

**U. PORTO**

**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

---

**MODELO MULTI-DISCIPLINAR PARA A  
SELEÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE  
FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO NA  
INDÚSTRIA MINEIRA**

**- ROTOPERCUSSÃO COM *TOP-HAMMER* EM AMBIENTE SUBTERRÂNEO -**

**DOUTORAMENTO EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-RECURSOS**

Júlio Martins Vieira

PORTO

2020



DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA DE MINAS



Dissertação apresentada à  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
para prestação da prova de doutoramento.

Tese realizada sob a orientação do  
Professor Doutor Joaquim Eduardo Sousa Góis  
e coorientada pelo  
Professor Doutor Alexandre Júlio Machado Leite.





## **DEDICATÓRIA**

Ao meu Pai, por tudo aquilo que partilhamos.

À Sílvia e à Sofia, por tudo...



## AGRADECIMENTOS

Nas palavras de Saramago, “*no fundo, todos temos necessidade de dizer quem somos e o que é que estamos a fazer e a necessidade de deixar algo feito, porque esta vida não é eterna e deixar coisas feitas pode ser uma forma de eternidade*”, espelha-se a minha vontade última neste trabalho, sendo certo que o mesmo nunca seria possível de efetuar sem o apoio, rigor científico, paciência, empenho, e agora singular, amizade dos professores Doutor Alexandre Leite e Doutor Joaquim Góis.

O início desta caminhada, preciso de o sublinhar, começou com as “lições” privilegiadas, carinho e sabedoria do mistagogo (tal é o “mistério” sagrado da temática abordada nesta tese...) senhor engenheiro Reis Ferreira, a ele o meu profundo obrigado pela introdução no tema das ferramentas de perfuração na Indústria Mineira.

E porque, tal como o poeta castelhano António Machado escreveu, “*...se hace camino al andar...*”, todo este trabalho foi sendo construído com o apoio dos muitos colegas nos diversos cenários investigados, que por não querer individualizar ou priorizar nenhum deles, apenas deixo a todos, sem exceção, o meu profundo agradecimento pelos saberes partilhados, experiências vividas e ensinamentos de uma vida.

Aos amigos, que no apoio nos momentos mais difíceis tudo ajudaram a melhorar, agradeço também a sua presença e compreensão.

Cabe ainda agradecer à minha família, a todos, substanciado no carinho perseverante da minha mãe e no sorriso contagiante da minha irmã, pela sua constante motivação, auxílio e afeto que de mim fazem quem sou, tornando-se como tal imperativo. Sem ela este “barco” não teria saído do porto, e também sem ela, o mesmo não tinha sobrevivido às intempéries encontradas ao longo deste trabalho.

Por último, e sempre em primeiro, à Sílvia e à Sofia, ambas tornaram a minha vida mais fácil nestes tempos difíceis, sem o vosso apoio, compreensão, carinho e constante amor, nada disto fazia sentido! E como já dizia Fernando Pessoa “*Amor não se conjuga no passado, ou se ama para sempre ou nunca se amou verdadeiramente.*”. Como fazem sentido estas palavras na minha vida...

Obrigado, a todos, por tudo isto e muito mais. Um grande bem-haja por partilharem o vosso tempo comigo.



## RESUMO

Esta tese de doutoramento em Engenharia de Minas e Geo-Recursos, apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, procura estudar e criar, no âmbito da temática das ferramentas de perfuração de rocha utilizadas na indústria mineira, um modelo multivariável que relacione a seleção e utilização das ferramentas de perfuração, promovendo, ao mesmo tempo, uma otimização destes processos.

Pretende-se, recorrendo a uma série de técnicas nos domínios da matemática, da estatística multivariável e da gestão, aprofundar e esclarecer o comportamento de algumas das variáveis suscetíveis de diretamente influenciarem o rendimento obtido nos trabalhos de perfuração realizados na atividade mineira.

Face à vivência e experiência profissional do autor, foi possível efetuar uma recolha sistemática de dados, assim como uma análise das várias metodologias habitualmente utilizadas na gestão do aço de perfuração em diversos ambientes da indústria extrativa, mais concretamente, no campo das perfurações subterrâneas em ambiente mineiro.

Embora tenham sido identificados alguns trabalhos anteriores sobre a temática abordada, todos eles revelavam-se pouco esclarecedores, superficiais ou mesmo algo desfasados da realidade.

Como principal objetivo desta tese, procura-se desenvolver um modelo auxiliar à tomada de decisão e gestão dos conjuntos de ferramentas de perfuração de rocha usadas nos trabalhos de perfuração em ambiente subterrâneo, onde, de uma forma cientificamente sustentada (com particular ênfase para a validação através da Análise Fatorial das Correspondências), se pudesse contribuir para a melhoria, de forma significativa, dos estudos anteriores, enriquecendo por via destes novos desenvolvimentos, o conhecimento sobre este ramo da indústria mineira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço de perfuração, *top-hammer*, perfuração de rocha, análise fatorial das correspondências.



## **ABSTRACT**

This PhD thesis in Mining and Geo-Resources Engineering, submitted to the Faculty of Engineering of Porto University, seeks to study and create, within the rock drilling tools used in the mining industry, a multivariable model that relates the selection and use of drilling tools, promoting at the same time, an optimization of these processes.

It is intended, using a series of techniques in the domains of mathematics, multivariable statistics and management, to deepen and clarify the behavior of some variables, likely to influence the performance obtained in drilling activities in a direct way.

In view with the author's professional experience, it was possible to carry out a systematic collection of data, as well as an analysis of the different methodologies commonly used in the management of drilling steel in various environments of the mining industry, more specifically, in the field of underground drilling.

Although some previous works on this subject were identified, all of them proved to be unclear, superficial or even somewhat out of the current reality.

As the main objective of this thesis, it is proposed to develop an auxiliary model for decision making and management of the rock drilling tools used in underground mining, where, in a scientifically supported way (with particular emphasis on its validation through the Analysis of Correspondences method), it could contribute to the improvement, in a significant way, of the previous studies known, enriching through these new developments, the knowledge about this area of the mining industry.

**KEYWORDS:** Drill steel, top-hammer, rock drilling, analysis of correspondences.





## ÍNDICE GERAL

Índice de figuras.	XVII
Índice de tabelas.	XXIII
Índice de anexos.	XXV
Lista de abreviaturas e siglas.	XXVII
Introdução.	1
<b>Parte I – Enquadramento teórico.</b>	<b>5</b>
1. Perfuração de rochas - Conceito geral.	8
1.1. Propriedades geológicas.	9
1.1.1. Rochas ígneas.	9
1.1.2. Rochas sedimentares.	11
1.1.3. Rochas metamórficas.	13
1.2. Propriedades mecânicas.	15
1.2.1. Dureza.	17
1.2.2. Resistência.	18
1.2.3. Abrasividade.	20
1.2.4. Textura.	21
1.2.5. Elasticidade.	21
1.2.6. Plasticidade.	21
1.2.7. Estrutura.	22
1.3. Escavabilidade.	22
1.4. Tipos de perfuração e seus princípios.	25
1.4.1. Perfuração à rotopercussão.	30
1.4.1.1. Martelo de superfície (vulgo <i>top-hammer</i> ).	38
1.4.1.2. Martelo fundo-de-furo (vulgo DTH).	43
1.5. Tipos de equipamentos.	46
1.5.1. Equipamentos <i>top-hammer</i> .	46
1.5.2. Equipamentos DTH.	48
1.6. Ferramentas de perfuração.	50
1.6.1. Aço de perfuração integral.	51
1.6.1.1. Barrena enraideira.	53

