alinhadas. Neste caso temos uma frente com cerca de 56 m, com os furos numa direcção preferencial ajustada ao melhor sentido do desmonte marcados com o recurso a uma bússola. A vantagem que tem a utilização da bússola é que, independentemente do local onde possamos estar, a direcção será sempre a mesma. Na evolução dos trabalhos foi muito importante, pois chegamos a ter

em flanco de encosta distâncias consideráveis quer em termos horizontais, quer em termos verticais (Figura 28).



Figura 28 – Ajustamento das frentes de trabalho em duas direcções principais.

Depois de realizado o trabalho de campo, a informação é retirada para um computador para ser tratada, operação relativamente rápida, dependendo do nº de perfis a tratar. Em termos médios, se as condições no terreno permitirem, a operação total demora em média cerca de 2,5 horas.

A Figura 29 apresenta a planta dos furos antes de ser efectuado qualquer ajuste em cada um dos perfis. Neste exemplo, a frente de trabalho tem 18 furos para serem executados. O espaçamento entre furo é de 3,3 m com uma distância à frente de 2,6 m. A altura de bancada é cerca de 11,2 m (Anexo 5).

O tratamento geométrico dos perfis é realizado com o “software” Rockmate especialmente criado para este fim. Trata-se de um programa intuitivo que permite ser trabalhado com facilidade.

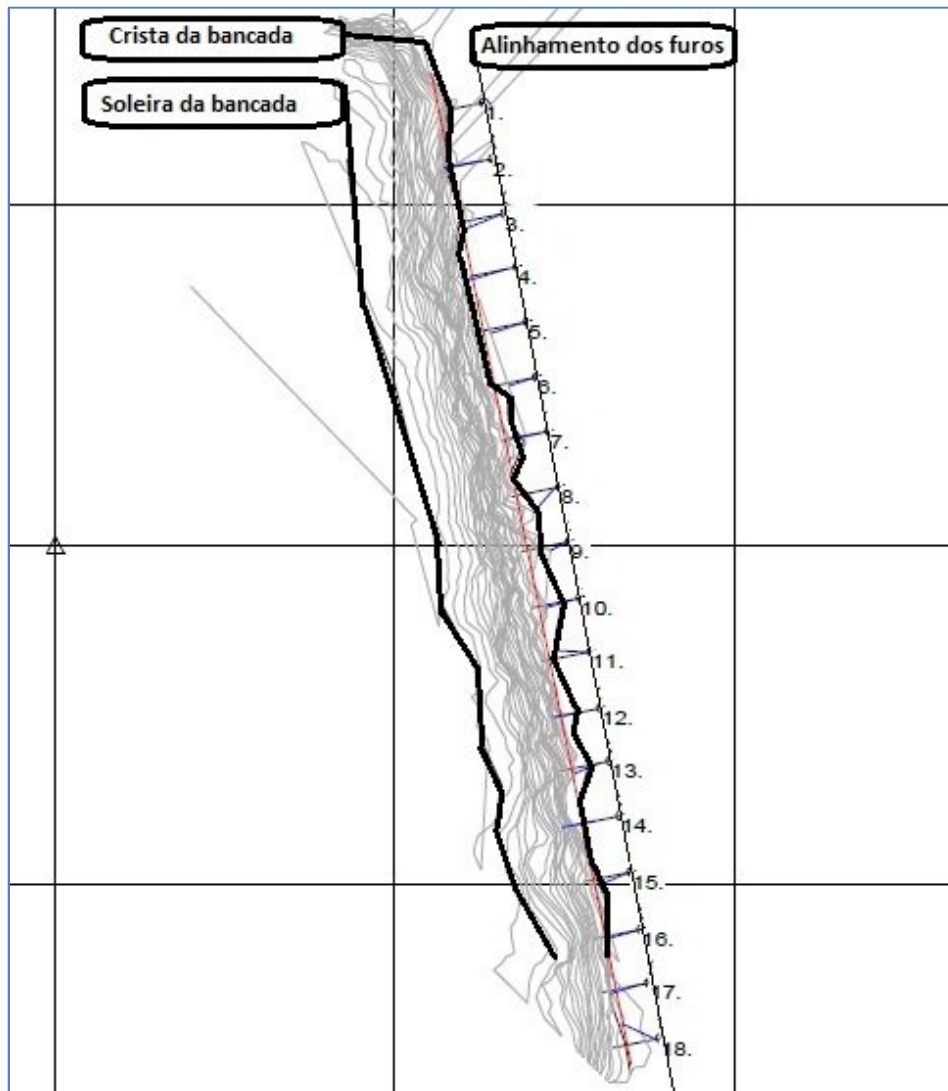


Figura 29 – Planta de uma bancada com 18 furos antes do ajuste dos perfis.

Uma vez obtida a planta da bancada com a posição teórica dos furos, é realizado o tratamento dos perfis de cada furo relativamente à frente livre.

Neste trabalho são apresentados dois exemplos de características diferentes para ilustração do trabalho de ajuste que deve ser realizado.

Na Figura 30 representa o perfil do furo nº 4 relativamente à frente livre. A linha azul representa o furo planeado, a linha verde a cota da soleira com a respectiva subfuração e as linhas a vermelho representam respectivamente 90% e 110% da distância à frente pretendida, respectivamente, que neste caso é 2,6 m.

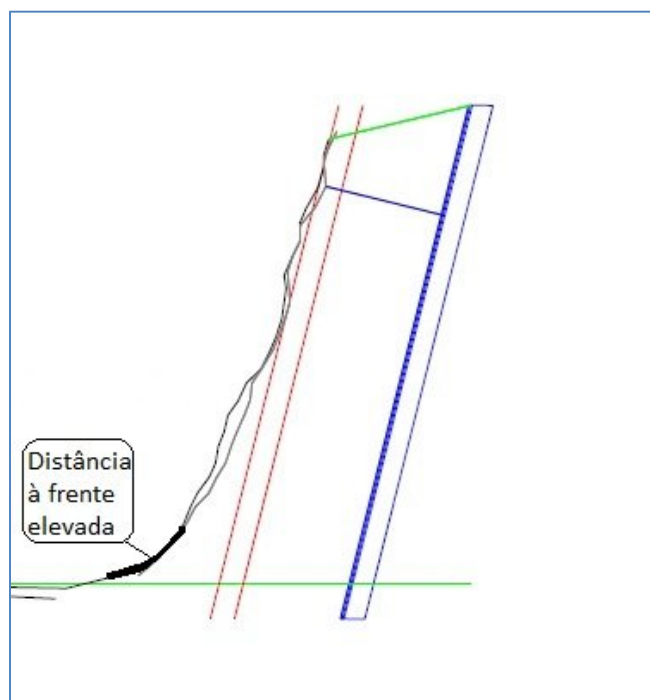


Figura 30 – Perfil nº4 sem ajuste de inclinação.

Como se pode verificar na Figura 30 e no Quadro 4, os valores em profundidade não garantem a distância à frente pretendida. Como a bancada apresenta uma curvatura na direcção da frente livre, os valores da distância à frente aumentam em profundidade, a tal ponto que na leitura nº 27 verifica-se um valor de 4,44 m (Figura 30 – distância à frente elevada), valor este quase cerca de 2 m acima do valor que se pretende. Nesta situação, se nada for feito e o furo for carregado tal e qual como está, podem ocorrer várias situações, nomeadamente:

- Maior confinamento da carga no nível inferior da bancada e consequente má movimentação da rocha na fiada da frente com consequência gravosa para as fiadas posteriores;
- Maior percentagem de grandes blocos acima da dimensão desejável;
- Possibilidade de aparecimento de irregularidades, de acordo com o grau de fracturação do maciço;
- Quebras de produção ao nível da carga dos dumpers;
- Dificuldades de gestão do espaço face aos blocos que vão aparecendo;
- Maiores tempos de ciclo por parte dos dumpers;
- Menor quantidade carga transportada, face aos vazios do material;
- Menor tempo da vida útil dos equipamentos (maior desgaste).

Com tantas dificuldades técnicas decorrentes do mau posicionamento dos furos, os custos de produção aumentam significativamente.

Quadro 4 – Perfil nº4 inicial sem ajuste no programa Rockmate.

PERFIL INICIAL SEM AJUSTE		
Perfil nº	4	-
Ângulo	14	°
Profundidade	11,8	m
Volume	300	t
Leitura nº	Profundidade (m)	Distância à frente (m)
0	0,00	0,00
1	1,52	2,89
2	1,92	2,91
3	2,14	2,84
4	2,62	2,86
5	3,15	3,01
6	3,53	3,07
7	3,92	2,97
8	4,27	3,04
9	4,72	3,12
10	4,99	3,00
11	5,37	2,97
12	5,68	2,93
13	6,09	2,96
14	6,44	3,03
15	6,88	3,12
16	7,27	3,36
17	7,69	3,44
18	8,07	3,59
19	8,46	3,58
20	8,79	3,62
21	9,17	3,60
22	9,51	3,65
23	9,92	3,82
24	10,27	3,90
25	10,68	3,96
26	11,08	4,18
27	11,54	4,44

O perfil 16 (Figura 31) apresenta uma situação inversa, com uma distância à frente menor do que o pretendido, já que só a partir das leituras 21 e 22 é que nos encontramos ligeiramente acima dos 2,6 m (Quadro 5). No caso de não ser ajustado o perfil, para além do risco de projecções, aumenta-se a perfuração específica e a carga específica pelo menor volume desmontado.

Cada furo desmontará cerca de 260 t, no entanto o perfil 16 desmontará apenas 200 t. Já o perfil nº 4 desmonta cerca de 300 t, com um valor de 40 t acima do normal, embora não seja garantida uma boa granulometria. A situação ideal será desmontar cerca de 260 t por furo, para que se consiga obter uma granulometria uniforme. Agora se extrapolarmos, para uma pedreira que tenha produção anual significativa e se não for feito consecutivamente este trabalho, o custo da perfuração e carregamento de explosivos poderão agravar-se significativamente.

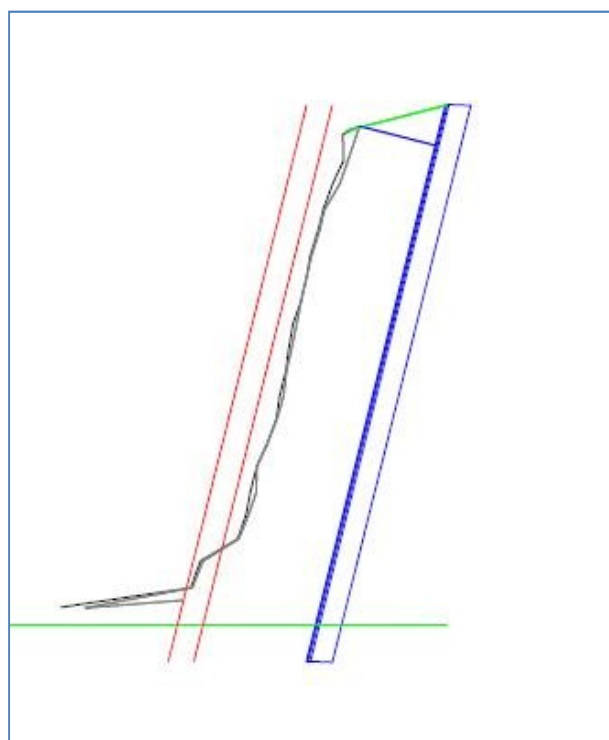


Figura 31 – Perfil nº 16 sem ajuste.

Importa ainda referir, que não basta apenas olhar para estas duas operações, pois será importante também monitorizar a operação de fragmentação secundária, uma vez que o seu custo representa cerca de 1/3 do total das 3 operações.

Em situações futuras, será importante também avaliar a influência da fragmentação no restante do processo produtivo, nomeadamente a carga e transporte do material, britagem e selecção.

Quadro 5 – Perfil nº16 inicial sem ajuste no programa Rockmate.

PERFIL INICIAL SEM AJUSTE		
Perfil nº	16	-
Ângulo	14	°
Profundidade	12,1	m
Volume	200	ton
Leitura nº	Profundidade (m)	Distância à frente (m)
0	0,00	0,00
1	1,05	1,91
2	0,90	1,69
3	1,14	1,98
4	1,68	1,83
5	2,16	1,93
6	2,77	1,99
7	3,22	1,99
8	3,78	2,03
9	4,22	2,00
10	4,78	1,99
11	5,25	2,03
12	5,81	2,00
13	6,23	1,94
14	6,81	1,94
15	7,27	1,89
16	7,85	1,95
17	8,34	2,05
18	8,91	2,05
19	9,37	2,02
20	9,92	2,06
21	10,57	2,72
22	11,17	2,77
23	12,05	5,33

Nota: Os valores a vermelho não cumprem a distância à frente pretendida.

A Figura 32 apresenta o perfil nº 4 já ajustado, com furo a ser executado a 18° e prevendo desmontar cerca de 260 t. O furo foi ajustado a um máximo de 18° , pois com o aumento da inclinação os desvios em relação à frente também aumentam. De uma forma geral tenta-se executar os furos entre os 14 a 16° .

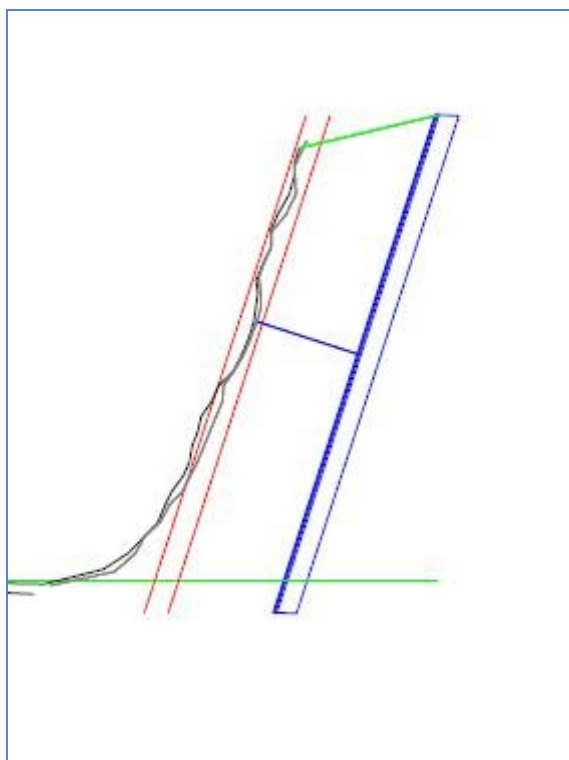


Figura 32 – Perfil nº 4 ajustado.

O Quadro 6 apresenta os valores obtidos para o Perfil nº4 final, ajustado no programa Rockmate.

Quadro 6 - Perfil nº4 final ajustado no programa Rockmate (Anexo 5).

PERFIL FINAL AJUSTADO		
Perfil nº	4	-
Ângulo	18	°
Profundidade	12,1	m
Volume	260	ton
Leitura nº	Profundidade (m)	Distância à frente (m)
0	0,00	0,00
1	1,75	2,78
2	2,14	2,78
3	2,36	2,69
4	2,83	2,67
5	3,38	2,78
6	3,76	2,82
7	4,14	2,69
8	4,49	2,74
9	4,95	2,78
10	5,21	2,65
11	5,59	2,59
12	5,89	2,53
13	6,30	2,53
14	6,66	2,57
15	7,10	2,64
16	7,51	2,85
17	7,94	2,90
18	8,32	3,02
19	8,71	2,98
20	9,04	3,00
21	9,42	2,95
22	9,76	2,98
23	10,18	3,12
24	10,54	3,17
25	10,96	3,20
26	11,37	3,40
27	11,85	3,63
28	12,07	4,07
29	12,07	5,27
30	12,07	13,27

Nota: Os valores a vermelho não cumprem a distância à frente pretendida, mas encontram-se muito próximo do valor teórico.

Na zona inferior da soleira, nota-se uma distância à frente considerável. Por vezes, trata-se apenas de material solto que a pá carregadora não conseguiu carregar totalmente. No caso de ser rocha compacta, para uma boa deslocação do material do rebentamento é necessário realizar perfuração auxiliar com detonação antecipada.

A frente livre, considerada neste estudo, estava já bastante ajustada em termos de direcção e inclinação dos furos, pelo que os ajustes a fazer nos perfis não foram muito significativos. De qualquer modo, a monitorização das operações é sempre muito importante.

No perfil nº 16 ajustado (Quadro 7), apenas dois valores estão abaixo dos 2,6 m, mesmo assim não é nada de significativo, com os restantes valores acima, mas muito próximos dos 2,6 m. O furo será executado com 14° e desmontará cerca de 269 t.

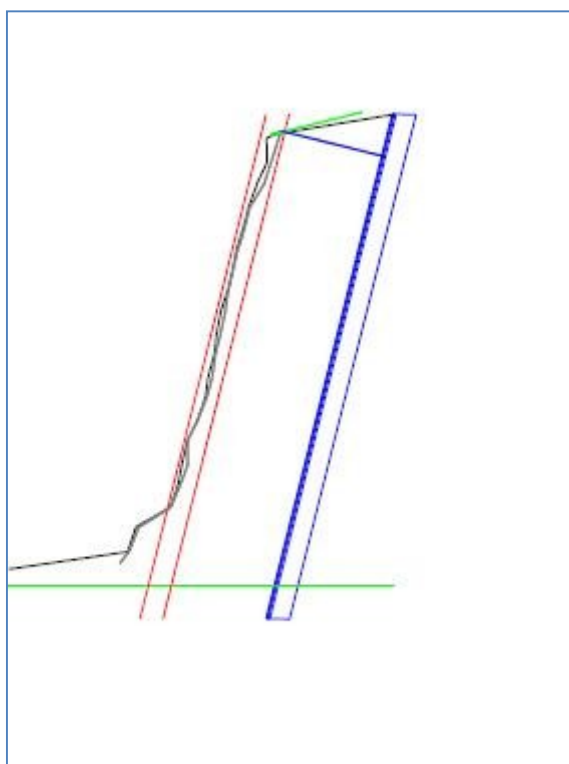


Figura 33 – Perfil nº 16 ajustado.

O Quadro 7 apresenta os valores obtidos para o Perfil nº16 final, ajustado no programa Rockmate.

Quadro 7 - Perfil nº16 final ajustado no programa Rockmate.

PERFIL FINAL AJUSTADO		
Perfil nº	16	-
Ângulo	14	°
Profundidade	12	m
Volume	269	ton
Leitura nº	Profundidade (m)	Distância à frente (m)
0	0,00	0,00
1	1,18	2,65
2	1,04	2,43
3	1,27	2,72
4	1,81	2,57
5	2,29	2,66
6	2,90	2,73
7	3,35	2,73
8	3,91	2,77
9	4,36	2,74
10	4,91	2,73
11	5,38	2,77
12	5,95	2,73
13	6,37	2,68
14	6,94	2,68
15	7,40	2,63
16	7,99	2,69
17	8,48	2,79
18	9,05	2,79
19	9,50	2,76
20	10,06	2,80
21	10,70	3,46
22	11,30	3,51
23	11,99	6,07

Nota: Os valores a vermelho não cumprem a distância à frente pretendida.

Depois de ajustados os perfis (Figura 34), é entregue ao operador um relatório com a nova inclinação, direcção, profundidade e posicionamento de cada furo.