1.6.1.2. Barrena cónica.	54
1.6.2. Aço de perfuração seccionado.	54
1.6.2.1. <i>Top-Hammer</i> .	56
1.6.2.2. Fundo-de-furo ou DTH.	62
1.6.2.3. Diferentes tipos de roscas.	66
1.6.3. Ligas metálicas utilizadas nas ferramentas de perfuração.	72
1.7. Critérios de análise na utilização das ferramentas de perfuração.	75
1.7.1. Custo-por-metro (CPM).	77
1.7.2. Rendimentos de cada elemento da coluna de furação.	79
1.7.3. Afição de <i>bits</i> .	83
<b>Parte II – Estudo desenvolvido.</b>	<b>87</b>
1. Metodologia.	91
1.1. Objetivos.	91
1.2. Questões levantadas.	92
1.3. Caracterização dos cenários estudados.	95
1.3.1. Caracterização da tecnologia disponível.	95
1.3.1.1. Equipamentos.	96
1.3.1.1.1. Furação de avanço (“ <i>drift-cut</i> ”).	97
1.3.1.1.2. Furação de sustimento.	103
1.3.1.1.2.1. Sustimento de longa duração.	104
1.3.1.1.2.2. Sustimento de curta duração.	109
1.3.2. Caracterização qualitativa (humana).	112
1.3.3. Caracterização das técnicas usadas na perfuração.	114
1.4. Definição das variáveis.	118
1.4.1. Famílias e variáveis estudadas.	119
1.4.1.1. Custo por metro de furação (CPM).	119
1.4.1.2. Número de afiações por <i>bit</i> (NAB).	119
1.4.1.3. Diâmetro de furação (DF).	119
1.4.1.4. Sentido de furação (SF).	120
1.4.1.5. Metros furados (MF).	120

1.4.1.6. Rendimento do <i>bit</i> (RB).	120
1.4.1.7. Rendimento da vara (RV).	120
1.4.1.8. Rendimento da união (RU).	121
1.4.1.9. Rendimento do encabadouro (RS).	121
1.4.1.10. Configuração do <i>bit</i> de botões (CB).	121
1.4.1.11. Furos de limpeza no <i>bit</i> de botões (FL).	121
1.4.1.12. Secção de varas (SV).	122
1.4.1.13. Tipo de rocha (TR).	122
1.4.1.14. Abrasividade (ABR).	122
1.4.1.15. Condição da rocha (CR).	122
1.4.1.16. Perda de diâmetro do <i>bit</i> de botões (PDB).	123
1.4.1.17. Perda de botões no <i>bit</i> (PBB).	123
1.4.1.18. Perda do aço de furação (PM).	123
1.4.1.19. Quebras nos elementos da coluna de furação (QC).	123
2. Os dados e a sua análise.	125
2.1. Matriz de dados e registo dos ensaios efetuados.	126
2.2. Metodologia da otimização.	131
2.2.1. Estatística Multivariada - Análise Fatorial.	131
2.2.1.1. Análise fatorial das correspondências binárias.	136
2.3. Ensaios, tendências e resultados obtidos.	148
2.3.1. Ensaio 1.	148
2.3.1.1. Projeção plano fatorial (F1, F2) – Eixo F1.	152
2.3.1.2. Projeção plano fatorial (F1, F2) – Eixo F2.	157
2.3.1.3. Projeção plano fatorial (F1, F3) – Eixo F3.	160
2.3.1.4. Projeção plano fatorial (F1, F4) – Eixo F4.	163
2.3.1.5. Projeção plano fatorial (F1, F5) – Eixo F5.	166
2.3.1.6. Projeção plano fatorial (F1, F6) – Eixo F6.	169
2.3.2. Ensaio 2.	172
2.3.2.1. Projeção plano fatorial (F1, F2) – Eixo F1.	174
2.3.2.2. Projeção plano fatorial (F1, F2) – Eixo F2.	177

2.3.2.3. Projeção plano fatorial (F1, F3) – Eixo F3.	179
2.3.2.4. Projeção plano fatorial (F1, F4) – Eixo F4.	181
2.3.2.5. Projeção plano fatorial (F1, F5) – Eixo F5.	183
2.3.2.6. Projeção plano fatorial (F1, F6) – Eixo F6.	185
3. Conclusões e perspectivas futuras.	189
Bibliografia.	199
Apêndice e Anexos.	207

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação esquemática dos principais tipos de rochas ígneas (modificado de Castroviejo, 1998).	10
Figura 2 – Distribuição de rochas sedimentares na crosta terrestre (Geology, 2015).	11
Figura 3 – Classificação das rochas sedimentares em termos do seu conteúdo de componentes terrígenos, aloquímicos e ortoquímicos (adaptado de Silva, 2016).	13
Figura 4 – Diagrama simplificado de classificação das rochas metamórficas em função dos principais componentes mineralógicos (modificado da EN 12670:2001).	14
Figura 5 – Exemplo de uma curva granulométrica (Masgeotecnia, 2016).	15
Figura 6 – Ábaco de escavabilidade de Pettifer e Fookes (1994).	16
Figura 7 – Escala de dureza de Mohs (Silva, 1999).	17
Figura 8 - Representação das diferentes orientações das descontinuidades numa galeria (adaptado de Atlas Copco, 2014).	22
Figura 9 – Parâmetros que influenciam a escavabilidade (adaptado de Thuro, 1996).	23
Figura 10 – Método de Franklin com a relação entre a escavabilidade e os métodos de desmonte de um maciço rochoso (Franklin, 1971).	24
Figura 11 - Sequência de trabalhos realizados na escavação de um túnel, pelo método de perfuração e detonação (Atlas Copco, 2014).	25
Figura 12 – Perfuração de rocha com recurso a um martelo e coluna pneumática, utilizando barrenas integrais (Atlas Copco, 2014).	26
Figura 13 – Evolução dos equipamentos de perfuração de superfície (adaptado de Atlas Copco, 2014).	27
Figura 14 – Exemplos de aplicação da perfuração de rocha em diversos setores de atividade (Heiniö, 1999).	27
Figura 15 – Campo de aplicação dos diferentes métodos de perfuração de rocha mecânicos (adaptado de Heiniö, 1999).	29
Figura 16 – Exemplificação dos parâmetros envolvidos na perfuração á rotopercussão (adaptado de Atlas Copco, 2015).	30
Figura 17 – Relação entre pressão de avanço e pressão de percussão durante a perfuração de rochas (Epiroc, 2019).	32
Figura 18 – Esquema de limpeza dos detritos de furação (adaptado de Atlas Copco, 2015).	32

Figura 19 – Principio de destruição da rocha durante a perfuração (Heiniö, 1999).	33
Figura 20 – Níveis de tensão na onda de impacto durante a perfuração (Epiroc, 2019).	34
Figura 21 – Onda de choque primária e refletida (Epiroc, 2019).	35
Figura 22 – Relação entre RPM com diâmetro de furação (Epiroc, 2018).	36
Figura 23 – Influência da pressão de avanço na velocidade de perfuração (adaptado de Jimeno, 2017).	37
Figura 24 – Representação da atuação do fluido de limpeza durante a perfuração (Epiroc, 2019).	38
Figura 25 – Corte longitudinal de um martelo pneumático (Gardner-Denver, 1986).	40
Figura 26 – Diferenças na onda de percussão entre martelo hidráulico (superior) e pneumático (inferior) (Epiroc, 2019).	42
Figura 27 – Representação dos componentes de um martelo hidráulico (Epiroc, 2019).	43
Figura 28 – Representação da perfuração com martelo <i>top-hammer</i> (esquerda) e martelo DTH (direita) (Epiroc, 2019).	44
Figura 29 – Corte longitudinal de um martelo DTH (Epiroc, 2019).	46
Figura 30 – Exemplo de aplicação de equipamento de perfuração do tipo <i>top-hammer</i> numa obra publica delicada (Epiroc, 2019).	48
Figura 31 – Variação da velocidade de perfuração com o aumento da profundidade (adaptado de Jimeno, 2017).	49
Figura 32 – Descrição de uma barrena integral (adaptado de Castro, 1986).	52
Figura 33 – Esquema representativo de uma furação com barrenas integrais (adaptado de Castro, 1986).	52
Figura 34 – Barrena enraideira (Palbit, 2015).	53
Figura 35 – Barrenas e <i>bits</i> cónicos (Rockmore, 2016).	54
Figura 36 – Esquema de perfuração com aço seccionado (adaptado de Castro, 1986).	55
Figura 37 – Resumo dos diferentes elementos de uma coluna de furação <i>top-hammer</i> (Mitsubishi, 2014).	56
Figura 38 – Encabadouro do tipo Leyner (adaptado de Padley & Venables, 2015).	57
Figura 39 – Encabadouro estriado (adaptado de Padley & Venables, 2015).	57
Figura 40 – Encabadouros hexagonais (adaptado de Padley & Venables, 2015).	58

Figura 41 – Diferentes tipos de uniões (adaptado de Robit, 2019).	58
Figura 42 – Diferentes tipos de varas (adaptado de Epiroc 2019).	59
Figura 43 – Utilização de tubos de furação versus varas standard (Jimeno, 2017).	60
Figura 44 – Modelos de <i>bits</i> (Mitsubishi, 2014).	60
Figura 45 – <i>Bit</i> de pastilha do tipo “+” (Epiroc, 2019).	61
Figura 46 – <i>Bit</i> de botões (Epiroc, 2019).	61
Figura 47 – Exemplos das diferentes configurações do corpo de um <i>bit</i> (Robit, 2019).	62
Figura 48 – Exemplo de uma coluna de furação DTH (Epiroc, 2019).	62
Figura 49 – Modelo de adaptador de rosca DTH (Epiroc, 2019).	63
Figura 50 – Modelo de tubo DTH (Epiroc, 2019).	63
Figura 51 - Modelo <i>bit</i> DTH (Mitsubishi, 2014).	64
Figura 52 – Exemplo de <i>bit</i> face plana (Mitsubishi, 2014).	64
Figura 53 – Exemplo de <i>bit</i> face concava (Mitsubishi, 2014).	65
Figura 54 – Exemplo de <i>bit</i> face convexa (Mitsubishi, 2014).	65
Figura 55 – Detalhes de rosca do tipo R (esquerda) e rosca do tipo T(direita) (Liljekvist, 1986).	66
Figura 56 – Torque necessário no acoplamento e desacoplamento das roscas R e T (adaptado de Castro, 1986).	67
Figura 57 – Relação entre torque de acoplamento e pressão superficial (adaptado de Castro, 1986).	68
Figura 58 – Áreas de desgaste das roscas R e T (adaptado de Mitsubishi, 2014).	69
Figura 59 - Conjunto de varas à saída do processo de carburização (Sandvik, 2013).	73
Figura 60 – Detalhe da decapagem com granalhas de aço (shot-peening) (Jimeno, 2017).	74
Figura 61 – Tipo de <i>bit</i> relacionado com natureza da rocha (Mitsubishi, 2014).	79
Figura 62 – Diferentes configurações da face dos <i>bits</i> (Mitsubishi, 2014).	80
Figura 63 – Diferentes formas dos botões num <i>bit</i> (Mitsubishi, 2014).	80
Figura 64 – Configurações possíveis no corpo de um <i>bit</i> (Mitsubishi, 2014).	81
Figura 65 - Relação penetração versus metros furados (adaptado de Ferreira, 1999).	82
Figura 66 – Diferentes graus de metal duro (Mitsubishi, 2014).	83
Figura 67 – Volume a desgastar durante afiação botão (adaptado de Ferreira, 1999).	84

Figura 68 – Evolução da taxa de penetração em um <i>bit</i> com o desgaste dos botões (Epiroc, 2019).	85
Figura 69 – Fluxograma da estratégia de pesquisa.	90
Figura 70 – Esquema Jumbo Atlas Copco Boomer 282 (ver anexo 4 – Especificações Boomer 282).	98
Figura 71 – Esquema Jumbo Sandvik DS422 (ver anexo 11 – Especificações DS422).	99
Figura 72 – Esquema Jumbo baixo perfil Atlas Copco Boomer S1L (ver anexo 6 – Especificações Boomer S1L).	100
Figura 73 – Detalhe Jumbo baixo perfil Sandvik DD211L (ver anexo 9 – Especificações DD211L).	101
Figura 74 – Detalhe Jumbo de túnel Atlas Copco E3 (ver anexo 5 – Especificações Boomer E3).	102
Figura 75 – Esquema exemplificativo dos trabalhos de furação para aplicação de elementos de sustimento numa galeria (Atlas Copco, 2015).	103
Figura 76 – Esquema típico de sustimento numa galeria mineira com elementos de sustimento de curta duração e de longa duração (adaptado de Atlas Copco, 2015).	104
Figura 77 – Esquema de uma ancoragem por cabo típica dos projetos estudados (adaptado de Soluções Geotécnicas DYWIDAG, 2017).	104
Figura 78 – Esquema Jumbo de sustimento Atlas Copco Simba 157 (ver anexo 7 – Especificações Simba 157).	106
Figura 79 – Esquema Jumbo sustimento Atlas Copco Boomer 281 (ver anexo 3 – Especificações Boomer 281).	107
Figura 80 – Detalhe movimentos do braço extensível e coluna de furação do Jumbo Atlas Copco Boomer 281 (ver anexo 3 – Especificações Boomer 281).	107
Figura 81 – Exemplo de um Jumbo de furação Atlas Copco Simba S7 (ver anexo 8 – Especificações Simba S7).	108
Figura 82 – Esquema de uma pregagem tipo Swellex (esquerda) e de uma pregagem tipo Rockbolt (direita) (adaptado de Atlas Copco, 2014).	109
Figura 83 – Exemplo de furação vertical ascendente para posterior aplicação de pregagem do tipo Swellex (Epiroc, 2019).	109



Figura 84 – Detalhe de Jumbo de sustimento Sandvik DS411 (ver anexo 10 – Especificações DS411).	110
Figura 85 – Exemplo de Jumbo de sustimento Atlas Copco Boltec S (ver anexo 2 – Especificações Boltec S ).	111
Figura 86 – Retroação em AFC (adaptado de Garcia Pereira, 1990).	138
Figura 87 – Esquema ilustrativo da construção dos eixos fatoriais, da projeção das Variáveis/Modalidades nos respectivos eixos e de acordo com a contribuição absoluta da modalidade na construção do eixo fatorial.	147
Figura 88 – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação das modalidades ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.	152
Figura 89 – Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação dos indivíduos ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.	156
Figura 90 – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação das modalidades ao longo do segundo eixo fatorial, F2.	157
Figura 91 – Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação dos indivíduos ao longo do segundo eixo fatorial, F2.	159
Figura 92 – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F3). Interpretação das modalidades ao longo do terceiro eixo fatorial.	160
Figura 93 – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F3). Interpretação dos indivíduos ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.	162
Figura 94 – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F4). Interpretação das modalidades ao longo do quarto eixo fatorial.	163
Figura 95 – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F4). Interpretação dos indivíduos ao longo do quarto eixo fatorial, F4.	165
Figura 96 – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F5). Interpretação das modalidades ao longo do quinto eixo fatorial.	166
Figura 97 – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F5). Interpretação dos indivíduos ao longo do quinto eixo fatorial, F5.	168
Figura 98 – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F6). Interpretação das modalidades ao longo do sexto eixo fatorial.	169
Figura 99 – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F6). Interpretação dos indivíduos ao longo do sexto eixo fatorial, F6.	171