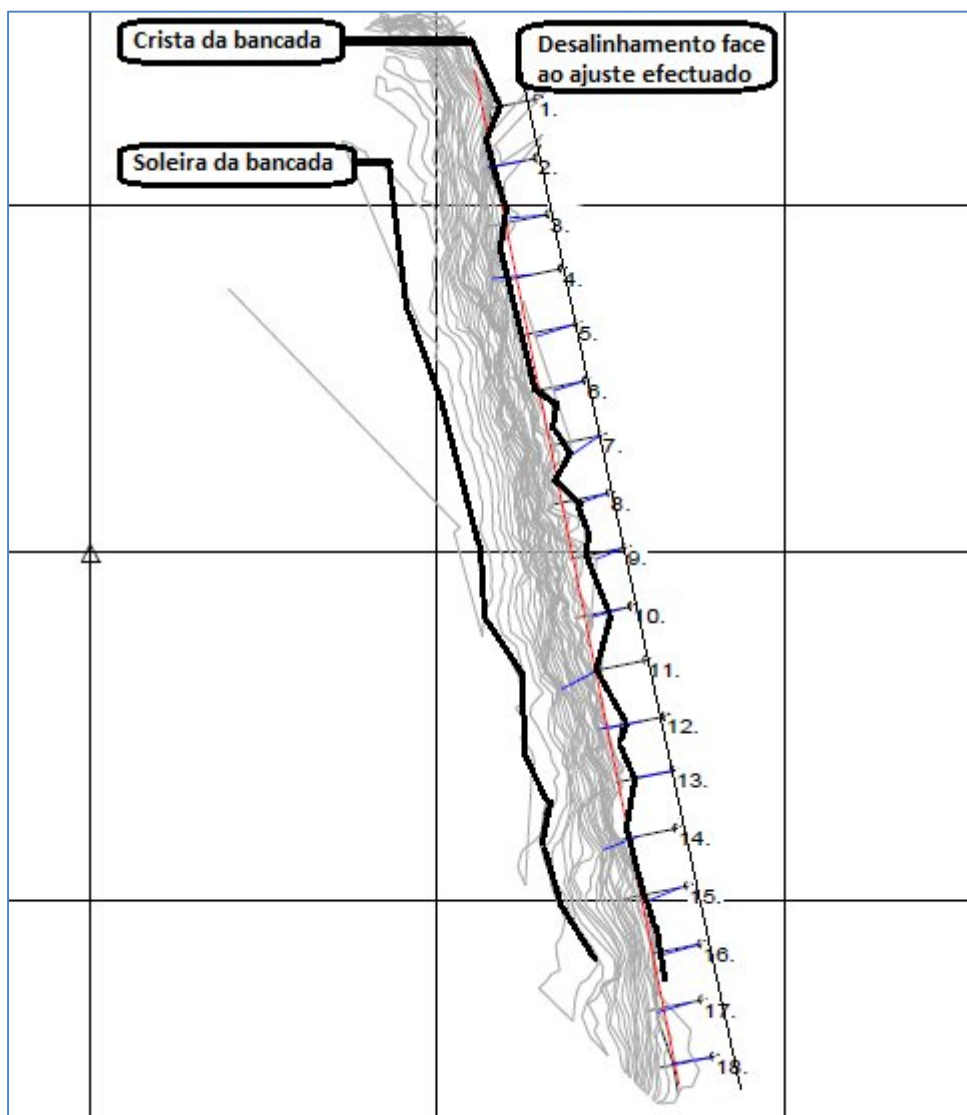


Figura 34 – Planta dos perfis ajustados.

Comparando o volume de material que seria desmontado sem ajustamento dos perfis para apenas uma fiada com o valor a desmontar com o ajustamento de todos os perfis (da 1ª fiada), conseguiu-se desmontar mais 7% de material, ou seja, aumentou-se a eficiência do desmorte em termos da redução da perfuração específica (Quadro 8).

Quadro 8 – Relação de volumes sem e com ajustamento dos perfis.

	Volume desmontado sem ajuste	Volume desmontado com ajuste	Un.
1ª Fiada	4298	4643	T
Diferencial	-	345	T
Ganho material	-	7%	-

4.5.6 Utilização do equipamento de monitorização da inclinação e direcção dos furos “boretrak”

O “boretrak” (Figura 35) não é mais do que uma sonda que se vai colocando dentro do furo ao mesmo tempo que se vão fazendo os registos em profundidade. Esta medição pode ser feita de acordo com o rigor pretendido, com intervalos de um metro ou dois metros. A sonda possui um inclinómetro digital e uma bússola digital que indicam a direcção e posição real de cada ponto do furo (Anexo 6).

Depois de executados os furos é possível verificar e registar a sua inclinação, direcção e comprimento e conjugar os dados obtidos com o equipamento “boretrak” com os dados do “laser” profile. Associados ao “software” Rockmate permitem não só estudar as correcções mais adequadas no que respeita à constituição da carga de explosivo, como ainda decidir pela anulação do furo e realização de um novo. É ainda possível verificar se os erros estão associados ao operador ou se estão relacionados com o tipo de ferramentas de perfuração.

No programa Rockmate, será necessário apenas abrir o ficheiro em questão e associar os dados relativos ao “boretrak”, sendo possível verificar em planta e perfil as verdadeiras distâncias à frente de cada um dos furos da primeira fiada.



Figura 35 – Utilização do sistema de monitorização “boretrak”.

Este equipamento apresenta várias vantagens, nomeadamente:

- Facilidade de utilização apenas com um colaborador;
- Visualização directa dos dados em tempo real à medida que se desce em profundidade;
- Tomadas de decisão com base na informação recolhida, nomeadamente a nível técnico-económico.



Figura 36 – Sonda “boretrak” com o interface externo de visualização.

4.5.7 Relatórios do “software” Rockmate

O Rockmate permite retirar uma série de relatórios para visualização e optimização da perfuração:

- Relatório de perfis sem ajustamento;
- Relatório em planta sem ajustamento;
- Relatório de perfis ajustado;
- Relatório em planta ajustado;
- Relatório para ajustamento da perfuração com a respectiva inclinação;
- Relatório de perfis depois de perfurado com inserção de dados reais do “boretrak”;
- Relatório em planta depois de perfurado com inserção de dados reais do “boretrak”.

4.5.8 Vantagens na utilização do equipamento numeração errada

Baseado na informação recolhida, obtêm-se as seguintes vantagens:

- Controlar o trabalho realizado em termos de direcção e inclinação dos furos;
- Ajustar os parâmetros de perfuração, para minimização dos desvios por flexão;
- Experimentar novas ferramentas de corte e acessórios de perfuração, que permitam melhorar a qualidade da perfuração;
- Maior motivação por parte dos colaboradores ao verificarem e compreenderem o resultado do trabalho;
- Incute maior rigor e profissionalismo nas operações.

4.5.9 Relatórios de perfuração

4.5.9.1 Relatório de ajustamento de cada um dos furos

Depois de ajustados os perfis, de acordo com a distância à frente, o programa permite imprimir um relatório que nos indica a direcção e inclinação de cada um dos furos da fiada da frente (Quadro 9), assim como a profundidade e o ajuste a fazer na marcação efectuada anteriormente, ou seja, o que cada um dos furos deve movimentar-se para a frente ou para trás.

Quadro 9 – Relatório para correcção da perfuração.

Furo nº	Direcção (°)	Inclinação (°)	Profundidade (m)	Ajuste (m)	Deslocação
1	236	16	11,70	0,60	Para trás
2	236	16	11,60	0,00	-
3	236	18	11,80	0,00	-
4	236	18	12,10	0,00	-
5	236	16	12,20	0,30	Para trás
6	236	16	12,10	0,20	Para trás
7	236	15	11,90	0,40	Para trás
8	236	16	12,20	0,20	Para trás
9	236	16	12,30	0,60	Para trás
10	236	16	12,40	0,30	Para trás
11	236	16	12,40	0,50	Para trás
12	236	16	12,30	1,00	Para trás
13	236	16	12,50	1,10	Para trás
14	236	16	12,30	0,60	Para trás
15	236	18	12,10	0,60	Para trás
16	236	14	12,00	0,70	Para trás
17	236	16	11,80	0,30	Para trás
18	236	16	11,90	0,40	Para trás

A direcção dos furos é N 236 ° sendo marcada no terreno com uma bússola, e fisicamente com tinta especial de marcação (com boa visibilidade). Esta direcção é a mesma dos furos de trás, no caso de se efectuarem mais fiadas. A inclinação varia entre os 15 e 18 graus e a profundidade média ronda os 12 m.

Nos ajustes efectuados, os valores foram ajustados todos para trás dos furos na direcção oposta ao sentido do desmonte, sendo o valor máximo de 1,10 m, e em termos médios, este valor recuou em todos os furos cerca de 0,5 m, ajustando a inclinação de acordo com o dimensionado.

4.5.10 Monitorização contínua para evitar os erros na qualidade versus produtividade

As operações de perfuração e carregamento de explosivos requerem um acompanhamento técnico contínuo, com o intuito de inculcar aos colaboradores uma motivação na qualidade do desempenho das suas funções, caso contrário, podem surgir problemas que directamente influenciam todo o processo de produção subsequente com o aumento de custos, nomeadamente:

- Excesso/decréscimo de perfuração em relação à altura da bancada;
- Encomenda de explosivos e acessórios de detonação em quantidade inferior ou superior ao necessário;
- Excesso no consumo de detonadores/ligadores para detonação de irregularidades da soleira;
- Descuido na afiação atempada dos bits;
- Afiação dos bits utilizando o motor do equipamento de perfuração;
- Consumo excessivo de acessórios de perfuração (varas, bits, encabadouros);
- Falta de produtividade no rendimento de perfuração por mau planeamento da operação.

No desmonte de rocha com explosivos, deve existir uma sintonia muito grande nas equipas de trabalho, pois não basta termos uma excelente perfuração como também é necessário um bom carregamento dos furos com o explosivo. A melhoria deve ser contínua e adaptada em função das características do maciço rochoso, grau de fracturação, alturas da bancada e condicionantes particulares de cada local.

O trabalho deve ser realizado sempre que possível pela mesma equipa e não com equipas diferentes, ou seja, uma para a perfuração e outra para o carregamento com explosivos.

A avaliação do resultado do desmonte realizado apenas de modo visual, sendo um bom indicador, não é certamente o que nos permitirá retirar conclusões. O registo e monitorização de cada operação é o que permitirá relacionar o resultado com as condições de execução.

O acompanhamento diário e o tratamento da informação é muito importante, no sentido de serem tomadas as medidas correctivas o mais atempadamente possível para minimizar o custo de produção.

No caso da perfuração, os dados a monitorizar serão o registo diário dos rendimentos do equipamento, nomeadamente:

- Rendimento em metros perfurados por hora;
- Relação entre as horas de trabalho do martelo e do carro de perfuração;
- Consumo de combustível do equipamento, em litros por hora;
- Consumos dos acessórios de perfuração (varas, bits, encabadouros, fresas).

Factores que afectam a eficiência da perfuração;

- O posicionamento do equipamento relativamente ao alinhamento dos furos (forma como se realiza a perfuração);
- O operador deverá ter sensibilidade quanto aos parâmetros de perfuração, nomeadamente, a percussão, a rotação, a força de avanço e limpeza para poder ir ajustando os mesmos ao tipo de rocha;
- A qualidade da perfuração, com uso de tubos guia, ou varas de diâmetro superior (T38 ou T45), para garantir que os furos sejam rectilíneos;
- O ângulo de perfuração em função da inclinação da frente;
- A posição do emboquilhamento;
- Os desvios da perfuração provocados por flexão.

Os equipamentos de perfuração não devem operar sobre plataformas de trabalho irregulares (Figura 37), de modo a garantir a segurança e a qualidade na direcção e inclinação dos furos.



Figura 37 – Instabilidade do equipamento de perfuração nas bancadas irregulares.

Se a plataforma não for bem preparada e nivelada, para além de os furos poderem ser iniciados já com direcção e inclinação erradas, o rendimento da perfuração baixa substancialmente pela maior dificuldade em equilibrar a máquina e posicionar a coluna, com elevada probabilidade de se perderem varas e bits.

A utilização contínua destes equipamentos (“laser” profile, “boretrak”), permite, com base na informação recolhida, anular o furo, ajustar a carga de explosivo, mudar o diâmetro de explosivo para se reduzir a concentração de carga por metro de furo, executar um novo furo, de modo a garantir o bom desempenho do rebentamento evitando o risco de projecções. Por outro lado, caso a distância à frente seja elevada, poderemos fazer precisamente o contrário e aumentar a concentração de carga.

De facto, a marcação da posição dos furos à superfície pode estar a ser executada com o máximo de rigor e, em profundidade, verificarem-se desvios significativos. Só com a utilização do “boretrak” é que podemos saber exactamente qual o comportamento do furo em profundidade.

Se por hipótese admitimos que, com base nesta informação poderemos aumentar a área desmontada por furo entre 10 a 20 cm para cada um dos lados, certamente que teremos uma redução muito significativa do custo no final de um ano de trabalho.

Tendencialmente, os responsáveis de centros de produção, quando um desmonte não apresenta os resultados de fragmentação esperados, diminuem a área a desmontar por furo reduzindo os seus parâmetros geométricos, consumindo mais explosivo e aumentando a perfuração.

Grande parte dos acidentes que ocorreram no passado poderiam ter sido evitados se o acompanhamento técnico não for subestimado e os resultados finais obtidos poderiam ser maximizados, se a aplicação dos meios técnicos fosse devidamente implementada.

A Figura 38 representa a situação real de cada um dos furos em profundidade, notando-se que grande parte dos furos garante a respectiva direcção. No entanto, alguns

furos tendem a divergir, como é o caso dos furos nº 14 e 15 e outros tendem a convergir como é o caso dos furos nº 15 e 16.

O pequeno triângulo, situado do lado esquerdo da Figura 38 sensivelmente a meio, representa a localização do “laser” profile face à bancada de trabalho a digitalizar. Normalmente, o “Laser” deverá ficar perpendicular e sensivelmente a meio da frente para que possa digitalizar com rigor toda a superfície em causa.

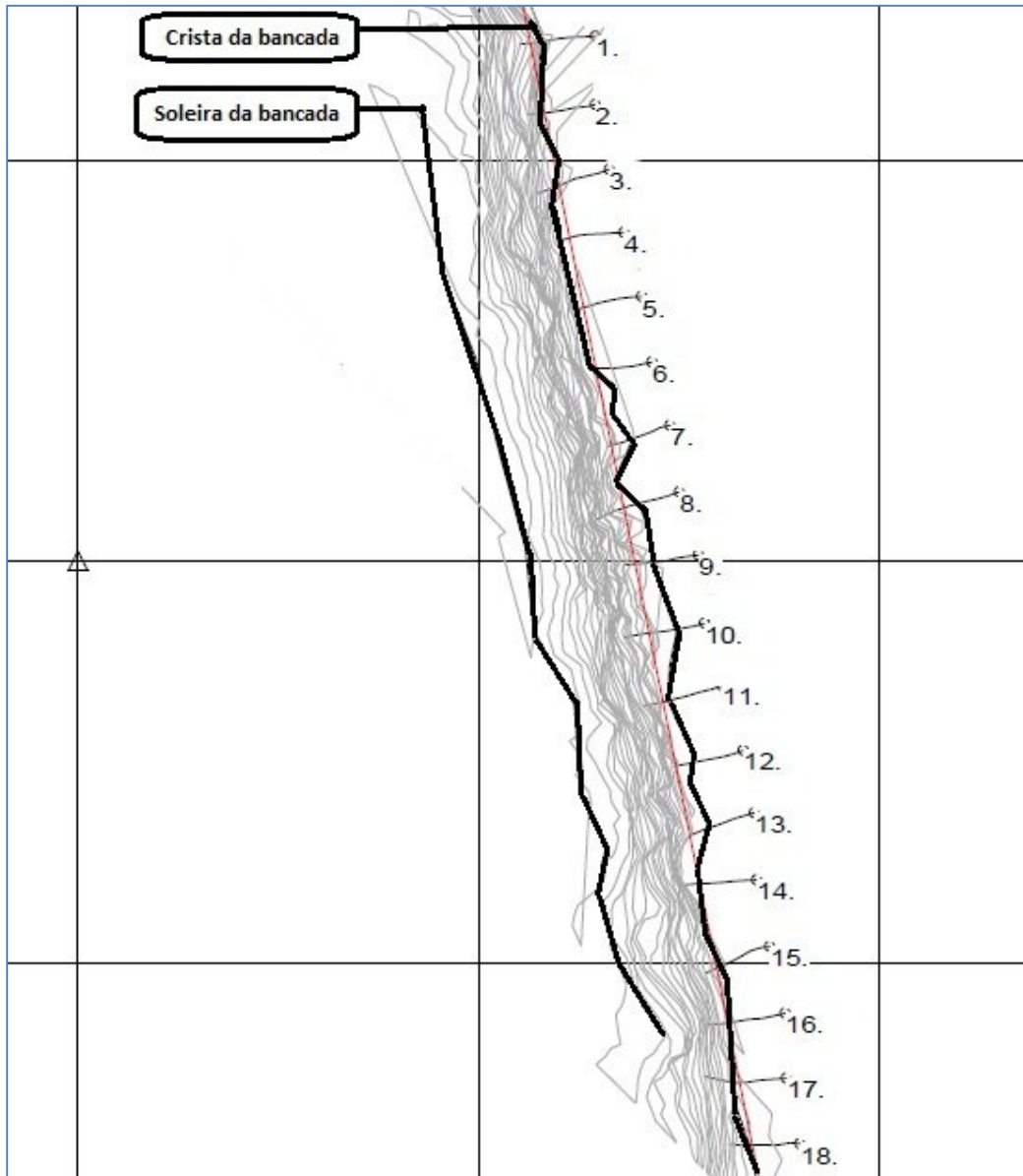


Figura 38 – Resultado em planta da direcção e inclinação dos furos analisada com “boretrak”.

A Figura 39 representa a verdadeira distância à frente do perfil nº 4 com base na informação recolhida do “boretrak”. A diferença relativamente aos perfis anteriormente

analisados reside no facto destes serem definidos na vertical, Os perfis analisados para o sistema “boretrak” não indicam o nível da plataforma final.

A perfuração foi executada com varas T45, minimizando os desvios por flexão. No entanto o furo é iniciado com cerca de 16° e termina quase com 21° (Quadro 10 e 11). A distância à frente de 2,6 m é muito próxima do valor pretendido.

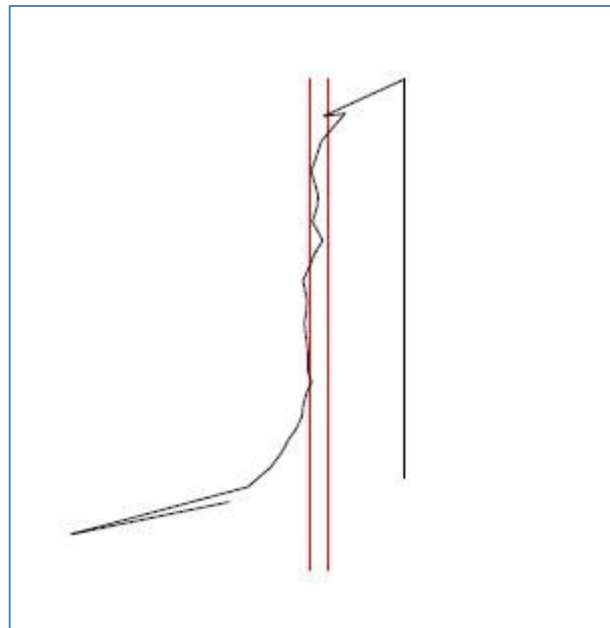


Figura 39 – Perfil nº 4 com a distância à frente real.