Figura 100 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.	174
Figura 101 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.	176
Figura 102 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do segundo eixo fatorial, F2.	177
Figura 103 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do segundo eixo fatorial, F2.	178
Figura 104 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F3). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.	179
Figura 105 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F3). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.	180
Figura 106 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F4). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do quarto eixo fatorial, F4.	181
Figura 107 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F4). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do quarto eixo fatorial, F4.	182
Figura 108 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F5). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do quinto eixo fatorial, F5.	183
Figura 109 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F5). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do quinto eixo fatorial, F5.	184
Figura 110 – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F6). Interpretação da projeção das modalidades ao longo do sexto eixo fatorial, F6.	185
Figura 111 – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F6). Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do sexto eixo fatorial, F6.	186
Figura 112 – Esquema tipo de furação com aço extensível.	254

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Representação das diferentes resistências à compressão das formações rochosas (adaptado de López Jimeno, 2017).	19
Tabela 2 – Variação índice RAI para diferentes tipos de rocha (adaptado de López Jimeno, 2017).	20
Tabela 3 – Resumo dos diferentes tipos de equipamentos <i>top-hammer</i> .	47
Tabela 4 – Resumo dos diferentes tipos de equipamentos DTH.	49
Tabela 5 – Diferentes diâmetros de roscas <i>top-hammer</i> .	70
Tabela 6 – Diferentes tipos de roscas DTH (Sandvik Coromant, 2012).	71
Tabela 7 – Diferentes diâmetros de roscas DTH.	71
Tabela 8 – Distribuição das diferentes configurações dos furos de limpeza nos <i>bits</i> de botões.	121
Tabela 9 – Distribuição dos diferentes tipos de varas.	122
Tabela 10 – Exemplo de mapa de registo informação.	129
Tabela 11 - Exemplo do quadro de descrição lógica (presença – ausência), matriz de “ <i>input</i> ” de dados codificada em disjuntiva completa e utilizada na AFCB.	137
Tabela 12 – Descrição e codificação das variáveis e das modalidades (frequência absoluta e percentagem).	140
Tabela 13 – Descrição e codificação das variáveis e das modalidades (frequência absoluta e percentagem), continuação.	141
Tabela 14– Tabela de contingência identificando, em valor absoluto, as coocorrências das variáveis ilustradas.	143
Tabela 15 – Valores próprios e taxa de inércia transportada (simples e acumulada) em cada eixo fatorial. Resultado obtido no Ensaio 1.	149
Tabela 16 – Registo das contribuições absolutas (> 1,41) de cada modalidade nos eixos fatoriais retidos. Resultado obtido no Ensaio 1.	150
Tabela 17 – Coordenadas das modalidades nos eixos fatoriais. Resultado obtido no Ensaio 1.	151
Tabela 18 – Valores próprios e taxa de inércia transportada (simples e acumulada) em cada eixo fatorial. Resultado obtido no Ensaio 2.	173
Tabela 19 – Resumo dos resultados da AFCB relativamente à projeção das modalidades nos planos fatoriais.	188

Tabela 20 – Relação de metros perfurados por cada vara num furo de 9 m, usando aço extensível.

255

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 – Desenho técnico de um <i>bit</i> de botões.	208
Anexo 2 – Modelo utilizado para registo do desgaste dos <i>bits</i> de botões.	209
Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado.	210
Anexo 4 – Especificações COP1838HD.	225
Anexo 5 – Especificações Boomer 282.	226
Anexo 6 – Especificações compressores CTN.	228
Anexo 7 – Especificações DS422.	229
Anexo 8 – Especificações Boomer S1L.	232
Anexo 9 – Especificações DD211L.	234
Anexo 10 – Especificações compressores GAR.	237
Anexo 11 – Especificações Boomer E3.	238
Anexo 12 – Especificações Simba 157.	241
Anexo 13 – Especificações Boomer 281.	243
Anexo 14 – Especificações Simba S7.	245
Anexo 15 – Especificações DS411.	248
Anexo 16 – Especificações Boltec S.	251
Anexo 17 – Exemplo do registo de movimentos de stock nas ferramentas de perfuração durante um ensaio.	253
Anexo 18 – Conceito de metro-vara.	254
Anexo 19 – Modelo utilizado para registo da distribuição dos <i>bits</i> de botões.	257
Anexo 20 – Exemplo do registo da distribuição dos <i>bits</i> de botões durante um ensaio.	258
Anexo 21 – Modelo utilizado para registo dos dados de perfuração durante os ensaios.	259
Anexo 22 – Exemplo do registo dos dados de perfuração durante um ensaio.	260
Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios.	264
Anexo 24 - Contribuições absolutas ( $>1,32$ ) de cada individuo nos eixos fatoriais retidos -1ºensaio -	283
Anexo 25 - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais -2ºensaio -	284
Anexo 26 - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais - 2ºensaio -	286

Anexo 27 - Contribuições absolutas (>1,32) de cada individuo nos eixos fatoriais retidos -2º ensaio -	288
Anexo 28 – Valores próprios e taxa de inércia transposta por eixo fatorial -1ºensaio-	289
Anexo 29 - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais - 1ºensaio -	290
Anexo 30 - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais - 1ºensaio -	292
Anexo 31 - Coordenadas dos indivíduos nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 1º ensaio.	294
Anexo 32 – Valores próprios e taxa de inércia transposta por eixo fatorial -2ºensaio-	295
Anexo 33 – Contribuições absolutas (> 1,79) de cada modalidade nos eixos fatoriais retidos - 2º ensaio -	296
Anexo 34 – Coordenadas das modalidades nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 2º ensaio.	297
Anexo 35 – Coordenadas dos indivíduos nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 2º ensaio.	298

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AFC – Análise Fatorial das Correspondências.
- AFCB – Análise Fatorial das Correspondências Binárias.
- API – American Petroleum Institute.
- CAN- Controller Area Network
- CMF – Custo por Metro de Furação.
- CPM – Custo Por Metro.
- CW – Carboneto de Tungsténio.
- DCS - Direct hydraulic Control System.
- DGGE – Direção Geral de Geologia e Energia.
- DTH – Down The Hole.
- FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- FOPS - Falling Object Protective Structure.
- GSI – Geological Strength Index.
- IoT – Internet of Things.
- ISO – International Organization for Standardization.
- m.l. – Metros lineares.
- MD – Metal Duro.
- MF – Macho / Fêmea.
- NAB – Numero de Afições por *Bit*.
- PRISMA- Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis.
- RAI – Rock Abrasivity Index.
- RCS - Rig Control System.
- REG – Regular.
- RMR – Rock Mass Rating.
- RPM – Rotações Por Minuto.
- RQD – Rock Quality Designation.
- Shank – Encabadouro.
- SiO<sub>2</sub> – Sílica.
- TAS – Túnel de Águas Santas.





## INTRODUÇÃO

No mundo atual, de constante procura de matérias-primas para superar as necessidades tecnológicas da sociedade, a busca da racionalização dos meios envolvidos na sua produção é uma constante. Paralelamente, a evolução do conhecimento científico e da sofisticação das tecnologias aplicadas na indústria mineira, tem vindo a crescer ao longo dos últimos 20 anos, sendo que hoje é possível, por exemplo, obter o registo dinâmico das propriedades da rocha durante a perfuração, recorrer ao uso de detonadores eletrónicos, e mesmo à utilização de plataformas informáticas de acompanhamento, gestão e otimização dos diversos processos inerentes aos ciclos produtivos (Mans, 2003).

As operações de escavação variam de acordo com o cenário espacial e temporal em que têm lugar, no entanto e na sua maioria, são trabalhos de tempo limitado, onde a escolha do método de escavação juntamente com uma adequada seleção de equipamentos corretos para a sua execução, acaba por se afigurar como uma tarefa essencial (Heiniö, 1999).

Apesar de toda esta realidade, até há bem pouco tempo atrás, a perfuração de rochas continuava a ser considerada uma “arte”, nascida da perícia e experiência dos operadores (barrenistas, ou mais recentemente, operadores de jumbos...). Porém, na atualidade, este processo encontra-se em fase acelerada de evolução, com a cada vez maior aplicação de tecnologias de outros setores nesta atividade (robótica, automação, comunicações, entre outros), aceleração essa, naturalmente, resultante também da incorporação nos processos de perfuração, de conhecimentos oriundos da cada vez maior investigação científica levada a cabo na área da lavra de minas. (Jimeno, 2017).

A par do crescimento real e exponencial da população no nosso planeta e da permanente busca pela melhoria da qualidade de vida, correlacionada com a crescente procura de recursos naturais, afigura-se fundamental para uma evolução sustentável da Humanidade, a necessidade de inovar e produzir mais com menos recursos.

Também as atividades de perfuração de rocha não devem “escapar” a esta necessidade, sendo pertinente a sua ponderação tendo em conta a adequabilidade dos meios (equipamentos, humanos, ferramentas...) ao trabalho que se pretende realizar no menor intervalo de tempo possível e com o menor impacto admissível.

Assim, esta tese centra-se na necessidade da constante evolução, aprofundamento e desenvolvimento dos conhecimentos técnico-teóricos adquiridos ao longo da vida profissional do autor, sendo a sua motivação maior, a janela temporal de oportunidade existente no contacto íntimo (e privilegiado) com atividades e protagonistas da atividade mineira em Portugal e no estrangeiro, que levaram a escolher o tema do aço de perfuração (com especial enfoque nas ferramentas de perfuração) para recolher e desenhar novas aproximações à gestão e otimização destas ferramentas fundamentais da atividade produtiva de escavação de rocha.

Ao longo dos últimos dez anos, o autor teve a oportunidade de participar na recolha sistemática de dados e análise de várias metodologias usadas na gestão do aço de perfuração, em diversos ambientes da indústria extrativa (inclusivamente na vertente de obras públicas e trabalhos de geotecnia), tendo recentemente sido direcionada a atividade de pesquisa e análise para o campo das perfurações subterrâneas em ambientes mineiros.

Ao longo desta experiência, de carácter profissional, o principal problema primário identificado centrou-se quase sempre na pergunta: em cada contexto da atividade de desmonte na indústria mineira, qual a correta seleção e melhor gestão de procedimentos na utilização do aço de perfuração / ferramentas de perfuração?

E é precisamente, partindo deste problema primário sempre identificado e com um enquadramento teórico oriundo da metodologia sistémica de Carlos Madureira (1992), que partimos para a possibilidade de construção de novo conhecimento através da elaboração de uma tese original, recorrendo a conceitos conhecidos, para outros que metodologicamente suspeitávamos que poderiam surgir, nomeadamente:

- Partindo da utilização de material / informação já conhecidos, integrando-os agora em processos dinâmicos de análise que permitem obter novas compreensões e interpretações (conjugação dos registos de perfuração já existentes com a seleção dos elementos constituintes da coluna de furação, e. g.);
- Planeando a recolha sistemática de novos dados para sustentar um assunto já conhecido (análise dos resultados obtidos em diferentes configurações da coluna de furação no mesmo ambiente, e. g.);

- Construindo um modelo fundamentado na Metodologia Sistémica, permitindo um tipo de investigação numa área nunca antes realizada por outros estudiosos nesta temática (conjugação da seleção dinâmica da coluna de perfuração com a correta utilização e interpretação dos resultados obtidos, num único modelo de simulação e. g.).

Segundo a Metodologia Sistémica (Madureira, 1992), a possibilidade de construção de modelos representativos da realidade, partindo da observação construtiva de constantes (propriedades) e variáveis (atividades/processos) de objetos sede de Problemas Primários identificados, apresenta-se como uma metodologia que permitirá a assunção da complexidade do real, premissa prenhe de importantes consequências teóricas e operacionais. Seguindo os passos da Metodologia Sistémica, criam-se condições para a transformação desses objetos em sistemas, logo manipuláveis.

O ter sido possível percecionar a dificuldade por parte dos utilizadores das ferramentas de perfuração, em perceber as condicionantes existentes e em escolher a melhor configuração dos elementos de uma coluna de furação, de acordo com os objetivos pretendidos, permite-nos balizar e sublinhar a mais-valia desta investigação que nos propusemos encetar. O desafio de transformar os recursos e atividades envolvidas nas operações de perfuração num modelo devidamente validado, após passagem por vários processos de tentativa de refutação, terá como consequência a produção de resultados de simulação que se revestirão de primordial importância para a seleção, utilização, controle e otimização no uso do aço de perfuração.

Urge, no entanto, sublinhar as seguintes questões de fundo, que na Metodologia Sistémica, como anteriormente afirmado, podem ser considerados Problemas Primários que se pretendem ver resolvidos:

- Existe uma correta identificação dos condicionantes em cada local de trabalho?
- O utilizador é conhecedor das alternativas, relevantes, existentes no mercado?
- A tecnologia existente permite aferir com precisão como deverá ser efetuado o trabalho de perfuração?

- Existe capacidade, nos destinatários destas ferramentas, para a sua correta utilização?
- Existe nos destinatários a necessidade de melhorar os rendimentos obtidos num determinado projeto?
- Poderá a correta seleção, utilização e controle, apuramento dos resultados obtidos e sugestão de melhoria, serem implementados no contexto nacional da indústria extrativa?

Segundo a Metodologia Sistémica, a capacidade de formulação de Problemas Primários apresenta-se como uma oportunidade para a sua resolução, passo fundamental do processo de otimização procurado.

Pretende-se, por isso, desenvolver um modelo baseado na realidade da perfuração, centrado nos trabalhos que utilizam o sistema de perfuração do tipo *top-hammer* (com recurso a equipamentos hidráulicos em furação subterrânea), onde a seleção e otimização da utilização de ferramentas de perfuração seja exposta de forma sucinta, sendo os principais destinatários deste trabalho, os utilizadores destas ferramentas (empresas mineiras, de perfuração, e. g.), empresas dedicadas à comercialização e apoio no terreno das ferramentas de perfuração, e claro, numa vertente educativa, a todos os intervenientes a nível da formação na área da engenharia de minas.

Para tal, a presente tese encontra-se estruturada em duas fases distintas, uma primeira focada na vertente teórica dos conhecimentos relevantes para a perfuração e suas condicionantes, assim como para os modelos de gestão e estatística que servirão de base à análise de dados multivariável que fazem parte desta realidade. Numa segunda fase, mais prática, direcionada para a definição e construção de um modelo representativo da realidade, onde se pretende também desenvolver uma base de crítica ao mesmo de forma a permitir a sua constante evolução. Este processo, estamos em crer, será prenhe de resultados.

## **Parte I – Enquadramento teórico**



A exploração de um jazigo tem como objetivo primordial, a entrega ao consumidor de uma determinada tonelagem de uma substância (obedecendo a determinadas características físicas e químicas) a um preço superior ao preço de custo de todas as operações para a sua obtenção. É claro que podemos ramificar este objetivo em muitos outros a ele limítrofes, sendo no entanto evidente que a resposta para este desafio advém de duas fontes, por um lado a experiência acumulada, o conjunto de soluções bem-sucedidas e utilizadas no passado (*know how – savoir faire*); por outro, a investigação permanente de novas técnicas e tecnologias a aplicar nesta realidade onde, ao longo dos últimos anos, se têm justificado e confirmado a eficácia de muitas das práticas tradicionais amplamente aplicadas nesta atividade aos dias de hoje (Cortez, 1998).