Os Quadros 10 e 11 apresentam, a direcção e inclinação dos furos em profundidade.

Quadro 10 – Inclinação e direcção do perfil nº4 em profundidade.

Furo Nº	4	
Profundidade (m)	Inclinação (°)	Direcção(°)
2	15,4	266,8
4	18,8	267,2
6	18,8	267,6
8	20,3	262,4
10	21	254,4
12	20,5	256,4

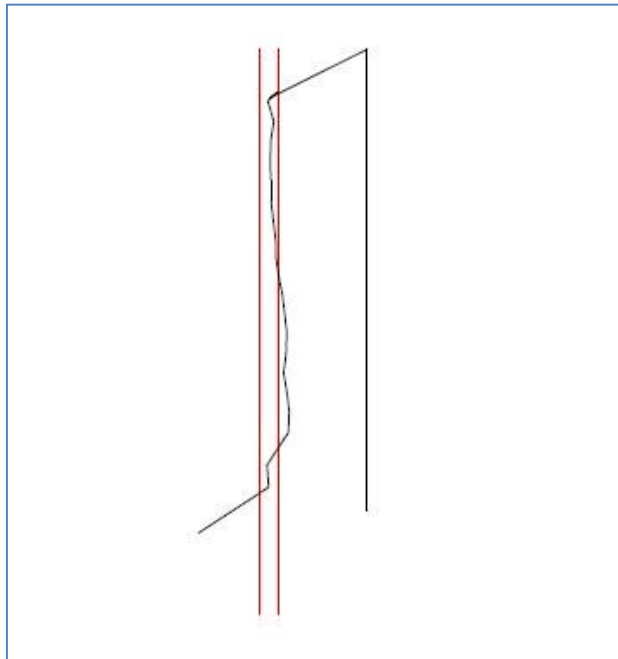


Figura 40 – Perfil nº 16 com a distância à frente real.

Quadro 11 – Inclinação e direcção do perfil nº16 em profundidade.

Furo Nº	16	
Profundidade (m)	Inclinação (°)	Direcção(°)
2	16,7	257,6
4	17,2	258
6	19,1	265,5
8	18,1	261,2
10	18,7	259
12	22,4	265,7
12,3	21,9	265

Capítulo 5 – Caso de estudo

5 Caso de estudo

O estudo foi efectuado na pedreira granítica de Cervães “Bouça do Menino” entre 2004 e 2008. Iniciou-se o estudo com medidas de optimização adoptadas a partir de Janeiro de 2005 até Dezembro de 2008 e continuamente ao longo do tempo.

Neste estudo faz-se uma recolha de dados referentes às condições de operação em curso em três tarefas essenciais: perfuração de rocha, carregamento de explosivo e detonação e a fragmentação secundária, tarefas estas consideradas fundamentais para o bom andamento das operações seguintes, quer em termos técnicos quer em termos económicos. O estudo foi iniciado em 2004 com recolha de dados da situação de referência, a fim de se poder tirar conclusões.

É descrito como se encontra o estado geral da actividade de produção ao nível das frentes de escavação, regularidade das plataformas, condições de operação dos equipamentos e sugeridas acções de melhoria de acordo com as melhores técnicas disponíveis.

Este estudo visa também obter os custos e rendimentos nas operações de perfuração, acessórios de perfuração, explosivos e acessórios de detonação e do equipamento necessário à fragmentação secundária.

Neste centro de produção o sistema “laser” profile foi usado sistematicamente durante sensivelmente um ano de trabalho, de Setembro de 2006 a Agosto de 2007, assim como pontualmente o uso do sistema de medição e “boretrak” para aferição da direcção e inclinação dos furos.

Os resultados do estudo comparam sempre os dados de cada um dos anos relativamente ao 1º ano, neste caso o ano de 2004 (ano de referência).

Importa referir que o objectivo será reduzir os custos na soma das três operações, perfuração, explosivos e fragmentação secundária, para isso é importante monitorizar as mesmas e saber exactamente, em tempo real, quais os custos para podermos tomar decisões que permitam reduzir os custos de produção.

É importante inovar, experimentar e avaliar, pois só assim podemos tirar conclusões, fomentar a sustentabilidade, fazendo bem com sentido de rigor e profissionalismo. A utilização do “laser” profile, “boretrak” e do “laser” plano automático no equipamento de perfuração foi, e é, fundamental para o sucesso das práticas adoptadas com vista à melhoria das condições de segurança, aumento da produtividade e redução do custo de produção.

5.1 Localização

A pedreira “Bouça do Menino” localiza-se em Cervães, Concelho de Vila Verde. A área em estudo encontra-se assinalada na Figura 41, tendo-se iniciado na zona A mas desde 2005 que os trabalhos de desmonte de rocha têm vindo a desenvolver-se apenas na zona B, em flanco de encosta.



Figura 41 – Localização das zonas a desmontar em flanco de encosta (<http://earth.google.intl/pt/>).

5.2 Descrição do processo de exploração da pedreira

De modo geral, uma pedreira tem a seguinte sequência de trabalhos: desmatção, limpeza dos solos de cobertura, perfuração de rocha, carregamento de explosivos e detonação, carga e transporte até ao sector de britagem. Existe ainda a necessidade de fragmentar blocos de pedra que por razões limitativas dificultam a entrada da pedra no sector primário (fragmentação secundária).

De seguida, evidenciam-se as metodologias aplicadas com vista à melhoria e optimização. Iniciou-se uma 1ª Fase com o levantamento da situação existente em cada uma das tarefas em estudo, seguindo-se a 2ª fase com a formação dos operadores e a introdução sistemática de novos procedimentos que permitissem obter a melhoria dos resultados do desmonte com recurso a explosivos.

5.3 Avaliação inicial da operação de perfuração (1ª Fase - Diagnóstico)

Numa fase inicial foi realizada uma análise ao estado das zonas desmontadas e à forma de execução das diversas tarefas com vista ao desmonte de rocha com explosivos.

5.3.1 Estado geral das frentes de escavação

As frentes de desmonte não se encontravam bem definidas, não só pelo mau alinhamento da marcação da perfuração, irregular comprimento dos furos em relação à altura da bancada, mas por vezes também pela fracturação do maciço (Figura 42 e 43) e pela inadequada técnica de perfuração e rebentamento utilizada.



Figura 42 - Frentes livres existentes na zona A.

Figura 43 - Frentes livres existentes na zona B.

Existiam algumas irregularidades na zona da soleira, devido não só à pouca inclinação conferida à perfuração mas também pela direcção aleatória imposta pelo operador, já que o equipamento de perfuração não tinha inclinómetro.

As Figuras 44 e 45, evidenciam a zona em que serão implementadas medidas para optimização. Na zona B, em flanco de encosta, não existem bancadas definidas e é onde a queda de blocos e instabilidade das frentes de trabalho são evidentes. Este cenário exige forçosamente maior esforço dos operadores e conduz a menor produtividade do equipamento de trabalho. Por outro lado, a dificuldade em visualizar as frentes de trabalho convenientemente dificulta a perfuração. No caso de distâncias à frente pequenas levará à projecção de blocos, como já aconteceu no passado. Quando acontecem estas projecções indesejáveis, os responsáveis por precaução aumentam a distância à frente, o que levará

obrigatoriamente a um aumento da percentagem de blocos de dimensão superior ao desejado e conseqüentemente, a um aumento dos custos de produção.



Figura 44 – Vista geral da zona B em flanco de encosta na 1ª Fase - Diagnóstico.



Figura 45 – Vista geral da zona B em flanco de encosta na 1ª Fase - Diagnóstico.

5.3.2. Irregularidade das plataformas

As plataformas são bastante irregulares, como se pode ver nas Figuras 46 e 47.



Figura 46 – Irregularidades existentes na zona B (1ª Fase – Diagnóstico).



Figura 47 – Repés existentes.

Na execução de novas perfurações na bancada inferior, caso o operador não proceda à correcção do comprimento do furo em função da altura da bancada, as irregularidades irão permanecer. Como observado na Figura 46 existe dificuldade de drenagem o que conduz a situações de menor eficiência do equipamento de transporte e aumento do custo de manutenção.

Uma das operações que põe em causa a produtividade do centro de produção é a limpeza executada antes de perfurar (Figura 48), nas bancadas onde as irregularidades de comprimento dos furos conduziram a situações de fracturação irregular da soleira. Para evitar o encravamento do furo na zona do emboquilhamento, realiza-se uma limpeza com escavadora, colocando a plataforma ainda mais irregular já que a tendência é limpar até encontrar uma rocha firme. Para além do aumento do custo de produção pelo decréscimo da produtividade, esta operação põe igualmente em causa o sucesso da perfuração e carregamento com explosivos. Na maioria das vezes, existe dificuldade na drenagem face aos desníveis existentes, impossibilitando a perfuração nos pontos correctos, ou possibilitando a circulação directa de água para dentro dos furos baixando o rendimento de perfuração e dificultando a colocação do explosivo.



Figura 48 – Afectação da zona superficial.

Mesmo depois de ultrapassadas todas estas dificuldades, a colocação do explosivo nos furos pode ainda ser afectada pela fracturação na parte superior da superfície da bancada, dificultando não só na passagem dos cartuchos nos primeiros dois metros, como possibilitando a queda de fragmentos dentro do furo que podem por em causa a continuidade da coluna explosiva. Assim, para minimizar a possibilidade de falha da carga de coluna coloca-se um outro detonador na superfície que funciona como segurança, ou seja, se houver uma interrupção do rebentamento, o detonador à superfície virado para baixo detonará, evitando o aparecimento de cartuchos por detonar no escombro fragmentado. Como consequência directa desta medida aumentará os custos de produção.

O ideal para resolver todos estes problemas será monitorizar a perfuração com recurso a “laser”, de forma a obter uma melhor regularidade das plataformas, limitar o uso da escavadora nas limpezas antes de perfurar (Figura 49) e limitar o uso de detonadores de superfície.



Figura 49 – Limpeza antes da perfuração seguinte com conseqüente afectação da zona superficial.

Com plataformas irregulares, o equipamento de carga, neste caso uma pá carregadora sobre rodas, trabalha com dificuldade não só devido à irregularidade das plataformas mas também pela quantidade de grandes de blocos existentes no rebentamento.

Com plataformas regulares, a carga e transporte aumentarão a sua eficiência, outra das situações referenciadas foi o trabalho efectuado pelo equipamento de fragmentação secundária. Normalmente, este equipamento acompanhava a remoção do escombro e ia partindo os blocos grandes à medida que estes apareciam. A escavadora utilizava a ferramenta de impacto (guilho) para movimentar o material. Este é o principal motivo pelo qual o rendimento da fragmentação secundária é relativamente baixo, já que a utilização do martelo de impacto no total das horas possíveis é muito reduzida.



Figura 50 – Pistas de circulação dos dumpers.

As pistas para circulação dos dumpers encontravam-se em bom estado, pois existia o cuidado de as regularizar com frequência (Figura 50). Esta acção é fundamental, pois influencia directamente os tempos de ciclo do equipamento de transporte.

5.3.3 Acções que envolvem a perfuração

Na fase inicial dos trabalhos (1ª Fase - Diagnóstico), a perfuração era executada da seguinte forma:

- Inclinação com tendência para a vertical (de acordo com a sensibilidade do operador);
- A regularidade da plataforma não era bem definida por falta de medição da altura da bancada, o que originava uma dificuldade acrescida ao nível da perfuração;
- Falta da medição prévia dos furos;
- Falta de rigor na marcação da geometria da malha.
- Falta da correcção dos furos na fase de emboquilhamento se necessário;
- Falta de limpeza na boca dos furos;
- Movimentação do equipamento de perfuração na direcção mais desfavorável (tempos de ciclo maiores);
- Nem sempre era limpa a frente livre da bancada, ficando o operador sem a noção real da respectiva distância à frente.

No início de novas perfurações, é essencial que a frente livre esteja visível para que o operador possa colocar os furos com a distância correcta, já que, como

anteriormente referido, a perfuração não rigorosa conduz a irregularidades e má fragmentação que dificultam as operações a jusante. Face à não visualização da frente livre seguinte, o resultado final não é o mais adequado, o que nos leva a um decréscimo de rendimento e aumento do custo devido a:

- Perfuração das irregularidades das plataformas o que obriga o equipamento de perfuração a deslocar-se ao patamar inferior da bancada em que está a perfurar;
- Dificuldades de carregamento dos furos, com realce para os furos de irregularidades de plataforma aumentando o risco de projecções;
- Maior consumo de detonadores e explosivos no carregamento das irregularidades da plataforma;
- Maior dificuldade na fragmentação da rocha;
- Dificuldade no carregamento da rocha com a pá carregadora;
- Instabilidade da frente de trabalho (maior risco para os trabalhadores e equipamentos);
- Vias de acesso irregulares (desgaste dos pneus dos equipamentos, aumento acentuado do tempo de circulação por ciclo, aumento dos problemas mecânicos ao nível das transmissões e amortecedores);
- Dificuldades de drenagem (com consequência no desgaste de pneus, pois não se vêem pedras que danificam os pneus e sistemas de travagem dos equipamentos de carga e transporte);
- Dificuldades em executar a perfuração e possibilidade de introduzir erros na localização dos furos que podem produzir blocos de maior dimensão em relação à dimensão pretendida.

Numa fase inicial, e de uma forma geral, as características geométricas das pegas eram as seguintes: distância à frente 2,5 m e espaçamento entre furos 2,8 m (sem rigor de marcação), para uma altura média de bancada de 9 m.

A altura de bancada não era medida, pois existia quase sempre material na frente livre. A marcação da malha era realizada com uma vara calibrada, processo que gera erros sucessivos na marcação. Como as frentes são irregulares, o operador faz a marcação em função da frente livre distribuindo os furos em quincôncio.

Não existe preocupação em alinhar a fiada mais à retaguarda e compensar as diferenças na fiada da frente com furos auxiliares, pelo que cada disparo vai mantendo a

irregularidade anterior por se executarem sempre fiadas paralelas à frente livre existente. O desmonte é realizado de uma forma elíptica, sem que a última bancada esteja rigorosamente alinhada. Nas Figuras 51 e 52, o operador tem o cuidado em tapar todos os furos com cartão para evitar a queda de material que possa provocar o seu entupimento e inviabilize o carregamento do mesmo. No entanto, para proceder à colocação do explosivo terá que retirar o cartão e fazer passar os cartuchos por material fracturado e instável. A eficiência deste método de protecção da boca dos furos tem reconhecidas limitações em evitar a queda de fragmentos de rocha para o interior do furo durante as operações de carregamento dos explosivos, o que pode originar a interrupção da detonação ao longo da coluna explosiva com consequente aparecimento de cartuchos por detonar misturados com a rocha fragmentada, ou inclusivamente inviabilizar a carga total do furo.



Figura 51 - Furos protegidos com cartão para evitar a queda de material.



Figura 52 - Perfuração desalinhada e com plataforma irregular.

A malha não fica perfeitamente definida, devido à marcação que é feita sem rigor e não existem alinhamentos rectilíneos de marcação que promovam uma fácil marcação em pegas futuras, como também o rigor na execução da direcção e inclinação dos furos.

A inclinação é feita com a sensibilidade do operador, originando desta forma erros sucessivos na perfuração pois o equipamento não tem inclinómetro. O emboquilhamento é feito depois de limpar a zona a perfurar com a enxada. O operador limpa cada novo local antes de deslocar a máquina para nova posição o que conduz a horas de trabalho do motor do equipamento sem realizar trabalho.

Para que o operador consiga o máximo de rigor, deverá ter o cuidado de, ao fazer o primeiro furo e se a bancada estiver regular, marcar a vara da perfuradora com spray num ponto de referência para minimizar os erros de excesso em subfuração.

A fim de se poder avaliar a evolução ao nível de perfuração, foi registada uma análise da situação inicial (Quadro 12).

Quadro 12 – Controlo dos procedimentos da perfuração (1ª Fase – Diagnóstico).

Descrição das tarefas	S	N	Observações
Verificação do diagrama de fogo		X	-
Verificação das condições operacionais da perfuradora	X		-
Verificação dos acessórios de perfuração	X		-
Verificação das condições de segurança da frente livre		X	Não verificado pelo facto de ainda não se encontrar removido todo o material desmontado.
Regularização da plataforma a perfurar		X	Irregular na maioria das situações.
Marcação da geometria da pega com tinta		X	-
Medição da altura de bancada		X	Foi feito em função da pega anterior, pois tinham material à frente.
Limpeza do local do emboquilhamento antes de iniciar a perfuração	X		Realizada à medida que vão sendo efectuados os furos.
Estabilização do carro de perfuração	X		-
Apoiar convenientemente a coluna da perfuradora	X		-
Colocar a coluna na inclinação pretendida		X	É feito por aproximação, de acordo com a experiência do operador, pois o equipamento não tem inclinómetro.
Colocar a coluna na direcção pretendida		X	É feito por aproximação, de acordo com a experiência do operador, pois o equipamento não tem inclinómetro.
Controlar a profundidade do furo de acordo com a altura de bancada		X	Erros sistemáticos face à bancada de cima.
Adequar a força de avanço ao tipo de rocha	X		-
Adequar a rotação ao tipo de rocha	X		-
Correcta união dos acessórios de perfuração	X		-
Verificação do estado de conservação das roscas dos acessórios	X		Só são substituídos acessórios quando partem totalmente.
Verificação do estado do bit		X	Não existe controlo do nº de metros executados.
Descrição do tipo de bit utilizado	-	-	Bit de botões de 76 mm.
Execução da rotatividade das varas		X	-
Funcionamento correcto do captador de poeiras	X		-
Limpeza conveniente do furo antes da retirada dos acessórios	X		-
Limpeza conveniente da boca do furo antes da retirada dos acessórios	X		-
Colocação do tubo de PVC para protecção da boca do furo		X	-
Preenchimento do relatório pelo operador relatando incidentes.		X	-

No intuito de otimizar, os procedimentos anteriores (1ª Fase – Diagnóstico), foram implementados novos procedimentos (2ª Fase – Implementação) a fim de

minimizar os erros associados à falta de conhecimento e rigor, com vista a otimizar a fragmentação e a reduzir o custo (Quadro 13).

Esta fase foi acompanhada da formação aos operadores e responsáveis pelas operações de perfuração e utilização de explosivos.

Quadro 13 – Controlo dos procedimentos da perfuração (2ª Fase – Implementação).