Deste modo, e evidenciado o carácter científico que necessariamente terá sempre que estar subjacente à atividade mineira, convém centrar esta temática nos trabalhos de perfuração, onde de igual forma, a solução dos diversos desafios encontrados nos diferentes contextos da sua aplicação, têm vindo a ser solucionados cada vez mais de uma forma rigorosa.

Existem diferentes metodologias, com carácter intrinsecamente experimental, que se podem aplicar a esta realidade e das quais será possível obter resultados passíveis de serem incorporados em atividades produtivas concretas, nomeadamente aquelas que se regem pelos seguintes passos gerais:

- Observação e medida - só se conhecem bem os fenómenos que se podem exprimir numericamente, possibilitando o tratamento estatístico de dados como ferramentas de apoio à decisão;
- Hipótese e raciocínio - larga intervenção de raciocínios matemáticos, conjugados com avançados meios informáticos, na modelação dos vários cenários (simulação);
- Validação / verificação – em confronto permanente com diversos pontos de vista do real e com o grande rigor, permitido pela manipulação de dados, que hoje em dia a instrumentação digital nos disponibiliza;

- Estabelecimento de lei / standardização – criação de procedimentos dinâmicos garantidamente facilitadores de processos otimizados.

Com estas metodologias em mente, convém, no entanto, contextualizar primeiro a base dos trabalhos de perfuração.

## **1. Perfuração de rochas - Conceito geral**

As propriedades geológicas e mecânicas das rochas estão interligadas, pelo que ambas devem ser estudadas e tomadas em conta aquando da planificação dos trabalhos de perfuração (Heiniö, 1999).

De facto, a seleção do método de exploração, equipamentos a utilizar, dimensionamento do sustimento a aplicar numa galeria, entre muitas outras decisões chave nesta área de atividade, acabam por estar diretamente ligadas à geologia, cuja falta do seu conhecimento aprofundado e conseqüentemente, definição das suas características geológicas leva a uma tomada de decisões que, a breve trecho, poderão atingir proporções desastrosas.

Apesar do conhecimento ao nível da geologia já existente ser muito elevado, do ponto de vista da realidade mineira, importa perceber o seu impacto na realidade específica de um dado projeto e mais concretamente, a sua relação com o desgaste causado aos elementos utilizados na exploração mineral, tendo o autor, com fundamento nas características evidenciadas pelos diversos intervenientes nesta temática das ferramentas de perfuração, evidenciado as propriedades geológicas que nos parecem mais pertinentes para a matéria em estudo.

Importa, assim pois, introduzir alguns termos e as suas definições, no que ao contexto geológico diz respeito, neste trabalho de investigação.



## **1.1. Propriedades geológicas**

Os processos geológicos acabam, de certa maneira, por estar dependentes das propriedades dos minerais e das rochas, conseqüentemente, um conhecimento básico dos materiais constituintes da terra é essencial para a compreensão de todos os fenômenos geológicos.

Apesar de alguma confusão, dependendo claro está do tipo de utilizador em causa, entre mineral e rocha, importa sublinhar que um mineral é uma qualquer substância sólida inorgânica, com uma estrutura química definida que lhe confere um conjunto único de propriedades físicas. São substâncias por vezes muito comuns, como são exemplo as areias e outros solos, compostas essencialmente por minerais (Santos, 2015).

A rocha, por contraste, pode ser definida simplesmente como um agregado natural de minerais, mineraloides, vidro vulcânico e matéria orgânica alterada, onde um exame atento aos seus elementos constituintes, permite verificar a existência de diferentes características entre estes (Silva, 1999).

O termo agregado significa que os minerais se apresentam misturados, mas mantendo as suas propriedades individuais.

Apesar da maioria das rochas serem compostas por mais de um mineral (poliminerálicas), algumas apresentam, na sua constituição, uma grande quantidade de um mineral apenas, sendo nestas circunstâncias consideradas como rochas monominerálicas. Um exemplo bastante comum é o da calcite, mineral que frequentemente é o constituinte principal de grandes unidades litoestratigráficas, como são os calcários.

As rochas encontram-se divididas em três grandes grupos, de seguida descritos, com a necessária simplicidade associada à natureza deste trabalho.

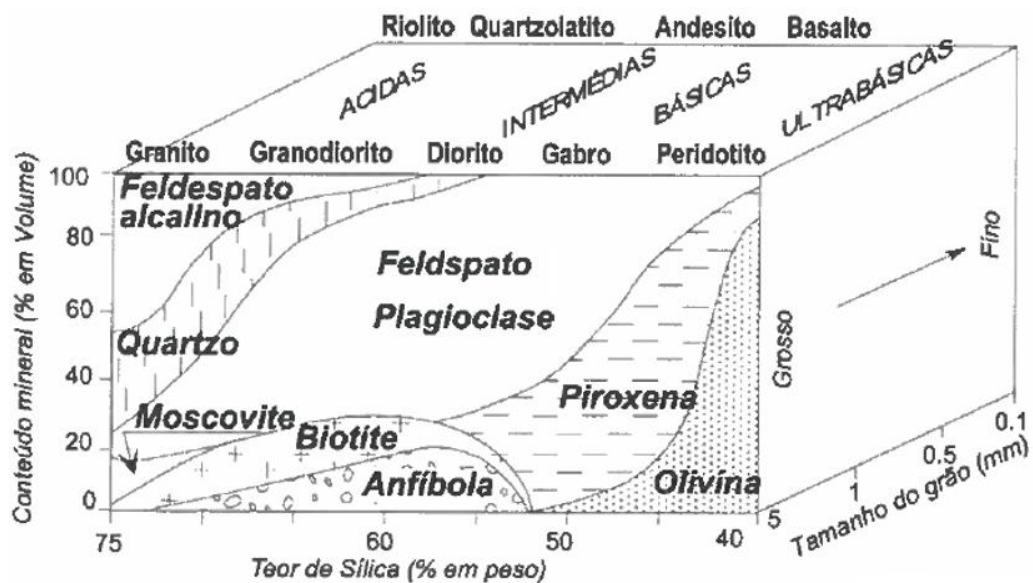
### **1.1.1. Rochas ígneas**

As rochas ígneas resultam diretamente da solidificação de um magma (o termo magma é referente a uma fusão ígnea silicatada, natural, formada por líquido e cristais, proveniente do interior da Terra, dotada de mobilidade e capaz de intruir ou extruir) (Silva, 1999), com origem a profundidades até 200 km no interior da Terra, compostas

por elementos encontrados nos minerais do tipo silicatos e de alguns gases, sobretudo vapor de água, todos confinados ao magma, pela pressão das rochas confinantes. Se a consolidação magmática se verifica a grande profundidade, o seu arrefecimento é lento e os constituintes minerais assumem o estado cristalino. As rochas chamam-se por isso plutónicas, sendo o granito o exemplo mais importante. Estas rochas apresentam textura holocristalina e têm, geralmente, grão visível macroscopicamente.

Se a solidificação do magma se verifica próxima da superfície da crosta (ou à superfície), o seu arrefecimento será rápido, dando origem a rochas vulcânicas, como por exemplo o basalto. Apesar deste arrefecimento rápido do magma, podem resultar três tipos de texturas distintas, holocristalinas (totalmente cristalina), hemicristalinas (parcialmente cristalina e parcialmente vítrea) e vítreas (totalmente vítrea).