Descrição das tarefas	S	N	Observações
Verificação do diagrama de fogo		X	-
Verificação das condições operacionais da perfuradora	X		-
Verificação dos acessórios de perfuração	X		-
Verificação das condições de segurança da frente livre		X	Não verificado pelo facto de ainda não se encontrar removido todo o material desmontado.
Regularização da plataforma a perfurar		X	Irregular na maioria das situações.
Marcação da geometria da pega com tinta		X	-
Medição da altura de bancada		X	Foi feito em função da pega anterior, pois tinham material à frente.
Limpeza do local do emboquilhamento antes de iniciar a perfuração	X		Realizada à medida que vão sendo efectuados os furos.
Estabilização do carro de perfuração	X		-
Apoiar convenientemente a coluna da perfuradora	X		-
Colocar a coluna na inclinação pretendida		X	É feito por aproximação de acordo com a experiência do operador, pois o equipamento não tem inclinómetro.
Colocar a coluna na direcção pretendida		X	É feito por aproximação de acordo com a experiência do operador, pois o equipamento não tem inclinómetro.
Controlar a profundidade do furo de acordo com a altura de bancada		X	Erros sintomáticos face à bancada de cima.
Adequar a força de avanço ao tipo de rocha	X		-
Adequar a rotação ao tipo de rocha	X		-
Correcta união dos acessórios de perfuração	X		-
Verificação do estado de conservação das roscas dos acessórios	X		Trocam acessórios quando partem totalmente.
Verificação do estado do bit		X	Não existe controlo do nº de metros executados.
Descrição do tipo de bit utilizado	-	-	Bit de botões de 76 mm.
Execução da rotatividade das varas		X	-
Funcionamento correcto do captador de poeiras	X		-
Limpeza conveniente do furo antes da retirada dos acessórios	X		-
Limpeza conveniente da boca do furo antes da retirada dos acessórios	X		-
Colocação do tubo de PVC para protecção da boca do furo		X	-
Preenchimento do relatório pelo operador relatando incidentes.		X	-

5.4 Introdução de melhorias na operação da perfuração

A perfuração é fundamental para sucesso do desmonte de rocha com explosivos, pois se não houver rigor, todo o processo é posto em causa, ou seja, depois de a perfuração ter sido executada, se não tiver sido executada com a direcção, inclinação e profundidade de cada um dos furos, mesmo carregando o explosivo com rigor, já pouco se pode fazer para se garantir uma boa fragmentação. Poderá corrigir-se aumentando a concentração de carga em alguns pontos do furo de acordo com a frente livre, cortando pontualmente alguns cartuchos para se adaptarem ao diâmetro de perfuração e aumentar a concentração de carga na tentativa de colmatar os erros da perfuração. No entanto, a situação óptima será resolver o problema a montante, ou seja, executar a perfuração com o rigor necessário e utilizando equipamento e acessórios adequados. O mesmo se pode dizer no caso dos operadores, pois para que se consigam bons resultados, a estratégia passa sempre por dar formação contínua aos mesmos.

5.4.1 Optimização do processo de perfuração

Em todo este processo foi dada formação aos intervenientes no terreno, nomeadamente, ao gestor do centro de produção, ao encarregado e ao operador do equipamento de perfuração. Ao nível das novas tecnologias implementadas houve uma dificuldade bastante grande em formar alguns operadores devido ao grau de escolaridade dos mesmos e à quase ignorância no que respeita à matemática básica e ao desenho.

A nível de perfuração foram implementados os seguintes procedimentos:

- O gestor do centro industrial fornece ao operador um diagrama de fogo com a planta de distribuição dos furos, referenciados por ordem crescente, com indicação dos parâmetros geométricos da pega (diâmetro do furo, distância à frente, espaçamento, profundidade por furo, direcção e inclinação de cada um deles);
- O diagrama de fogo passou a ser desenhado com geometria rectangular comportando sempre mais que uma fiada de furos, podendo ir até um máximo de 10 fiadas;

5.4.2 Tipos de malhas

No início da recolha da informação era utilizada um diagrama em quincôncio (Figura 53). Posteriormente, com a implementação de novos procedimentos passou-se a utilizar malha rectangular, com vantagens face à colocação dos furos em quincôncio.

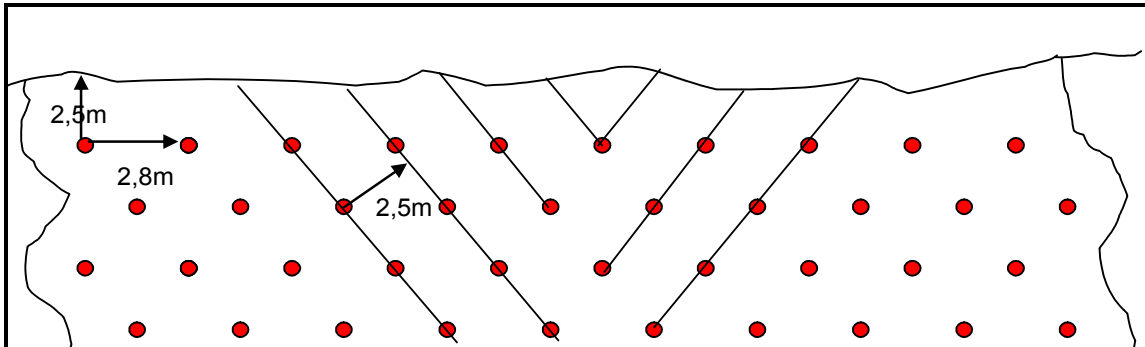


Figura 53 – Malha em quincôncio usada na 1ª Fase.

A geometria rectangular (Figura 54) foi adoptada por razões práticas por se ter verificado uma grande dificuldade dos operadores em ajustarem os parâmetros dos rebentamentos em quincôncio. A geometria rectangular também demonstrou ser a que melhor definia a bancada final em condições de alinhamento e estabilidade.

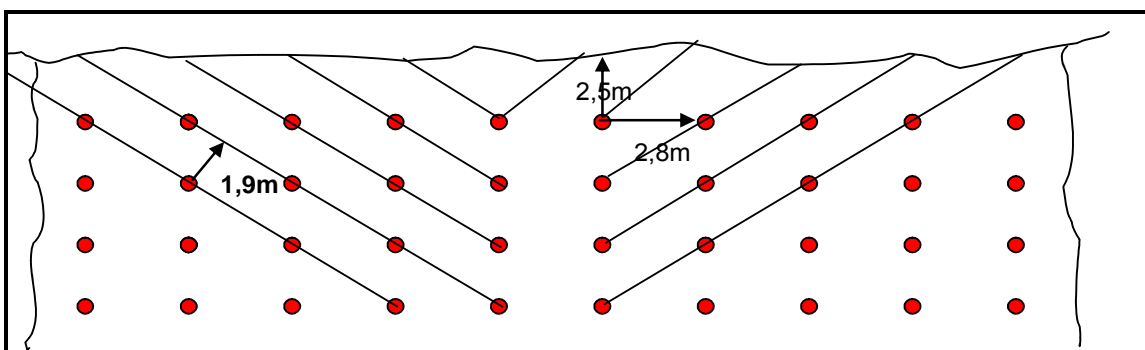


Figura 54 – Malha rectangular usada na 2ª Fase.

Este procedimento foi ainda adoptado, por se ter verificado que usando a temporização em V ou em diagonal a relação espaçamento / distância à frente aumentava, com diminuição da distância à frente livre criada, facto que permite uma maior fragmentação do material desmontado.

Como o desmonte em V obriga a que o material seja projectado um contra o outro, o escombros fica menos espalhado na plataforma e ainda tem uma nova oportunidade de fragmentação pelo choque provocado entre os fragmentos.

Em resumo podemos enumerar as vantagens encontradas na utilização do diagrama com malha rectangular:

- Frente de escavação melhor definida e mais estável;
- Menor percentagem de fragmentação secundária;
- Maior facilidade na marcação da malha com rigor;
- Maior facilidade na ligação dos detonadores;
- Posicionamento e movimentação do equipamento de perfuração facilitada e melhor definição da direcção e inclinação dos furos;
- Maior rendimento de perfuração;
- Aumento do número de fiadas por rebentamento com maior volume desmontado e diminuição da percentagem de fragmentação secundária.

Além disso, quando se aumenta o número de fiadas, diminui-se a probabilidade de projecções, pois de uma forma generalizada as projecções dão-se na 1ª fiada, na frente livre. Como exemplo, no caso de fazermos um desmonte com 4 fiadas iremos ter apenas uma frente livre, enquanto no caso de fazermos 2 fiadas em cada rebentamento para garantir o mesmo volume, iremos ter duas frentes livres com mais blocos soltos que irão aumentar também a fragmentação secundária.

5.4.3 Metodologia de perfuração

A realização correcta da perfuração pressupõe as seguintes tarefas:

- Regularizar e compactar a plataforma em que se pretende executar a perfuração;
- Marcar com tinta bem visível a geometria do rebentamento, (distância à frente e espaçamento), tendo em consideração as irregularidades da frente livre.

- Os furos de cada fiada devem situar-se no mesmo alinhamento e não em quincôncio.
- As irregularidades da frente livre são corrigidas com furos auxiliares, caso seja necessário. Desta forma, na próxima frente livre vamos ter a bancada perfeitamente definida em termos de alinhamento e com a respectiva distância à frente.
- A fiada posterior é realizada com o alinhamento pretendido devendo as correcções ser efectuadas nas fiadas mais à frente;
- Limpar o local de emboquilhamento dos furos antes de iniciar a perfuração;

A malha é marcada com uma fita métrica (Figura 55), evidenciando com tinta os valores característicos a utilizar de forma a facilitar a operação.

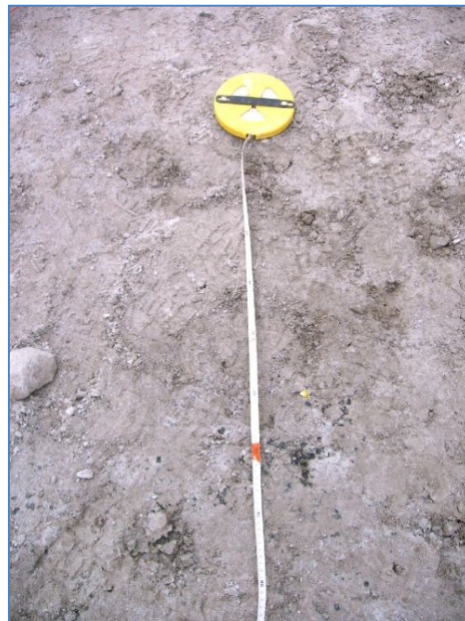


Figura 55 - Fita métrica com marcas realçadas função da malha utilizada.

É importante medir a altura da bancada nos seus pontos notáveis e anotar os valores para utilização na definição do comprimento do furo em cada local. Com este procedimento procura-se a regularização da próxima bancada e, conseqüentemente, a melhoria das condições de operação.

Para melhorar o rigor na profundidade de cada furo, o operador faz inicialmente um furo com o comprimento correcto. Se for caso disso no furo seguinte fará a marcação na vara definindo a altura pretendida.

O operador pode ser ajudado na definição do comprimento do furo com determinada inclinação utilizando a informação apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 – Comprimento do furo em função da altura da bancada (Gomes et al., 2008).

COMPRIMENTO DO FURO EM FUNÇÃO DA ALTURA DA BANCADA																	
ROCHA DURA - INCLINAÇÃO 3:1 - 18,4°																	
Diâmetro	∑lb	V máx	U	Desvios	V prático	E	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
64	1,62	2,35	0,70	0,24	2,10	2,63	5,99	7,04	8,09	9,14	10,19	11,24	12,29	13,34	14,39	15,44	16,49
76	1,94	2,81	0,84	0,26	2,55	3,19	6,14	7,19	8,24	9,29	10,34	11,39	12,44	13,49	14,54	15,59	16,64
89	2,29	3,32	1,00	0,28	3,04	3,80	6,30	7,35	8,40	9,45	10,50	11,55	12,60	13,65	14,70	15,75	16,80

A situação ideal, para máximo rendimento e qualidade na direcção e inclinação dos furos, será colocar o equipamento de perfuração trabalhar paralelo à frente de trabalho. No entanto, na maioria das vezes não é possível fazê-lo na primeira fiada, pois existe perigo de derrocada da frente de trabalho se a distância à frente for pequena (Figura 56).

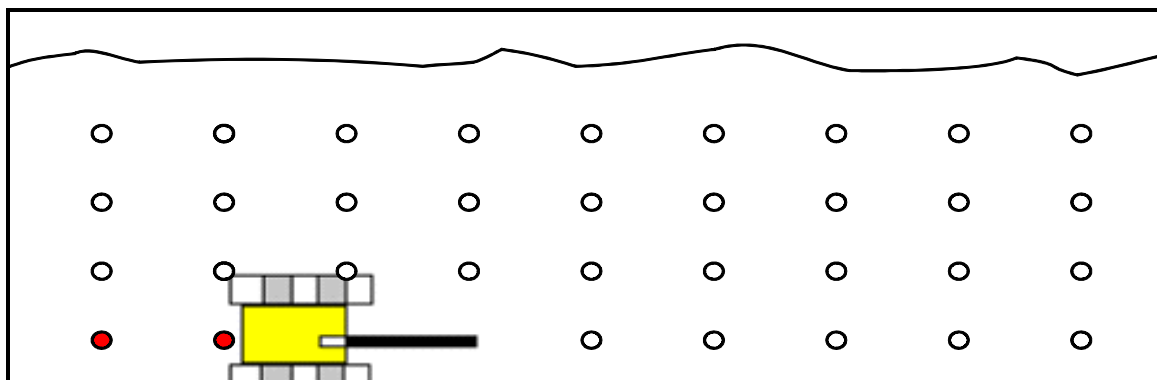


Figura 56 – Sentido de maior produtividade.

Em alternativa, quando é possível realizar um grande número de fiadas de furos para garantir a segurança é preferível trabalhar perpendicular à frente livre (o número de fiadas poderá ir até um máximo de 10) (Figura 57).

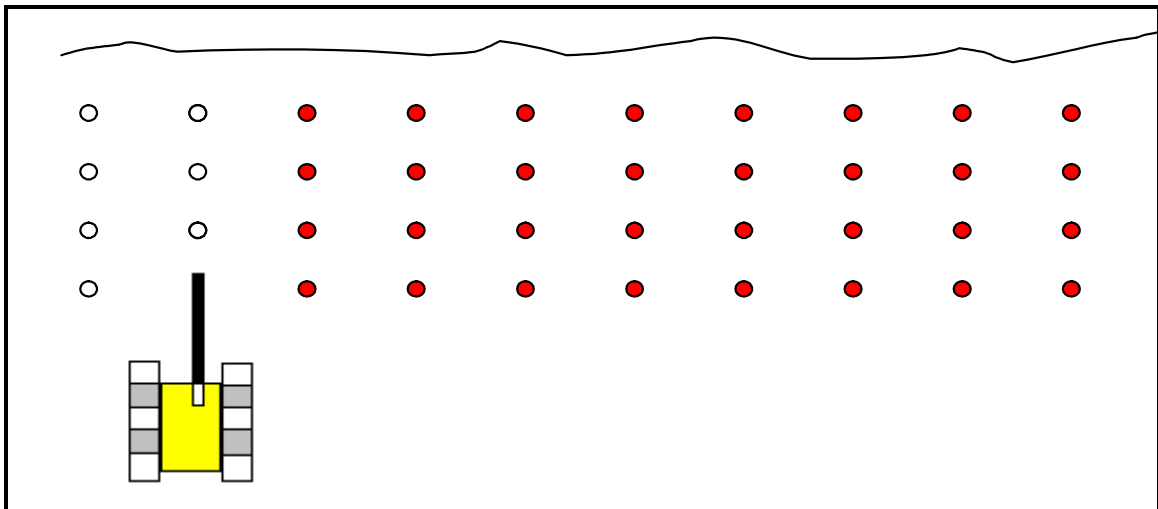


Figura 57 - Posicionamento perpendicular à frente livre.

Nos equipamentos mais antigos e com limitações ao nível dos inclinómetros por obrigarem a que o equipamento esteja perfeitamente perpendicular, ou perfeitamente paralelo, foram utilizados inclinómetros de bolha manuais para que, e em casos pontuais, por exemplo a nível de limitações topográficas e espaciais, se possa perfurar não pondo em causa a qualidade da perfuração.

Quando o inclinómetro do equipamento avaria, pode ser instalado um sistema provisório bastante económico (Figura 58) mas que cumpre com o objectivo pretendido, embora não ao alcance directo do operador desde a cabine de comando.



Figura 58 – Níveis de bolha utilizados.

Com os novos inclinómetros o equipamento de perfuração torna-se mais versátil. Por um lado, pode perfurar em qualquer posição, bastando para isso ajustar os inclinómetros em função da malha (Figura 59), e por outro diminui os tempos de movimentação do equipamento aumentando o seu rendimento.

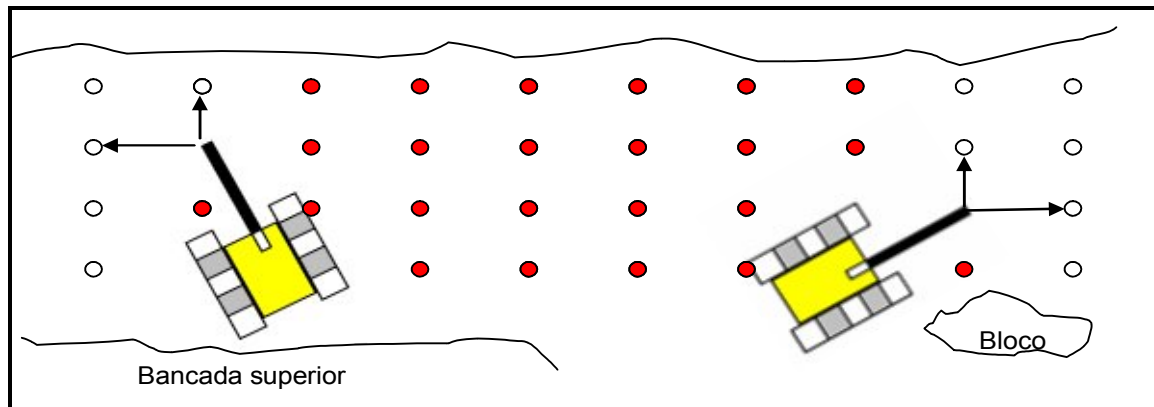


Figura 59 - Posicionamento aleatório auxiliado por inclinómetros.

O sistema de inclinómetros roda em torno de um eixo e adapta-se ao eixo principal da marcação da malha.

A marcação é feita com spray de marcação, como se pode ver na Figura 60.



Figura 60 – Marcação da zona a perfurar.

Os diferentes furos serão executados tendo em atenção:

- A estabilidade do carro de perfuração;
- O apoio conveniente da coluna da perfuradora;
- A inclinação e direcção dos furos (Figura 61);
- O comprimento de cada furo em relação à plataforma da base;
- A pressão de avanço e a rotação mais conveniente ao tipo de maciço rochoso;
- O bom funcionamento do sistema de despoejamento;
- A afiação do bit;
- A rotatividade das varas.



Figura 61 – Equipamento de perfuração com a inclinação e direcção desejada.

São ainda tarefas do operador:

- Assegurar que depois de concluída a perfuração de cada furo este fica convenientemente limpo dos detritos rochosos e em perfeitas condições de carregamento do explosivo;
- Limpar todos os materiais na periferia do furo antes de retirar os acessórios de perfuração;

- Depois de retirar os acessórios de perfuração, proteger a boca do furo com um tubo em PVC (Figura 62) até ao momento de fazer o tamponamento;
- Caso sejam necessários, furos para regularização do pé da bancada, estes devem ser realizados na posição vertical.



Figura 62 – Colocação dos tubos de protecção.

No final do turno, o operador da perfuradora preenche o relatório da perfuração relativo a cada rebentamento, dando indicação das condições particulares que possa ter encontrado para cada furo, nomeadamente:

- Presença de água;
- Existência de falhas com indicação da profundidade;
- Existência de vazios com indicação da profundidade;
- Indicação do limite de transição da natureza da rocha.

Estas indicações são fundamentais para o correcto carregamento dos explosivos tendo em vista o sucesso do desmonte e a minimização das projecções.

A Figura 64, apresenta a evolução dos trabalhos na zona B em flanco de encosta ao longo do tempo, evidenciando os resultados das alterações de processos implementadas.



Figura 63 – Evolução dos trabalhos em flanco de encosta na zona B (vista superior).



Figura 64 – Evolução dos trabalhos em flanco de encosta na zona B (vista inferior).

Com frentes muito irregulares (Figura 63) e apesar das melhorias introduzidas existiu uma dificuldade muito grande no alinhamento das frentes e no dimensionamento da respectiva distância à frente. Assim, só quando todas as frentes estiverem perfeitamente definidas é que verdadeiramente se conseguirá o melhor custo de produção quando comparado com a situação inicial (Figuras 65 e 66).



Figura 65 – Definição das frentes de trabalho em flanco de encosta na zona B (vista frente).



Figura 66 – Definição zona B (lado esquerdo) versus antiga exploração (lado direito).

5.4.4 Aumento do volume dos rebentamentos e número de fiadas

Salvo casos especiais, cada rebentamento procurará desmontar no mínimo o volume equivalente a uma semana de trabalho. Inicialmente, eram executadas no máximo duas fiadas, o que, em termos de volume a desmontar limitava de certa maneira a produção. Com as melhorias adoptadas passaram a executar-se em média 5 a 6 fiadas, tendo inclusive sido executados rebentamentos com 10 fiadas. Este aumento influenciou directamente todo o processo produtivo, permitindo uma melhor gestão dos recursos, aumento da produtividade com a diminuição dos tempos mortos, e menor número de movimentações dos equipamentos sempre que fosse necessário disparar um rebentamento.

5.4.5 Carga dos rebentamentos

A correcta colocação da carga de explosivo nos furos é fundamental para se obterem os resultados pretendidos. Para isso é necessário ter noção da responsabilidade na colocação do explosivo em cada um dos furos, nomeadamente no que respeita à identificação de desvio dos furos, zonas de menor resistência, falhas ou fracturas com preenchimento pouco competente. O responsável pela colocação do explosivo nos furos deverá ser informado das anomalias detectadas na perfuração e ajustar a composição da carga de acordo com as condições particulares do local.

5.5 Avaliação inicial da operação de carregamento com explosivos

5.5.1 Acções que envolvem a carga de explosivos

A fim de se poder avaliar a evolução ao nível do carregamento com explosivos, foi registada uma análise da situação inicial (Quadro 15).

Quadro 15 – Controlo dos procedimentos de carregamento com explosivos (1ª Fase – Diagnóstico).

Descrição das tarefas	S	N	Observações
Verificação as condições de segurança da frente livre		X	-
Verificar o comprimento dos furos		X	-
Desencravar os furos se necessário		X	Não foi necessário.
Verificar a presença de água e a sua retirada se necessário		X	O operador tinha noção que na zona em questão não existia água.
Isolar a área da presença de equipamento e pessoas		X	-
Retirar o tubo de protecção depois de terminar a colocação do explosivo		X	Não usam, usam cartões das caixas de explosivos.
Distribuição da quantidade de explosivo em cada furo		X	Vão distribuindo à medida que vão carregando.
Distribuição dos detonadores de acordo com o planeado		X	-
Execução do furo para o detonador com punção de madeira	X		Usam um punção em plástico.
Colocação correcta do detonador no interior do cartucho	X		-
Fixação correcta do fio do detonador ao cartucho	X		-
Introdução correcta dos cartuchos no furo	X		-
Uso de atacador para colocação dos cartuchos		X	Não foi necessário.
Uso de segundo detonador para assegurar a detonação		X	Não foi necessário.
Utilização de cordão detonante para iniciação axial		X	Não usam.
Verificação do estado dos detonadores antes do tamponamento	X		-
Utilização do tamponamento com material granular	X		Usam material 4/6 mm.
Retirar todos os materiais do local	X		-
Recolha das embalagens de explosivo	X		-
Destruição das embalagens contaminadas com explosivo	X		-
Colocação do explosivo danificado topo de uma coluna de explosivo	X		-
Utilização de temporização em V	X		Têm o cuidado de detonar um furo de cada vez.
Utilização da temporização em diagonal		X	-
Indicação de furos para regularização do pé		X	-
Preenchimento do relatório pelo operador		X	-

Posteriormente, e com base na descrição das tarefas indicadas no Quadro 15, foram implementados novos procedimentos de carregamento com explosivos (Quadro 16), para uniformização e optimização de procedimentos, e minimização dos erros.

Quadro 16 – Controlo dos procedimentos de carregamento com explosivos (2ª Fase – Implementação).

Descrição das tarefas	S	N	Observações
Verificação as condições de segurança da frente livre		X	-
Verificar o comprimento dos furos	X		Antes de efectuarem o carregamento.
Desencravar os furos se necessário	X		Antes de darem início à carga dos furos.
Verificar a presença de água e a sua retirada se necessário	X		Só quando necessário.
Isolar a área da presença de equipamento e pessoas	X		Colocação de uma placa de aviso.
Retirar o tubo de protecção depois de terminar a colocação do explosivo	X		-
Distribuição da quantidade de explosivo em cada furo	X		-
Distribuição dos detonadores de acordo com o planeado	X		-
Execução do furo para o detonador com punção de madeira	X		-
Colocação correcta do detonador no interior do cartucho	X		Detonação de baixo para cima.
Fixação correcta do fio do detonador ao cartucho	X		-
Introdução correcta dos cartuchos no furo	X		Garantir o contacto entre cartuchos.
Uso de atacador para colocação dos cartuchos	X		-
Uso de segundo detonador para assegurar a detonação	X		Utilizar apenas no caso de dúvida.
Utilização de cordão detonante para iniciação axial		X	Não usam.
Verificação do estado dos detonadores antes do tamponamento	X		-
Utilização do tamponamento com material granular	X		Usam material 4/6 mm.
Retirar todos os materiais do local	X		-
Recolha das embalagens do explosivo	X		-
Destruição das embalagens contaminadas com explosivo	X		-
Colocação do explosivo danificado topo de uma coluna de explosivo	X		Sempre que estejam danificados.
Utilização de temporização em V	X		Depende da frente livre.
Utilização da temporização em diagonal		X	Depende da frente livre.
Indicação de furos para regularização do pé		X	Não foi necessário.
Preenchimento do relatório pelo operador		X	-

5.5.2 Temporização dos furos

Cada furo era iniciado com um detonador não eléctrico de 400 ms, sendo a temporização executada com ligadores de 17 ms e 25 ms na superfície.

5.5.3 Disparo dos rebentamentos

Os rebentamentos na 1ª Fase – (Diagnóstico), eram relativamente pequenos, e realizavam-se dois ou três rebentamentos por semana, detonando em média cerca de 1200 kg e apenas duas fiadas. Posteriormente, com as melhorias adoptadas o valor médio a desmontar por rebentamento passou para cerca de 3000 kg.

A iniciação do rebentamento utilizava detonador pirotécnico nº 8 com mecha lenta, tendo posteriormente sido substituído por detonador eléctrico para melhor controlo do momento do rebentamento, já que na proximidade existe uma estrada onde, por razões de segurança, é necessário interromper o trânsito.

5.6 Implementação de melhorias na operação de carregamento de explosivos

De facto esta operação, assim como a operação anterior, deverá ser acompanhada por técnicos qualificados face à responsabilidade inerente que é lidar com substâncias explosivas, sem nunca descurar a segurança das pessoas e bens. Por vezes a dificuldade de carregamento dos furos é grande, não só por problemas relacionados com a existência de água nos furos, fracturação do maciço, ou fragmentos de rocha obstruído parcialmente o furo. Nestes casos exige-se uma atitude profissional de modo a garantir que os furos são devidamente carregados não permitindo que as dificuldades encontradas possam interferir no cumprimento dos procedimentos.

5.6.1 Optimização do carregamento com explosivos

O diagrama de fogo fornecido pelo responsável do centro de produção quantifica a quantidade de explosivo em cada furo bem como distribuição da temporização dos detonadores e esquema de iniciação do rebentamento.

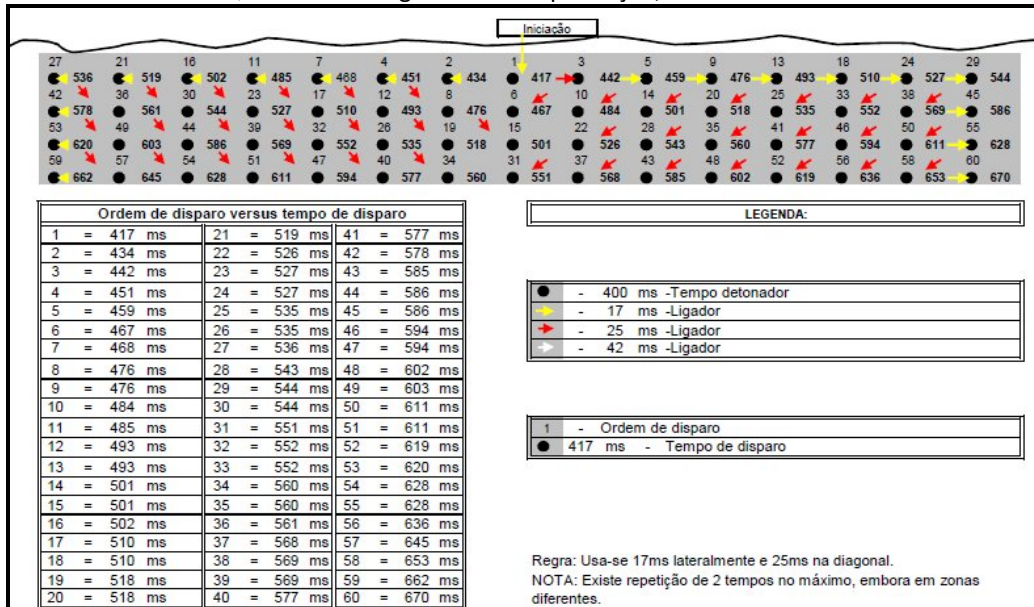
O plano da carga terá, entretanto, sido corrigido em função das indicações particulares fornecidas pelo operador do equipamento de perfuração.

A colocação das cargas e a temporização para rebentamento (utilizando detonadores não eléctricos) deve atender à minimização das vibrações e ao risco de projecções. Assim, o diagrama a ser implementado deverá garantir a máxima fragmentação do material, pela detonação de um furo em cada tempo.

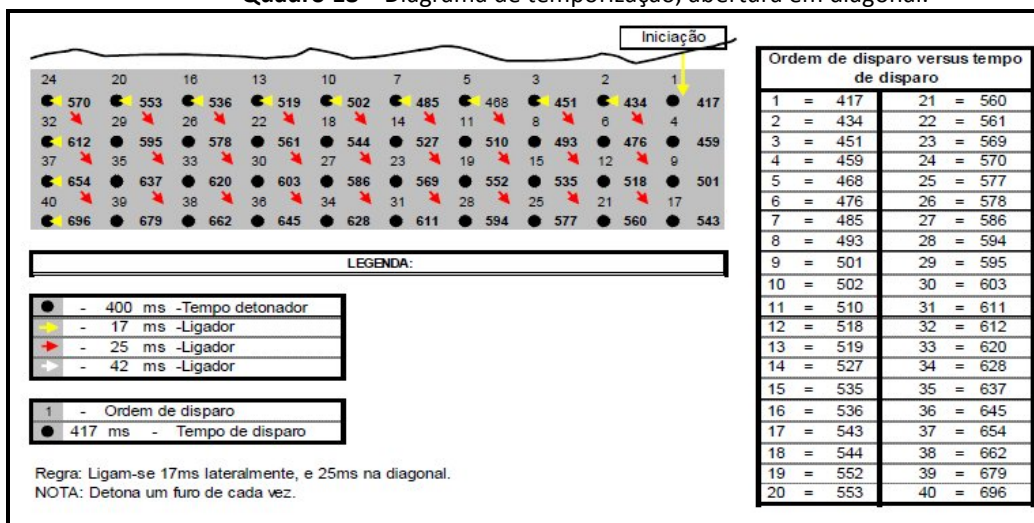
5.6.2 Diagramas de fogo implementados

Foram implementados 2 diagramas de temporização (Quadro 17 e 18), de forma a uniformizar os procedimentos de ligação e eliminar erros de ligação. Desta forma, consegue-se garantir a uniformização da ligação dos rebentamentos, para que se possam tirar conclusões relativas ao resultado final.

Quadro 17 – Diagrama de temporização, abertura em v.



Quadro 18 – Diagrama de temporização, abertura em diagonal.



5.6.3 Acções necessárias para um correcto carregamento com explosivos

A realização correcta do carregamento dos explosivos pressupõe as seguintes tarefas:

- Cumprir a legislação aplicável ao manuseamento de substâncias explosivas;
- Verificar o comprimento de todos os furos antes de iniciar a distribuição dos explosivos, com recurso a uma corda calibrada com um peso (Figura 67); Foi colocado um peso numa corda marcada de metro em metro, com a função de desencravar um furo com pedras antes de se iniciar o carregamento.
- Desencravar os furos com o auxílio de um limpador ou utilizando o carro de perfuração. Nunca utilizar o carro de perfuração depois de já ser ter iniciado o carregamento dos explosivos. Para apoio no carregamento com explosivos, foram feitas varas (Figuras 68 e 69) para desencravar o explosivo nos furos em caso de necessidade.



Figura 67 - Peso com uma corda calibrada.



Figura 68 – Varas para desencravamento dos cartuchos de explosivo nos furos.



Figura 69 – Vara para remoção de cartuchos alojados nos furos.

- Verificar a presença de água e proceder à sua retirada, se possível;
- Retirar o tubo de protecção da boca do furo só depois de ter terminado o carregamento;
- Isolar a área de operação do carregamento dos explosivos a equipamentos e pessoas que não estejam ligadas à função (Figura 70);



Figura 70 – Placa de sinalização.

- Distribuir os explosivos na quantidade prevista para cada furo (Figura 71);



Figura 71 – Distribuição do explosivo e acessórios de detonação.

- Distribuir o explosivo de acordo com o diagrama de fogo e colocar o detonador no cartucho do fundo do furo, usando um punção (Figura 72) na realização do furo para o seu alojamento;



Figura 72 – Escorvador.

- Colocar o detonador com a extremidade explosiva voltada na direcção da coluna explosiva;
- Fixar o fio do detonador com duas laçadas no cartucho ou com a utilização de fita isoladora (Figura 73);



Figura 73 – Colocação do explosivo dentro da cada um dos furos a detonar.

- Colocar cada cartucho de explosivo apenas depois do anterior ter contactado com o topo da coluna explosiva;



Figura 74 – Uso das varas de apoio ao carregamento para garantir o encosto dos cartuchos dentro do furo.

- Usar um atacador de madeira ou em plástico anti-estático para a colocação dos cartuchos na posição desejada (Figura 75);

- Caso exista água no furo, colocar os cartuchos suavemente e aguardar alguns segundos para permitir que o cartucho desça dentro de água até ao ponto desejado. Existindo possibilidade e meios técnicos o ideal será retirar a água do furo;



Figura 75 – Atacador utilizado.

- Verificando-se a impossibilidade de contacto entre dois cartuchos da mesma coluna explosiva, usar um novo detonador para iniciação da parte deslocada;
- Em desmonte de rocha muito diaclasada usar um detonador auxiliar colocado no cartucho próximo da boca do furo;
- A utilização de cordão detonante deve ser restringida a situações de excepção. Quando se utiliza o cordão detonante como auxiliar da iniciação, este deve ser amarrado ao cartucho que contém o detonador;
- Verificar o estado dos detonadores e da ligação antes de proceder ao tamponamento;
- Realizar o tamponamento dos furos utilizando material granular do tipo (6/14) mm;
- Retirar do local, todos os materiais existentes;
- Recolher as embalagens dos explosivos e transportá-las para o eco ponto da pedreira;
- As embalagens contaminadas com explosivo devem ser destruídas no local por queima;

- O explosivo danificado deve ser destruído por colocação na parte superior da coluna de explosivo do furo;
- A temporização do rebentamento deve criar nova frente livre em V ou, em alternativa, em diagonal com a frente inicial, contrariando o efeito da fracturação natural do maciço rochoso. Em qualquer dos casos, a iniciação deve realizar-se na parte da frente menos confinada;
- Os furos para desmorte de irregularidades da plataforma devem ser iniciados com o tempo mais baixo.

Estes procedimentos foram aplicados em todos os rebentamentos. Foi dada também formação ao responsável do centro de produção, ao Encarregado, e ao operador do equipamento de perfuração e operador de explosivo.

5.7 Avaliação dos resultados do rebentamento

No desmorte de rocha em pedreiras, pretende-se que o explosivo contribua para uma excelente fragmentação para evitar o sobrecusto, nomeadamente na fragmentação secundária dos blocos de maior dimensão.

5.8 Acções que envolvem a carga do material

O carregamento do escombro para os dumpers é feito com uma pá carregadora sobre rodas que vai percorrendo a frente de desmorte à medida que o equipamento de fragmentação secundária se vai deslocando, escavando e fragmentando o material (Figura 76).



Figura 76 – Decréscimo de produtividade face ao desmonte efectuado na 1ª fase.

Nestas circunstâncias existe uma quebra substancial na produtividade dos equipamentos de carga face aos blocos grandes existentes e às irregularidades na plataforma provocadas pelo mau desempenho do rebentamento face aos erros cometidos na perfuração e utilização do explosivo (Figura 76).

Depois de postas em prática as medidas de optimização, os resultados são motivadores, sendo visível uma fragmentação homogénea e uma boa movimentação do material (Figura 77).



Figura 77 – Boa movimentação dos rebentamentos e definição das meias-canais na zona A. A definição das meias canas resulta essencialmente do alinhamento dos furos e da temporização utilizada.

A boa fragmentação apresentado nas Figuras 78 e 79 demonstra uma maior produtividade face à melhor trabalhabilidade do material permitindo maior produtividade dos equipamentos de carga.



Figura 78 – Boa fragmentação zona A permite que a pá carregadora entre no rebentamento com facilidade.



Figura 79 – Boa fragmentação zona A depois de inseridas as medidas de optimização. É visível a perfeita deslocação do material relativamente à nova frente livre.