Todas as rochas ígneas são essencialmente compostas por minerais silicatados, e embora sob o ponto de vista químico exista uma grande variedade destas, apenas um pequeno grupo de minerais essenciais entra na sua composição, pelo que atendendo à sua composição mineralógica, é comum considerar os seguintes grupos ou famílias nas rochas ígneas (ver figura 1):



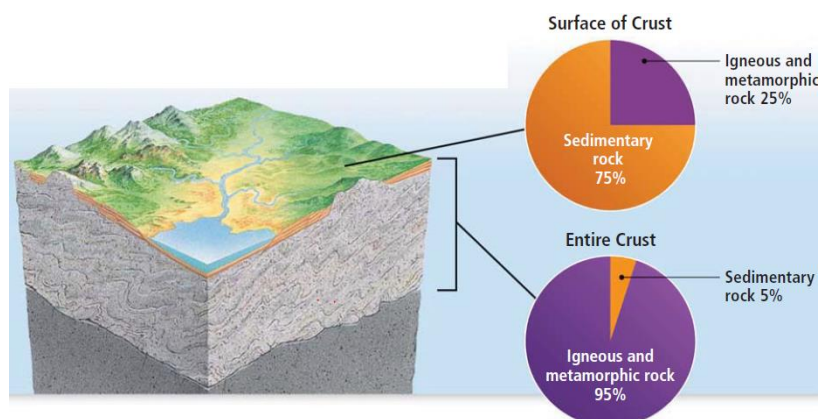
**Figura 1** – Classificação esquemática dos principais tipos de rochas ígneas (modificado de Castroviejo, 1998).

- rochas ácidas (possuem mais de 65% de  $\text{SiO}_2$ ), de tonalidade clara e pouco densas (e.g. granito);
- rochas intermédias (possuem entre 52 a 65% de  $\text{SiO}_2$ ), de tonalidade cinza escura e com densidade intermédia (e.g. diorito);
- rochas básicas (possuem menos de 52% de  $\text{SiO}_2$ ), de tonalidade escura e bastante densas (e.g. basalto);
- rochas ultrabásicas (possuem teor em  $\text{SiO}_2$  aproximado de 40%), de tonalidade escura e muito densas (e.g. peridotitos);

### 1.1.2. Rochas sedimentares

A base para a formação das rochas sedimentares é proveniente dos materiais resultantes dos processos erosivos, sendo a própria palavra sedimentar ilustrativa da natureza destas rochas, uma vez que significa o resultado do processo de deposição dos sedimentos movidos pelos diferentes agentes de erosão (por exemplo a deposição dos sedimentos em suspensão ou transportados pela água).

Apesar de se estimar que estas rochas constituem apenas 5% da crosta terrestre, a sua importância é muito maior do que aquela que este valor pode indicar. A maioria das formações rochosas à superfície são de natureza sedimentar (cerca de 75%), o que está relacionado com o facto de os sedimentos se acumularem à superfície da terra (figura 2).



**Figura 2** – Distribuição de rochas sedimentares na crosta terrestre (Geology, 2015).

Como as rochas sedimentares têm a sua origem na deposição sucessiva de camadas horizontais de sedimentos, apresentam-se normalmente em estratos cuja inclinação varia consoante a ação de movimentos tectónicos ao longo da vida geológica das formações.

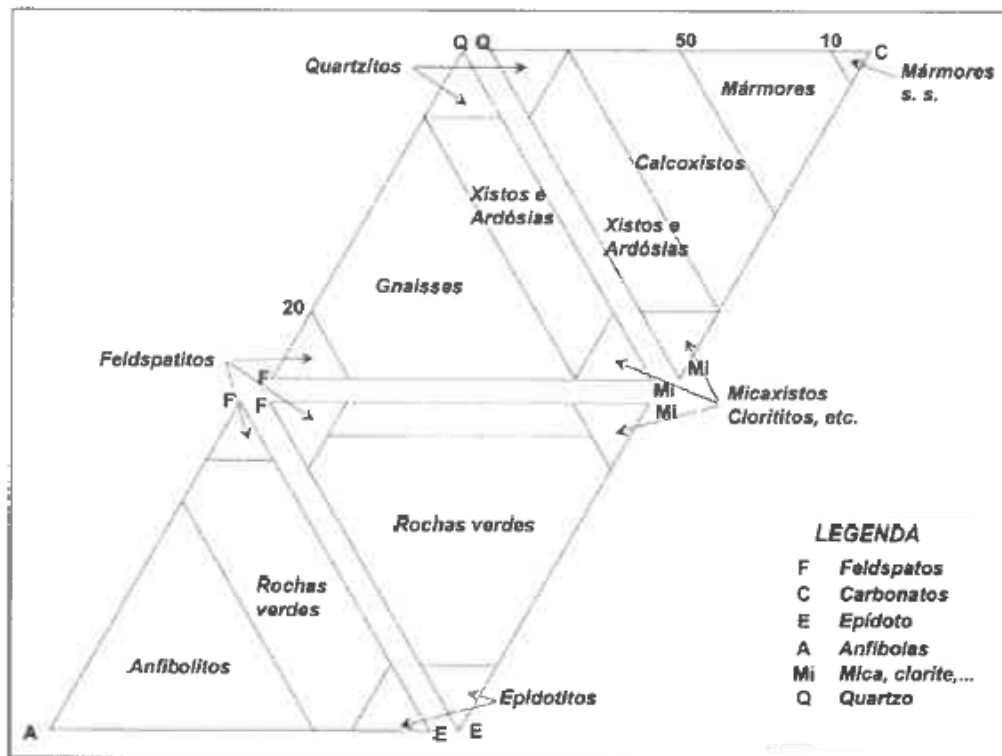
É de referir que muitas rochas sedimentares têm uma grande importância económica, o carvão (por exemplo) é classificado como uma rocha sedimentar, estando o petróleo e o gás natural normalmente associados a outras rochas sedimentares, como por exemplo o sal-gema.

Deste modo, e genericamente, podemos dizer que os processos envolvidos na formação da maioria destas rochas são:

- erosão, consiste no desmantelamento da rocha original e ocorre na área de origem da mesma. Pode ser de natureza predominantemente mecânica ou química, e os seus agentes são sobretudo a água, o ar e os seres vivos;
- transporte, consiste no carreamento dos materiais da área original para a bacia de sedimentação, originando o arredondamento de arestas, a calibragem dos materiais transportados e a alteração dos minerais mais suscetíveis;
- sedimentação, consiste na deposição dos materiais carreados na bacia de sedimentação, após o seu transporte, em suspensão ou dissolvidos em solução;
- diagénese, conjunto de fenómenos físico-químicos que permitem transformar os sedimentos soltos em rochas coerentes.

Como a maioria das rochas sedimentares é constituída pela mistura de três tipos de componentes (constituintes detríticos ou terrígenos, constituintes aloquímicos e constituintes ortoquímicos) consoante a sua predominância podemos classificar este grupo de rochas em **terrígenas ou detríticas**, **aloquímicas** ou **ortoquímicas** (ver figura 3).





**Figura 4** – Diagrama simplificado de classificação das rochas metamórficas em função dos principais componentes mineralógicos (modificado da EN 12670:2001).