5.9 Utilização da pá carregadora versus escavadora no carregamento do material

A eficiente utilização de uma pá carregadora sobre rodas para carga do material desmontado, exige condições particulares no resultado do desmonte no que respeita à fragmentação e espalhamento do material. Quando o rebentamento não movimentava a rocha convenientemente, o trabalho da pá carregadora é penoso, pouco produtivo e exigente no consumo de energia e custo de manutenção. A solução para este caso passa pela utilização de uma escavadora sobre rastos, equipamento com maior poder de penetração em pilhas de escombros compactas. Existem, no entanto, vantagens e inconvenientes na utilização de cada um dos equipamentos:

As principais vantagens da pá carregadora face à escavadora são as seguintes:

- Movimentação mais rápida de bancada em bancada;
- Menores custos de manutenção;
- Remoção dos blocos de maior dimensão para uma zona onde posteriormente se realize a fragmentação secundária com maior rendimento e sem pôr em causa a operação de carga;

- No final do rebentamento, o posicionamento e a carga é quase imediata com a vantagem da pá carregadora poder limpar a plataforma dos fragmentos espalhados pelo rebentamento;
- Consegue substituir a pá carregadora da expedição no caso de avaria;
- O abastecimento de combustível é mais rápido já que a pá se desloca ao depósito para abastecimento.

A implementação de um sistema de controlo da perfuração e carga dos explosivos melhorou significativamente o nivelamento da plataformas permitindo melhorar as condições de operação da pá carregadora e dos dumpers (Figuras 80 e 81).



Figura 80 – Cortes bem definidos e sem irregularidades da plataforma.



Figura 81 – Maior produtividade dos equipamentos.

As Figuras 82 e 83 evidenciam o resultado de um rebentamento executado com base no rigor da perfuração utilizando o “laser” profile e o “boretrak” e o rigor no carregamento com explosivos. A forma da pilha de escombro e a completa separação desta, da frente livre, evidenciam a correcta temporização dos furos (abertura em V).



Figura 82 – Boa fragmentação e movimentação do escomburo.



Figura 83 – Adequada temporização das diferentes fiadas de furos.

As figuras 84 e 85 evidenciam o rigor e o resultado final das bancadas em flanco de encosta.



Figura 84 – Cortes bem definidos depois da implementação dos novos procedimentos.



Figura 85 – Visualização das bancadas em Dezembro de 2009 na zona B.

5.10 Visualização 3 D da pedreira no início e final do estudo

Quando se iniciou a recolha de dados para o estudo apresentado, a frente da pedreira na zona B apresentava-se com mau desenvolvimento e bancadas mal definidas. A cartografia realizada naquela data depois de tratada no programa surfer, permite o estabelecimento de modelos digitais de terreno, tal como se poderá visualizar na Figura 86.

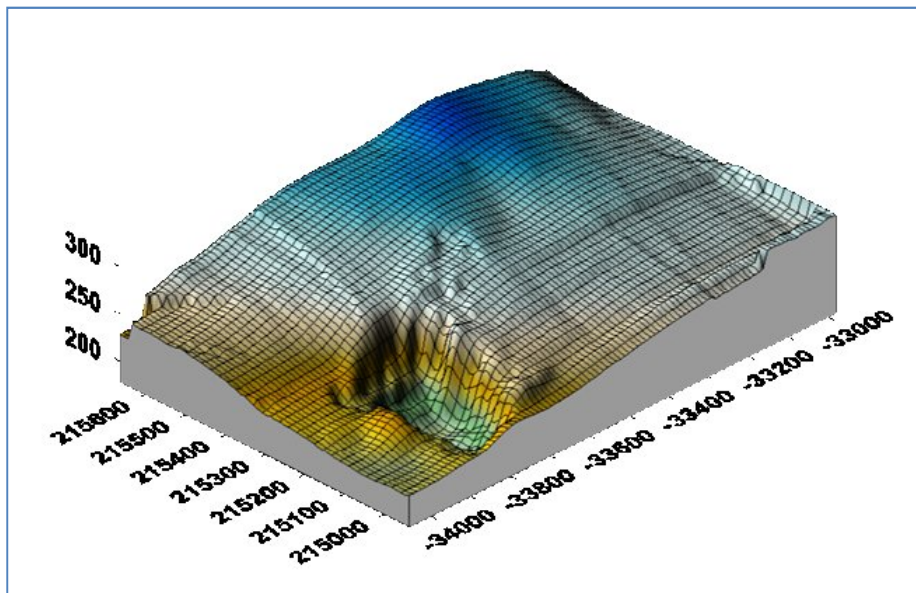


Figura 86 – Modelação 3 D inicial.

Posteriormente, depois de implementado o programa de controlo e optimização da perfuração, a diferença no desenvolvimento da pedreira e formação de bancadas é notável como se pode observar na Figura 87.

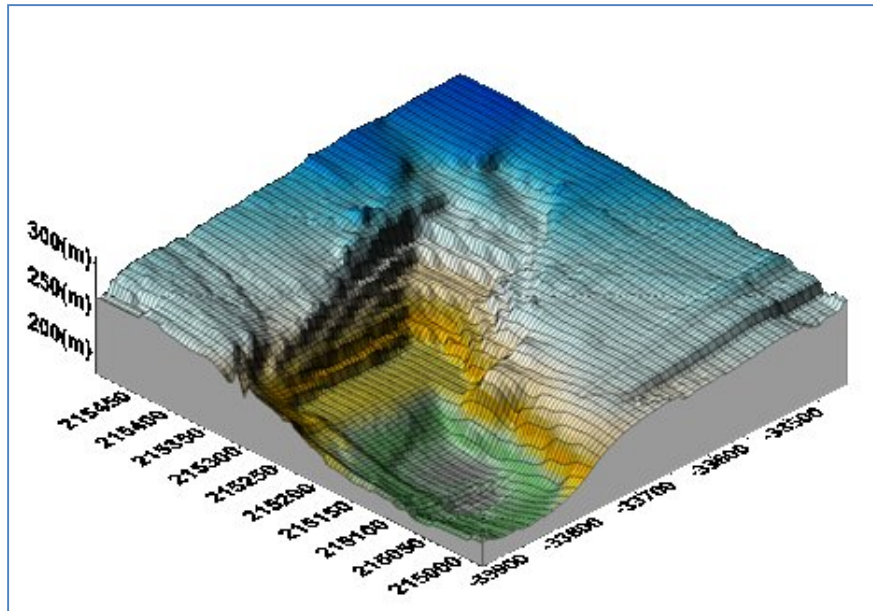


Figura 87 – Modelação 3 D final.

Na Figura 88 representa-se a situação anterior com as curvas de nível e na Figura 89 a uma vista aérea da configuração final.

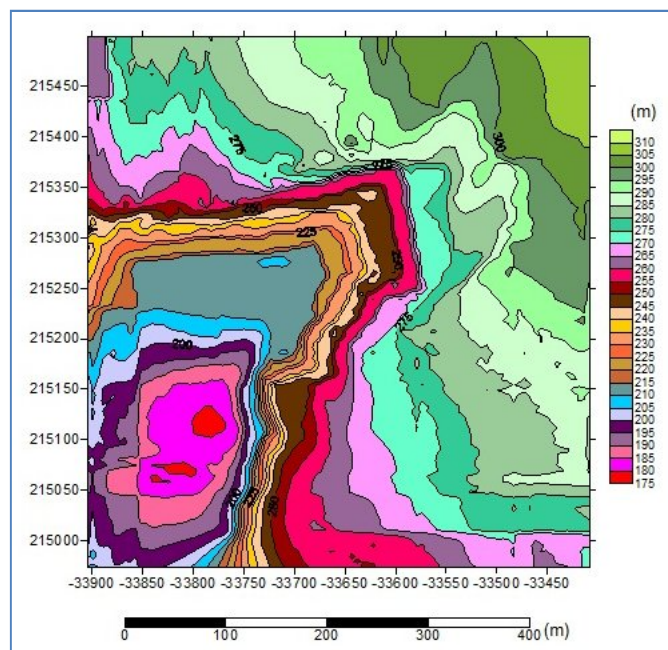


Figura 88 – Cartografia final.



Figura 89 – Vista aérea final.

5.11 Fragmentação secundária

A fragmentação secundária é uma das operações mais dispendiosas contribuindo grandemente para o custo relativo à fragmentação. Esta operação deverá ser monitorizada de forma a encontrar a melhor metodologia de execução que garanta a minimização dos custos de produção.

5.12 Acções que envolvem a fragmentação secundária

No início do estudo, verificava-se que o equipamento da fragmentação secundária, movimenta o material à medida que este aparecia acessível na frente e colocava-se em posição que permitisse a sua fragmentação. No entanto, esta prática para além de reduzir o rendimento da operação, acarreta um desgaste acrescido das ferramentas de demolição e do corpo do martelo, podendo mesmo provocar desgaste nos retentores e casquilhos com consequências gravosas para a vida útil do equipamento.

Frequentemente, aparecem blocos demasiado grandes para a capacidade de demolição do martelo, o que, para além de aumentar o custo da fragmentação secundária também provoca um decréscimo de rendimento no carregamento do escomburo por atravancamento da frente para operação da pá carregadora. Na Figura 90 pode-se observar a tentativa de fragmentação de um bloco de grande dimensão que pela sua configuração e volume causará dificuldade em obter

superfícies de apoio da ferramenta e a energia paliçada poderá não ser suficiente para criar as tensões necessárias ao estabelecimento de fracturas. Para estes casos extremos, a existirem, deverá ser utilizada uma pequena carga de explosivo para uma primeira fragmentação.



Figura 90 – Bloco sobre o qual se iniciou a fragmentação secundária.

5.13 Optimização da fragmentação secundária

A percentagem de blocos de calibre superior ao pretendido deverá ser minimizada no processo de desmonte com explosivos. No entanto, sendo necessário proceder à fragmentação secundária com martelo de impacto é, ainda assim, necessário procurar reduzir o número de horas de trabalho pelo aumento da produtividade.

Assim, dependendo dos equipamentos de carga da respectiva pedreira, é possível separar os blocos de maior dimensão para uma zona onde posteriormente se fará a respectiva fragmentação secundária, efectuando menos horas de trabalho, pois o material está concentrado apenas numa determinada zona. A carga é feita com uma pá carregadora na frente de pedreira, que é conjugada com as cargas dos dumpers, seleccionando os blocos nos tempos de espera dos equipamentos de transporte.

Para o controlo da eficiência, são verificadas diariamente as horas de martelo e as horas de equipamento e determinada a eficiência pela relação dos dois valores. Determina-se o rendimento avaliando os m³ de blocos fragmentados por hora.

Uma das formas encontradas para minimizar o uso da escavadora enquanto máquina de fragmentação secundária, foi a separação dos blocos com a pá carregadora, à medida que aqueles iam aparecendo na pilha de escombro. Desta forma, com os blocos colocados próximo uns dos

outros, permitiu aumentar a relação horas de martelo / horas de equipamento, traduzindo-se em maior quantidade de m^3 fragmentados por hora (Figura 91).



Figura 91 – Separação dos blocos para fragmentar com vista ao aumento da produtividade.

Quando existem blocos de dimensão superior a $1,5 m^3$, o melhor é fazer um pequeno furo para posterior colocação de uma pequena carga explosiva, geralmente inferior a $100g/m^3$. Caso contrário o desgaste das ferramentas serão substanciais, para além de baixar a produtividade com o consequente aumento do custo.

Capítulo 6 – Análise dos dados e resultados

6. Análise dos dados e resultados

A análise dos dados e resultados tem como referência o ano de 2004 e foi sistematizado o tipo de análise para que os valores fossem comparáveis com os anos seguintes. O estudo incide na monitorização das condições e custo das operações de perfuração, explosivos e acessórios de detonação e fragmentação secundária.

6.1 Perfuração

6.1.1 Rendimento de perfuração

O rendimento de perfuração face a 2004 aumentou em média 10,4% nos últimos 4 anos do estudo (Quadro 19). Este aumento ficou a dever-se às metodologias aplicadas ao longo do tempo, à utilização de novo equipamento de perfuração e utilização dos sistemas “laser”. O aumento médio ao longo de 4 anos foi de 2,9 m/hora.

Quadro 19 – Variação do rendimento de perfuração no período de análise.

PERFURAÇÃO / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	Média
RENDIMENTO	m/hora	28,09	31,82	28,13	31,91	32,22	31,0
VARIAÇÃO FACE A 2004	m/hora	-	3,73	0,04	3,82	4,13	2,9
VARIAÇÃO FACE A 2004	%	-	13,3%	0,1%	13,6%	14,7%	10,4%

A taxa de perfuração média passou de 28,1 m/hora em 2004 para 31 m/hora durante o período em análise.

O Gráfico 1 revela que nos anos seguintes à implementação dos novos métodos de trabalho, existiu uma evolução positiva, com excepção do ano de 2006 com o rendimento afectado pelo desenvolvimento de novas bancadas, correcções do nível das plataformas e adaptação do operador aos novos equipamentos e tecnologias.

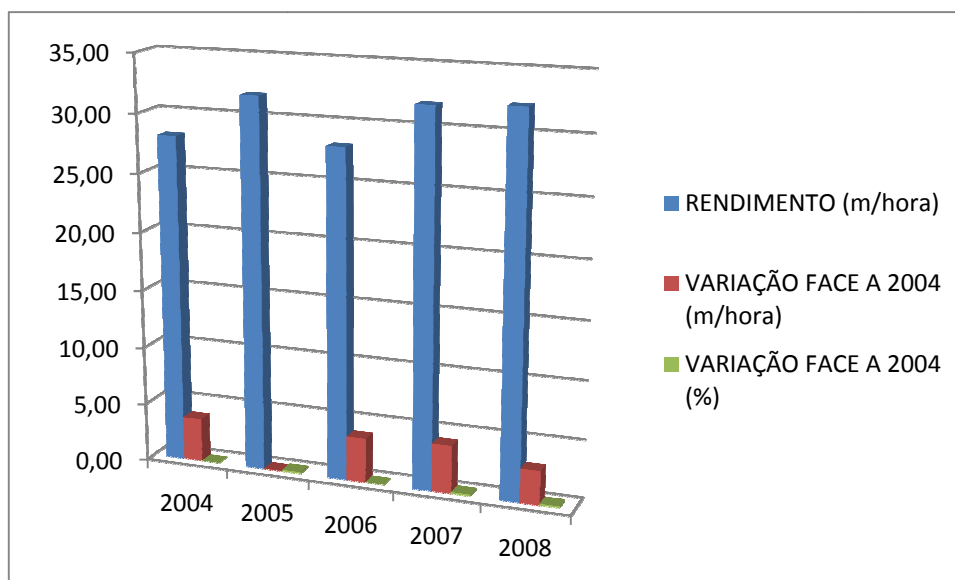


Gráfico 1 – Variação do rendimento de perfuração no período em análise.

6.1.2 Perfuração específica

Os valores da perfuração específica aumentaram face ao ano de referência, tendo baixado ligeiramente apenas em 2006 (Quadro 20). Este facto fica a dever-se ao rigor implementado na marcação e execução dos furos, já que até ao final de 2004 não existia o cuidado de adaptar o diagrama à geometria da bancada.

Quadro 20 – Variação da perfuração específica ao longo do período em análise.

PERFURAÇÃO / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	MÉDIA
PRODUÇÃO	t	622.541	536.345	437.717	368.965	356.288	424.829
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	(m/m ³)	0,127	0,155	0,120	0,152	0,144	0,143
VARIAÇÃO FACE A 2004	(m/m ³)	-	0,028	-0,007	0,025	0,017	0,016
VARIAÇÃO FACE A 2004	(%)	-	22%	-6%	20%	13%	12%

De acordo com o Quadro 20, o valor da perfuração específica subiu consideravelmente no ano de 2005, face ao valor de referência, facto já explicado anteriormente. No entanto em 2006, em função dos resultados de fragmentação e alinhamento das bancadas já obtido, decidiu-se aumentar a área desmontada por furo, passando a perfuração específica para um valor 6% inferior ao verificado em 2004.

Em 2007 foi decidido voltar a diminuir a área desmontada por furo o que teve como consequência directa o aumento da perfuração específica para um valor ligeiramente inferior ao verificado em 2005. Desde então, e até final do período em análise, a perfuração específica diminuiu ligeiramente até estabilizar próximo de 0,144 m/m³, em grande parte conseguido pelo aumento da altura das bancadas e comprimento dos furos que permite minimizar o efeito da subfuração.

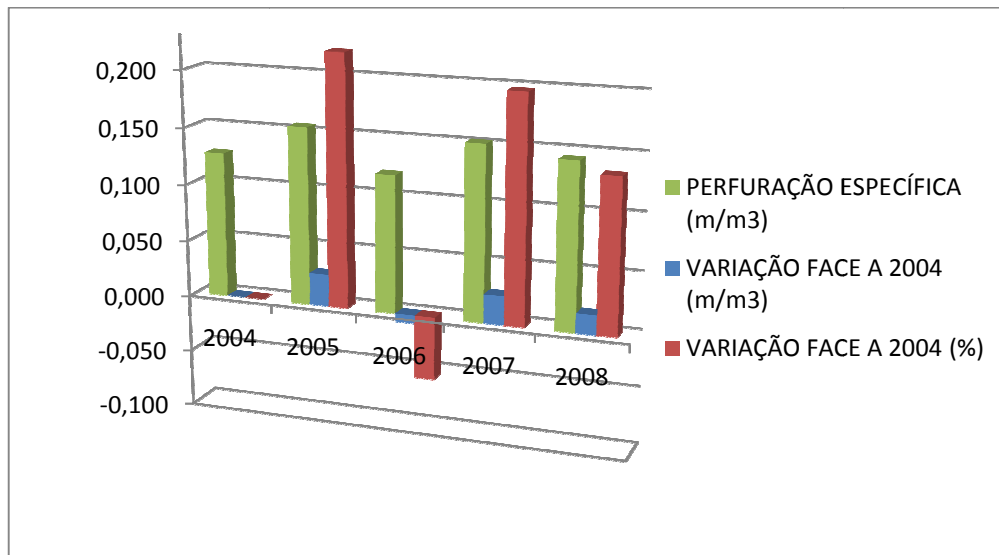


Gráfico 2 – Evolução da perfuração específica ao longo do período em análise.

6.1.3 Relação entre o comprimento do furo e carga de explosivo

O comprimento médio do furo é também importante na relação entre a carga de fundo e a carga de coluna, já que na prática, todo o comprimento aumentado será preenchido com carga de coluna, explosivo de custo inferior que possibilita diminuir o custo por m³ desmontado. No Quadro 21 é possível verificar essa variação que em média foi 32% tendo mesmo atingido os 51%, em 2008.

Quadro 21 – Variação do comprimento da carga de coluna em relação ao comprimento do furo.

CARGA DE COLUNA / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	MÉDIA
COMPRIMENTO MÉDIO DO FURO	(m)	9,02	9,91	11,87	12,21	13,63	11,9
VARIAÇÃO FACE A 2004	(m)	-	0,89	2,85	3,19	4,61	2,9
VARIAÇÃO FACE A 2004	(%)	-	10%	32%	35%	51%	32%

No Gráfico 3 é possível verificar o aumento progressivo do comprimento da carga de coluna ao longo do período em análise, cuja média se situou nos 23%, o equivalente a 2,88 m.

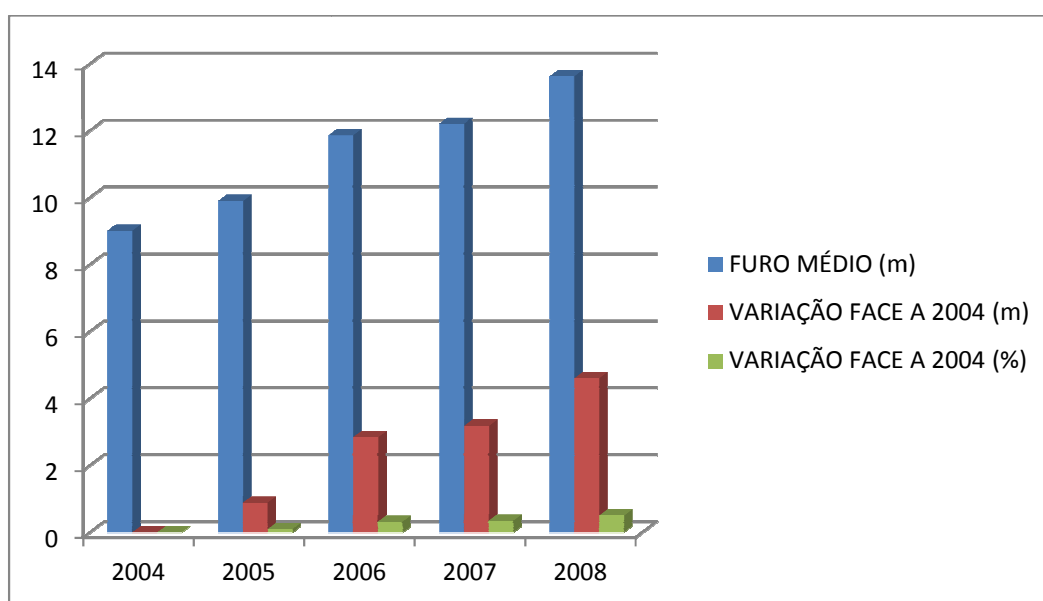


Gráfico 3 – Variação do comprimento da carga de coluna em relação ao comprimento do furo.

6.1.4 Custos de perfuração

Os valores no Quadro 26 foram recolhidos ao longo do período em análise. Para não influenciar os valores e o resultado da análise que se pretende foi definido um custo fixo para a operação de modo a ser possível relacionar o impacto das medidas adoptadas no custo de produção.

Face a 2004, os valores em custo aumentaram em média, cerca de 750 €/ano, no total dos 4 anos 3001 €. Os anos de 2005 e 2007 têm efectivamente um custo superior ao de 2004, no entanto em 2008, este valor já é inferior ao ano de referência (Quadro 22).

Quadro 22 – Variação do custo de perfuração ao longo do período em análise.

PERFURAÇÃO / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
PRODUÇÃO	t	622.541	536.345	437.717	36.965	36.288	-
METROS TOTAIS	m	30.353	31.951	20.227	21.542	19.716	-
HORAS TOTAIS	horas	1087	1.004	719	675	612	-
CUSTO HORA	€/hora	70	70			70	-
CUSTO TOTAL	€	76.090	70.280	50330	47250	42.840	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€/t	-	0,009	-0007	0,006	-0,002	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€	-	4.725	-3.170	2.153	-707	3.001
VARIAÇÃO	€/t	0,122	0,11	0,115	0,128	0,120	-

6.2 Custo do explosivo e acessórios de detonação

Relativamente ao custo do explosivo e acessórios de tiro, foram recolhidas as quantidades consumidas durante o período em análise, tendo mantido os preços constantes para facilitar a análise e compreensão do resultado das alterações introduzidas.

6.2.1 Variação da carga específica

Poderia pensar-se que a carga específica estaria directamente relacionada com a perfuração específica. Na realidade, este estudo demonstra que existem outros factores, uns positivos e outros negativos, que influenciam directamente a carga específica. A carga específica diminui quando se retira melhor aproveitamento do explosivo por acção directa da correcção do excesso da subfuração. A carga específica também diminui com o aumento do comprimento da carga de coluna sempre que se utilizam explosivos de menor peso específico que os da carga de fundo. A carga específica aumenta sempre que por efeito do rigor da perfuração se diminui a área desmontada por furo, tal como aconteceu no ano de 2005.

No Quadro 23 podemos observar a variação da carga específica efectuada ao longo do período em análise e comparar com a variação da perfuração específica e aumento do comprimento da carga de coluna (Quadro 23).

Quadro 23 – Variação da carga específica ao longo do período em análise.

EXPLOSIVOS / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	MÉDIA
PRODUÇÃO	t	622.541	536.345	437.717	368.965	356.288	424.829
CARGA ESPECÍFICA	kg/m ³	0,480	0,504	0,383	0,487	0,460	0,459
VARIAÇÃO FACE A 2004	kg/m ³	-	0,024	-0,097	0,007	-0,020	-0,021
VARIAÇÃO FACE A 2004	%	-	5%	-20%	1%	-4%	-4%
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	-
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	-

Analisando os valores do Quadro 23, podemos observar que em 2005, a carga específica aumentou menos que a perfuração específica, facto que em nosso entender se fica a dever às correcções verificadas ao nível da subfuração, anteriormente executada em excesso. A carga de coluna, com uma aumento de 10% do seu comprimento, também poderia ter contribuído para esta redução caso se tivesse utilizado explosivo de menor peso específico, o que não foi o caso, pois tanto o Emulex 731 como o Emulex 711 possuem igual peso específico.

Em 2006 existe uma diminuição relevante da carga específica, facto atribuído particularmente à diminuição da perfuração específica por aumento da área desmontada por furo.

Em 2007, embora se tenha voltado a aumentar em 20% a perfuração específica, verificamos o aumento de apenas 1% da carga específica. Para este facto deve ter contribuído essencialmente o rigor das medidas implementadas no que respeita à perfuração e carga do explosivo. O mesmo se passa nos anos de 2007 e 2008 onde é visível uma tendência para estabilizar.

O Gráfico 4, demonstra a variação da carga específica ao longo dos anos, com tendência para baixar e estabilizar ao longo do tempo.

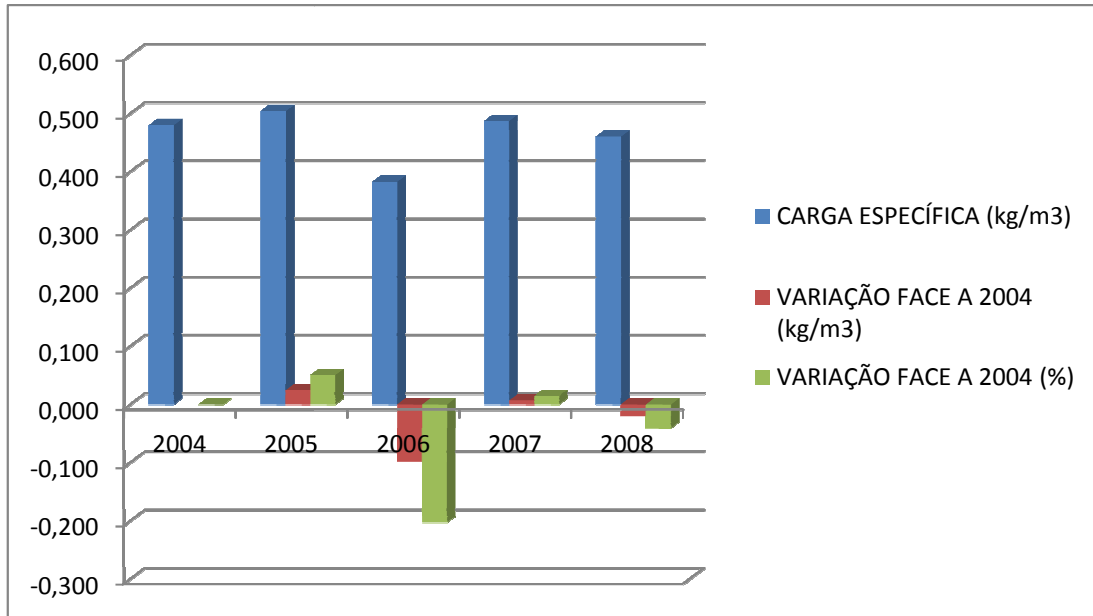


Gráfico 4 - Variação da carga específica ao longo do período em análise.

6.2.2 Variação do consumo do explosivo e relação com o custo de produção

Analisando o Quadro 24, verifica-se que nos últimos 4 anos existiu em média uma redução efectiva de 13.123 kg no consumo de explosivo, o que em termos de redução de custo representa um benefício total de 23.621 €.

Quadro 24 – Custo do explosivo.

EXPLOSIVOS / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
PRODUÇÃO	t	622.541	536.345	437.717	368.965	356.288	-
PESO ESPECÍFICO	t/m ³	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	-
VOLUME DESMONTADO	m ³	239.439	206287	68.353	141.910	137.034	-
QUANTIDADE DE EXPLOSIVO CONSUMIDA	kg	114.950	104.025	64.425	69.100	63.100	-
CARGA ESPECÍFICA	kg/m ³	0,480	0,504	0,383	0,487	0,460	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	kg/m ³	-	0,024	-0,097	0,007	-0,020	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	kg	-	4.991	-16.398	972	-2.687	-
PREÇO MÉDIO EXPLOSIVO	€kg	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	-
CUSTO TOTAL DO EXPLOSIVO	€	206.910	187.245	115.965	124.80	113.580	-
CUSTO TOTAL EXPLOSIVO	€/t	0,332	0,349	0,265	0,337	0,319	0,317
VARIAÇÃO FACE A 2004	€/t	-	0,017	-0,067	0,005	-0,014	-0,015
VARIAÇÃO FACE A 2004	%	-	5 %	-20 %	1 %	-4%	-4 %
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	-
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	-

Os valores da variação do explosivo estão em linha com os valores da variação da perfuração específica. Verifica-se que em 2005 o custo do explosivo por tonelada aumentou, tal como a perfuração específica, e em 2006 diminuiu. Tal como para a perfuração específica, em 2007 e 2008 nota-se uma tendência para a estabilidade no custo por tonelada, com o explosivo.

6.2.3 Variação do consumo de ligadores e relação com o custo de produção

O Quadro 25 reflecte a optimização obtida em termos de redução de custo com os acessórios de tiro de temporização (ligadores) durante os 4 anos de análise comparativa, a que corresponde um total de 2.957 €.

Quadro 25 – Variação do custo dos ligadores.

LIGADORES / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
LIGADORES	un.	3.557	3.285	1.767	1.738	1.441	-
UNIDADES POR TONELADA	un/t	0,0057	0,0061	0,0040	0,0047	0,0040	
VARIAÇÃO FACE A 2004	un/t	-	0,00041	-0,00168	-0,00100	-0,00167	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	un.	-	220	-734	-370	-596	-1.480
CUSTO MÉDIO POR LIGADOR	€	2	2	2	2	2	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€	-	441	-1.468	-740	-1.189	-2.957
VARIAÇÃO MÉDIA FACE A 2004	€	-	-739	-739	-739	-739	-2.957
CUSTO TOTAL	€	7.114	6.570	3.534	3.476	2.882	-
CUSTO PRODUÇÃO	€/t	0,011	0,012	0,008	0,009	0,008	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€/t	-	0,001	-0,003	-0,002	-0,003	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	%	-	9%	-27%	-18%	-27%	-
COMPRIMENTO MÉDIO DO FURO	m	9,02	9,91	11,87	12,21	13,63	-
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	-
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	-

Da análise ao consumo e custo dos ligadores utilizados durante o período do estudo podem ser retiradas duas conclusões. A primeira é que o número de ligadores aumenta ou diminui quando aumenta ou diminui a perfuração específica para a mesma altura de bancada (anos de 2005 e 2006). A segunda conclusão, é que o número de ligadores diminui quando para a mesma área a desmontar por furo aumentamos a altura da bancada (anos de 2007 e 2008). É interessante verificar este efeito entre os anos de 2007 e 2008 já que o número de ligadores diminuiu significativamente em 2008 com um aumento médio da altura da bancada de 1,4 m.

6.2.4 Variação do consumo dos detonadores não eléctricos e relação com o custo de produção

O Quadro 26 reflecte a optimização obtida em termos da redução do custo com detonadores não eléctricos utilizados durante os 4 anos do estudo, no total de 1.222 €.

Quadro 26 – Variação do consumo de detonadores não eléctricos e influência no custo.

DETONADORES NÃO ELÉCTRICOS / ANO	Un.	3384	3223	1582	1764	1446	TOTAL
UNIDADES POR TONELADA	un./t	0,0054	0,0060	0,0036	0,0048	0,0041	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	un./t	-	0,0006	-0,0018	-0,0007	-0,0014	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	un./t	-	308	-797	-242	-491	-1.222
CUSTO MÉDIO POR DETONADOR NÃO ELECTRICO	€/un.	3	3	3	3	3	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€	-	923	-2.392	-725	-1472	-
VARIAÇÃO MÉDIA FACE A 2004	€	-	-917	-917	-917	-917	-
CUSTOS TOTAL	€	10.152	9.669	4.746	5.292	4.338	-
CUSTO PRODUÇÃO	€/t	0,016	0,018	0,011	0,014	0,012	-
CUSTO TOTAL EXPLOSIVO E ACESSÓRIOS DE DETONAÇÃO	un.	0,360	0,379	0,284	0,361	0,339	-
COMPRIMENTO MÉDIO DO FURO	m	9,02	9,91	11,87	12,21	13,63	-
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	-
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	-

As conclusões a retirar da análise do Quadro 28 são semelhantes às retiradas para o caso dos ligadores. Verificamos um aumento de consumo de unidades em 2005 pelo facto se ter aumentado a perfuração específica mantendo a altura da bancada, uma diminuição em 2006 quando foi decidido aumentar a área de desmonte por furo, uma diminuição em 2007 quando se verifica um aumento na altura da bancada e uma nova diminuição em 2008 correspondente a novo aumento da altura da bancada.

6.3 Fragmentação secundária

A operação da fragmentação secundária é por si só geradora de um custo significativo no valor da produção. Se a esse facto adicionarmos uma maior percentagem de grandes blocos gerados pelo mau desenho ou execução do diagrama de fogo ou mau desempenho do explosivo, então o custo da fragmentação da rocha poderá inviabilizar uma operação de britagem rentável.

6.3.1 Custo da fragmentação secundária

O Quadro 27 procura resumir a evolução do rendimento e custo da operação de fragmentação secundária durante o período do estudo. É possível verificar a redução anual dos últimos 4 anos com um valor global de 110.373 €.

Este resultado, de todos o mais significativo dos até agora analisados, resulta não só de alteração dos procedimentos relativos à utilização do equipamento, mas fundamentalmente da redução da percentagem de grandes blocos conseguida com a optimização e rigor da perfuração e colocação dos explosivos.

Quadro 27 – Custo da fragmentação secundária.

FRAGMENTAÇÃO SECUNDÁRIA / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
PRODUÇÃO	t	622.541	536.345	437.717	368.965	356.288	-
HORAS TOTAIS	horas	1.969	1.154	1.269	722	850 *	-
CUSTO HORA	€/hora	80	80	80	80	80	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	horas/t	0,00316	0,00215	0,00290	0,00196	0,00239	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	horas/t	-	-0,00101	-0,00026	-0,00121	-0,00078	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	horas	-	-542	-115	-445	-277	-
VARIAÇÃO FACE A 2004	€	-	-43.390	-9.234	-35.598	-22.151	-
CUSTO TOTAL	€	157.520	92.320	101.520	57.760	68.000	-
CUSTO DA FRAGMENTAÇÃO SECUNDÁRIA	€/t	0,253	0,172	0,232	0,157	0,191	-
COMPRIMENTO-MÉDIO DO FURO	m	9,02	9,91	11,87	12,21	13,63	
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	
CARGA ESPECÍFICA	kg/m ³	0,480	0,504	0,383	0,487	0,460	-

* Corresponde ao alargamento superficial da pedreira, bancadas laterais muito irregulares, frentes influenciadas por rebentamentos anteriores a 2004.

Analisando a variação de valores e tentando encontrar uma explicação para as alterações podemos retirar as seguintes conclusões:

Em 2005, com o aumento da perfuração específica e da implementação de regras relativas à marcação e execução dos furos e regras de utilização do equipamento da fragmentação secundária, verifica-se uma substancial redução do custo da operação.

Em 2006, coincidindo com o aumento da área desmontada por furo, verificamos um aumento do custo da fragmentação secundária para um volume total processado inferior ao de 2005. Isto significa que as alterações ao diagrama de fogo operadas em 2005 conduziram a um aumento da percentagem de grandes blocos.

Em 2006 é novamente reduzida a área desmontada por furo e o custo da fragmentação secundária volta a ter uma redução superior à redução do volume processado.

Curiosamente em 2008, embora o volume processado reduza em relação a 2007, verifica-se um aumento do custo da fragmentação secundária. A explicação para o facto poderá estar associada ao tipo de produção (necessidade de redução de calibre), à frente em exploração (frentes superiores onde a percentagem de grandes blocos é geralmente superior), alteração dos procedimentos (menor cuidado em seleccionar os grandes blocos), redução da eficácia do operador face à falta de monitorização da sua rentabilidade.

6.4 Variação do custo de produção

No Quadro 28 agrupam-se as variações do custo das operações analisadas ao longo dos vários anos estudados. Embora existam variações ao longo dos anos em cada uma das operações, o custo total mantém-se praticamente estável desde 2006. Este facto realça a complexidade da análise do custo das operações de desmonte de rocha com explosivos, pois a solução ideal não será certamente a mesma ao longo do tempo, nem em todas as frentes da pedreira.

Quadro 28 – Variação do custo de produção.

CUSTOS OPERATÓRIOS / ANO	Un.	2004	2005	2006	2007	2008	MÉDIA
PERFURAÇÃO	€/t	0,122	0,131	0,115	0,128	0,120	0,124
EXPLOSIVO E ACESSÓRIOS DE DETONAÇÃO	€/t	0,360	0,379	0,284	0,361	0,339	0,341
FRAGMENTAÇÃO SECUNDÁRIA	€/t	0,253	0,172	0,232	0,157	0,191	0,188
TOTAL	€/t	0,735	0,682	0,631	0,646	0,650	0,652
COMPRIMENTO MÉDIO DO FURO	m	9,02	9,91	11,87	12,21	13,63	-
PERFURAÇÃO ESPECÍFICA	%	-	22%	-6%	20%	13%	-
CARGA DE COLUNA	%	-	10%	32%	35%	51%	-
CARGA ESPECÍFICA	kg/m ³	0,480	0,504	0,383	0,487	0,460	-

O Gráfico 5 ilustra a variação dos custos globais ao longo dos anos objecto deste estudo.

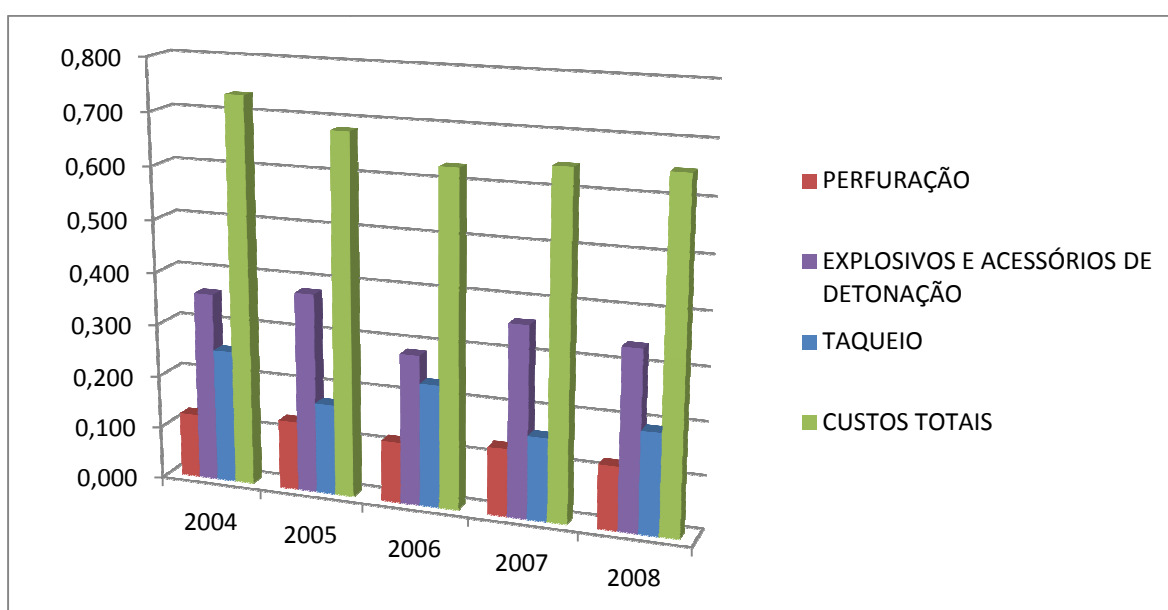


Gráfico 5 – Custos globais.

6.5 Mais-valias resultantes da melhoria dos procedimentos de perfuração

Com a optimização dos procedimentos de perfuração e o evoluir das bancadas em extensão e regularidade, foi possível a partir de 2008 efectuar trabalhos externos cuja receita teve significativo impacto na amortização dos custos fixos. Os valores foram obtidos entre Janeiro de 2008 e Maio de 2011 com trabalhos de perfuração executados em Chaves, Amarante, Santo Tirso, Tondela e Vila Flor.

Com um valor médio de 4 € / m perfurado foi possível obter os proveitos indicados no Quadro 29, em benefício do centro de produção.

Quadro 29 – Proveitos obtidos.

DÉBITOS / ANO	Un.	2008	2009	2010	2011	TOTAL
PERFURAÇÃO	€	17.230	40.107	96.867	43.507	197.711
PERFURAÇÃO	m	4.308	10.027	24.27	10.877	49.48

O equipamento de perfuração foi adquirido em Outubro de 2005 e custou cerca de 198.000 €. O período de amortização é de 5 anos.

6.6 Utilização contínua do “laser” plano (decrécimo de operações de regularização das plataformas)

O exercício seguinte, embora teórico, baseia-se em dados relativos à experiência e observação das condições de operação em 2004. Admite-se uma produção anual de 400.000 t, num desmante com parâmetros de referência de 2,5 m de distância à frente, 3,1 m de espaçamento e 13 m de comprimento de furo.

Admitindo que seriam necessárias 200 horas de trabalho por ano antes da utilização do “laser” plano e que se verificava uma redução progressiva à medida que as plataformas iam evoluindo, podemos aceitar uma redução do custo que ao fim de 4 anos será da ordem dos 24.000 € (Quadro 30).

Quadro 30 – Custo da regularização das plataformas

ANO	€/HORA ESCAVADORA	HORAS NECESSÁRIAS	% UTILIZADA	HORAS TOTAIS	SITUAÇÃO 1 (€)	SITUAÇÃO 2 (€)	DIFERENCIAL (€)
2004	60	200	9%	0	1.800	10.800	0
2005	60	200	70%	140	8.400	10.800	2.400
2006	60	200	50%	100	6.000	10.800	4.800
2007	60	200	30%	60	3.600	10.800	7.200
2008	60	200	10%	20	1.200	10.800	9.600
TOTAL							24.000

No entanto, e apesar da otimização das plataformas, existe sempre a necessidade de fazer algumas regularizações, já que as condições geológicas nem sempre permitem o razoável desempenho da perfuração e detonação.

Capítulo 7 – Conclusões

7. Conclusões

Como resultado de investigação realizada sobre a utilização de equipamentos de controlo da perfuração, foi possível implementar procedimentos rigorosos de marcação dos furos relativamente à geometria da frente livre.

É fundamental que o operador respeite a profundidade necessária em cada local da frente e a direcção e inclinação necessária para cada um dos furos.

Na primeira fiada dos furos, por razões de segurança, o operador da perfuradora não deve trabalhar com o equipamento paralelo à frente. Deve estacionar o equipamento considerando a possibilidade de executar mais que um furo. Este procedimento só é possível desde que o sistema de inclinómetros garanta a inclinação e direcção desejadas para cada furo.

Com a definição rigorosa do comprimento do furo em função da altura da bancada e da inclinação, diminui-se o risco de execução de subfuração com a consequente diminuição da perfuração específica e carga específica.

Com os procedimentos implementados, foi possível alinhar a perfuração e definir com precisão o limite de desmonte em cada frente livre. Por outro lado, com o maior rigor no comprimento dos furos, conseguiu-se a regularização das plataformas, melhor fragmentação e melhor movimentação do material, com o consequente aumento do rendimento dos equipamentos de carga.

Com inclinações de furo superiores às anteriormente praticadas, cerca de 14°, conseguiu-se reduzir o efeito da sobre-quebra à retaguarda, aumentar a fragmentação, reduzir a probabilidade de irregularidades na soleira, evitar possíveis interrupções nas ligações dos detonadores, maior estabilidade das bancadas, com aumento da segurança para os trabalhadores e equipamentos.

Com o maior cuidado na limpeza dos furos no fim da perfuração e colocação do tubo de protecção da boca do furo evitando a queda de material fragmentado no seu interior, aumentou-se a taxa de sucesso no aproveitamento integral da perfuração.

No carregamento de explosivo, procede-se inicialmente à verificação do estado de limpeza de todos os furos. O tubo em PVC, anteriormente referido, facilita o carregamento dos cartuchos já que se evita a possibilidade de queda de fragmentos soltos da zona fragmentada da superfície, que possam interromper o contacto entre os cartuchos. O operador deixa de estar preocupado com a queda de pedras no furo, diminuindo deste modo o tempo total para carregamento do explosivo.

A utilização de um atacador para compactação dos cartuchos garante o seu contacto ao longo da coluna explosiva e aumenta a concentração de carga. No caso de encravar algum cartucho é usado o atacador com um acessório na ponta tipo saca-rolhas para retirar o cartucho, conseguindo assim recuperar o furo.

Em furos com água a colocação dos cartuchos deve realizar-se lentamente esperando que cada cartucho ocupe a devida posição. Utilizar o atacador para auxiliar a colocação dos cartuchos é a melhor forma de garantir a continuidade da carga explosiva e evitar falhas no reventamento.

Para que possamos aumentar o rendimento da fragmentação secundária, a pá carregadora deve colocar o material a fragmentar numa zona plana para que o equipamento da fragmentação secundária possa trabalhar nas condições ideais. Não existindo volume de rocha a fragmentar que justifique o trabalho contínuo da escavadora com martelo, a operação deve ser realizada apenas alguns dias da semana, podendo a escavadora ficar disponível para outras funções. Este procedimento, permite aumentar a rentabilidade da operação de fragmentação secundária, já que o equipamento não tem perdas de tempo por espera para acesso aos grandes blocos na frente em escavação como acontecia quando trabalhava junto da pá carregadora. O aumento da fragmentação irá diminuir a probabilidade de horas de encravamentos no sector primário, diminuir o consumo de energia eléctrica, diminuir o desgaste das forras dos equipamentos e aumento da produtividade. Este aumento da produtividade permitirá a gestão dos meios de carga e transporte relativamente ao funcionamento da instalação de britagem. Com a rocha bem fragmentada, a produção do britador primário será superior à do britador secundário, possibilitando que o stock intermédio encha. A paragem da instalação primária enquanto se procede ao consumo do stock intermédio pela britagem secundária, permitirá a utilização dos meios de carga e transporte em outras actividades: manutenção, limpeza da pedreira, movimentação dos stocks, etc.

É importante salientar que o rigor na perfuração e carregamento de explosivos, melhoraram as condições das operações a jusante e a rentabilidade do centro de produção.

Depois de analisadas algumas frentes de trabalho com o sistema de "Laser" profile e com a interligação do "boretrak" (medidor da direcção e inclinação dos furos), chegamos à conclusão que existiam desvios nos furos por flexão das varas que no caso de se verificarem em direcção à frente livre punham em causa a segurança, já que o risco de projecções no reventamento era significativo. Foi decidido alterar o equipamento de perfuração de modo a passar a utilizar varas T45 em substituição das varas T38. Com esta alteração foi possível melhorar a linearidade dos furos. Esta mudança foi efectuada em Outubro de 2006.

Outras das medidas adoptadas foi a afiação atempada dos bits, medida considerada bastante importante, pois influencia directamente a vida útil de todos os acessórios de perfuração e do próprio equipamento, aumentando o rendimento de perfuração.

Procurou-se encontrar a melhor relação da direcção de avanço da frente com o diaclasamento da rocha de modo a melhorar a fragmentação resultante do rebentamento, tendo-se concluído que a direcção N 160 °, era a que melhores resultados proporcionava. Utilizou-se uma bússola para definir aquela direcção e o paralelismo entre as várias bancadas com vista a melhorar as condições de acesso e movimentação dos equipamentos de carga e transporte.

Com a utilização do sistema "laser" plano manual, foi possível diminuir as irregularidades das plataformas, aumentando a velocidade de circulação dos dumpers e a produtividade da pá carregadora da frente de pedreira.

O planeamento das rampas de acesso às bancadas é importantíssimo para evitar tempos de ciclo mortos, com conseqüente aumento da produção. É de evitar também a movimentação do material de bancada para bancada o que acontecia quando estas se encontravam mal definidas e com largura insuficiente. Espaço mínimo para que se possam separar os blocos para fragmentação secundária e permitir a circulação dos restantes equipamentos deverá ser cerca de 40 m.

Em função da redução de custos apresentados neste relatório, podemos afirmar que o rigor na perfuração e carregamento de explosivos, diminui o custo de produção.

Para assegurar o controlo sobre a manutenção e melhoramento dos procedimentos de qualidade é necessário uma monitorização permanente com recolha e tratamento dos dados que permitam tomar decisões de alteração atempadamente.

A aposta na formação contínua dos operadores é outra das medidas que deve ser considerada num programa de melhoria contínua. Por outro lado deve existir na equipa um espírito de melhoria contínua, de inovação, de experimentar, com profissionalismo pois só assim se poderão atingir os resultados esperados. Deve ser incutido o lema de fazer bem, fazer bem à primeira, já que os erros cometidos são geralmente remediados com acréscimo do custo de produção.

No desmonte de rocha com explosivos em pedreiras para a produção de agregados, a fragmentação adequada à dimensão do britador primário é fundamental para a produtividade e controlo do custo de produção. No âmbito deste trabalho foi verificado, que é muito importante conhecer as características do maciço, já que estas têm uma influência decisiva no mecanismo de perfuração e do rebentamento do explosivo. Este conhecimento, associada à experiência dos responsáveis pela execução das operações permitirá adequar os meios técnicos a fim de controlarmos os desvios na perfuração e identificar o melhor sentido de desmonte.

Através dos cuidados a ter com uma boa perfuração conseguem-se, tendo em conta os resultados obtidos neste estudo, os seguintes benefícios:

- Diminuição do consumo de explosivos;
- Redução da utilização excessiva do equipamento de perfuração e aumento da produtividade;
- Redução das irregularidades da soleira, facilitando assim as operações seguintes, quer a nível de perfuração ou da movimentação dos equipamentos de carga e transporte;
- Aumento da fragmentação melhorando a facilidade do carregamento com a pá carregadora;
- Melhor definição dos taludes das bancadas e aumento da estabilidade dos mesmos;
- Menor sobre-quebra à retaguarda melhorando o desempenho do equipamento de perfuração nas perfurações seguintes.

Perspectivas futuras de estudo e desenvolvimento

O estudo de modelos digitais no terreno (modelação 3D) das pedreiras deverá ser uma ferramenta importante que permite avaliar as reservas exploráveis e identificar o posicionamento de cada frente livre de modo a otimizar a altura e sentido do desmonte. É também importante, uma boa definição das rampas de acesso às plataformas de forma a possibilitar o melhor rendimento dos equipamentos de transporte e o menor consumo em gasóleo, pois neste momento e nesta actividade os combustíveis são uma parcela muito significativa dos custos.

Controlar o equipamento de perfuração e programar a circulação do mesmo de bancada em bancada para evitar tempos mortos (reduzir o consumo de gasóleo e custo do contrato de manutenção quando indexado à hora de operação).

Estimar os valores das várias parcelas, perfuração, explosivos, acessórios de detonação, fragmentação secundária, com o objectivo de estimar o orçamento para o ano seguinte, mantendo o controlo dos custos e se possível introduzir melhorias. Por exemplo, controlar e definir o número de horas em função da produção por operação.

Correlacionar o efeito dos rebentamentos em termos de fragmentação, a regularidade das plataformas, com a produção horária.

8. Bibliografia

8. Bibliografia

- Akhavan, J. (2004). *The Chemistry of Explosives*. The Royal Society of Chemistry.
- Atlas Copco Secoroc AB. (2009). *Product catalogue - Tophammer equipment*. Secoroc Rock Drilling Tools.
- Bhandari, S. (1997). *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
- Conde, M. C., Gama, C. D., & Lopes, M. G. (2004). *Correlação Entre o Comportamento Mecânico de Agregados e das Rochas Originais*. 9º Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro 2004.
- Cooper, P. W. (1997). *Explosives Engineering*. USA: Wiley-VCH.
- Daniel, F. (2000). *Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto*. Lisboa: Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.
- Dessureault, S. (2006). *Rock Excavation - Mne 415 - 415 Course Notes - Mining and Geological Engineering - University of Arizona*. Mne 415 - 515 , 248. Arizona, USA: University of Arizona.
- Esteves, J. M. (1993). *Controlo das Vibrações Provocadas por Explosões na Industria da Construção*. Lisboa, Portugal: LNEC.
- Explosa. (1994). *Manual de Explosivos e Suas Aplicações*. Lisboa: SPEL.
- Exsa, SA. *Manual Pratico de Voladura - 4ª Edição (4ª ed.)*. Peru.
- Gomes, L.; Galiza, A.C. & Vieira, A. (2008). *Desmonte com explosivos I*. Curso Superior de Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Gustafsson, R. (1977). *Técnica Sueca de Voladuras*. Nora, Suécia, SPI.
- Heinio, M. (1999). *Handbook on Surface Drilling and Blasting*. (Tamrock, Ed.) Finlandia: Tamrock.
- Heinio, M. (1999). *Rock Excavation Handbook*, Sandvik.
- Jimeno, C. L., & Lopez, E. J. (1994). *Manual de Perforacion Y Voladuras de Rocas*. Madrid: Instituto Tecnológico Geomineiro de Espana.
- Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface Blast Design*. USA: Prentice Hall Inc.
- Langefors, U., & Kihlstrom, B. (1987). *Tecnica Moderna de Voladura de Rocas (2º ed.)*. Bilbao: Urmo, S.A. de Ediciones.
- Lewandowski, T., Mai, V. K., & Danell, R. E. (1996). *Influence of discontinuities on presplitting effectiveness*. In B. Mohanty (Ed.), *Rock Fragmentation By Blasting - Fragblast -5*. Rotterdam: Balkema.

MaxamPor. (Janeiro de 2011). Catálogo de Produtos Explosivos e Acessórios. Lisboa, Portugal: MaxamPor.

MaxamPor. (2010). Detonadores Eléctricos RIODET. Portugal: MaxamPor.

Olofsson, S. (1991). Applied Explosives Technology For Constrution And Mining. (N. B. AB, Ed.) Arla, Suécia: Applex.

Olsson, M., & Bergqvist, I. (1996). Cracks lengths from explosives in multiple hole blasting. In B. Mohanty (Ed.), Rock Fragmentation by Blasting - Fragblast -5. Balkema.

Persson, P.-A., Holmberg, R., & Lee, J. (1994). Rock Blasting and Explosives Engineering. USA: CRC Press LLC.

Pont, D. (1977). Manual Du Pont Para Uso de Explosivos. (I. quimicas, Ed.) São Paulo, Brasil: Du Pont do Brasil S.A.

Rocha, M. (1981). Mecânica das Rochas. Lisboa: LNEC.

Roy, P. P. (2005). Rock Blasting Effects & Operations. India: CRC Press/Balkema.

Sandvik Coromat - Rock Tools. (s.d.). Manual de perfuração de rochas - Técnico e Teórico . Equipamentos para perfuração de rochas Sandvik Coromat (Manual de perfuração) . São Paulo, Brasil: Sanvik do Brasil.

SEC. (2010). Catálogo Produtos SEC . Lisboa: SEC.

Manual SEC. (2010). Regras básicas, SEC . Lisboa: SEC.

Society of Explosives Engineers,Inc. (2011). ISEE Blaster's Handbook (18 ed.). (J. F. Stier, Ed.) Cleveland, Ohio, USA: International Society of Explosives Engineers.

UEE - Explosivos. (1990). Detonadores eléctricos y Equipos Accesoríos. Madrid, Espanha: UEE Explosivos SA.

Vallejo, L. G., Ferrer, M., Ortuno, L., & Oteo, C. (2006). Ingenieria Geológica. Madrid, Espanha: Pearson Prentice Hall.

Xuguang, W. (1994). Emulsion Explosives. Beijing: Metallurgical Industry Press.

Sites da internet:

<http://www.trimble.com/II500.shtml>. Obtido em Julho de 2011, de (link para o programa utilizado).

<http://earth.google.intl/pt/>. (s.d.). Obtido em Junho de 2011, de Google Earth (link para o programa utilizado).

<http://sec.no.sapo.pt/>. (s.d.). Obtido em 2011 de Janeiro, de Sociedade de Explosivos Civis,S.A.

<http://transtronic.se.loopiadns.com/wordpress/applications/bench-drilling-application>.
Obtido em Outubro de 2010, de Transtronic AB.

<http://www.mota-engil.pt>. (s.d.). Obtido em Março de 2011, de Mota-Engil, Engenharia e Construção,S.A.

Anexos

Índice de Anexos (CD-ROM)

Anexo 1 - Furukawa HCR 1000 - Equipamento de perfuração

Anexo 2 – “Laser” plano Trimble LL500

Anexo 3 - Registo de Dados (LIM) - Relatório

Anexo 4 – “Laser” profile 3D - Equipamento

Anexo 5 - Programa Rockmate – “Boretrak” (Exemplo de aplicação)

Anexo 6 – “Boretrak” (Manuais de utilização)

Anexo 7 – Dados Cartografia 3D_2004 - 2010