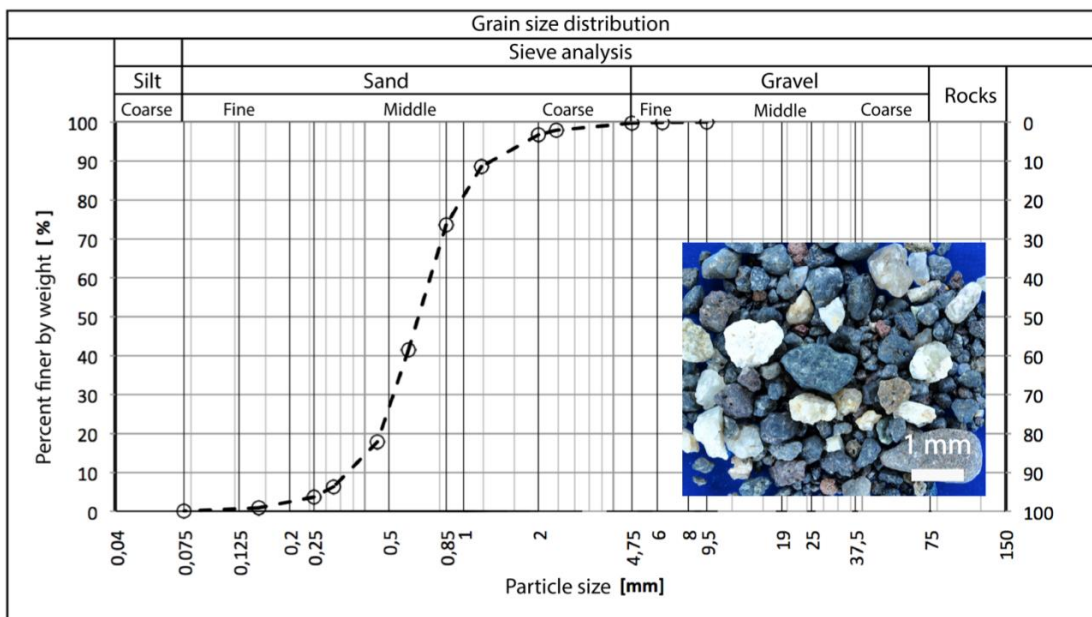
Habitualmente, a classificação petrográfica das rochas metamórficas baseia-se na combinação de critérios texturais e composicionais, chegando a ser comum a utilização de minerais acessórios para melhor definir a rocha (Sousa, 2006), o que demonstra o grande nível de modificações que estas rochas sofrem, incluindo o aumento da sua densidade, o crescimento de cristais, a reorientação dos grãos minerais e até o aparecimento de foliações ou xistosidades.

Por isso e em jeito de resumo, as diferentes características que estas rochas ígneas, sedimentares e metamórficas exibem, são consequência dos diferentes processos que as originaram. Assim e de uma forma resumida, as rochas ígneas são normalmente maciças e as estruturas que possuem resultam da movimentação e cristalização do magma. As rochas sedimentares são usualmente bandadas, formadas por várias camadas ou estratos resultantes da precipitação e acumulação do material a partir da água ou ar. As rochas metamórficas são frequentemente foliadas devido aos agentes de metamorfismo, mostrando também frequentemente dobras que refletem, por vezes, um comportamento plástico do material rochoso.

## 1.2. Propriedades mecânicas

A capacidade produtiva da indústria extrativa suporta a civilização moderna, nomeadamente no seu contributo para a obtenção do ferro, cobre, chumbo, zinco, e para o fabrico do cimento, vidro, plástico e muitos outros materiais. É por isso basilar o seu papel na sociedade, hoje e no passado, sendo a sua importância inquestionável e a sua subsistência um dado (erradamente) adquirido (Mitsubishi, 2014).

Nos trabalhos de escavação de maciços rochosos, seja no campo mineiro ou noutra, é sempre necessária a aplicação de uma determinada energia capaz de fragmentar as rochas até serem atingidos calibres “manuseáveis” (Jimeno, 2017). A medida desses calibres oriundos do processo de escavação é vulgarmente apresentada sob a forma de uma curva granulométrica (ver figura 5).

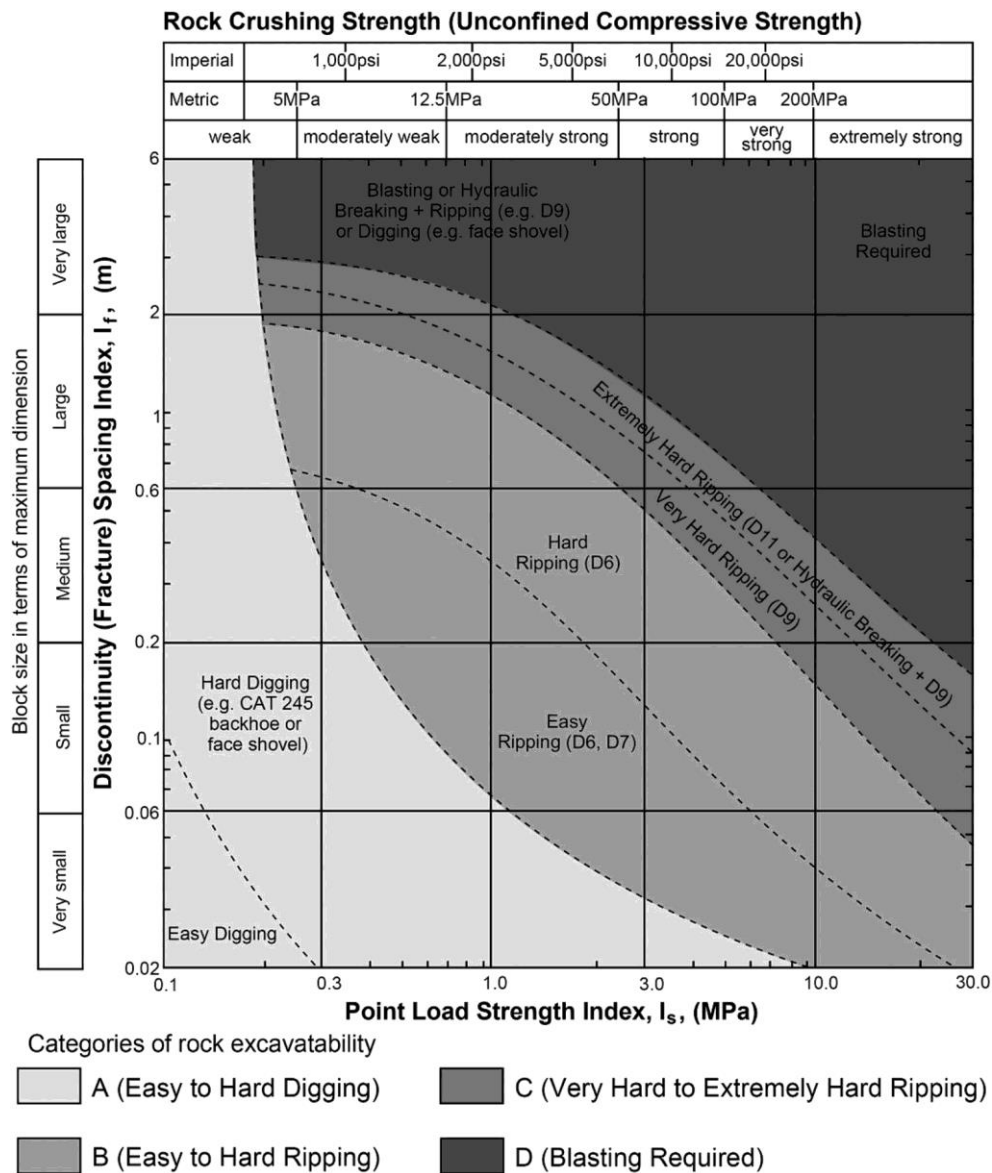


**Figura 5** – Exemplo de uma curva granulométrica (Masgeotecnia, 2016).

Dependendo da capacidade / resistência dos diferentes tipos de rochas e da presença de discontinuidades nas formações geológicas, poderá ser efetuado o desmonte por meios meramente mecânicos (maciços menos competentes) ou com recurso a explosivos (maciços mais competentes).

A escolha da metodologia a aplicar é por isso mesmo um dos primeiros passos, que deverá ser sustentado no reconhecimento das diferentes rochas existentes, das características de cada litologia e das discontinuidades que afetam a zona espacial do projeto em causa (planos de estratificação, diáclases / fraturas, falhas, ente outros).

De acordo com Pettifer e Fookes (1994), em especial no ábaco por estes criado para a escavabilidade dos maciços rochosos (figura 6), é possível idealizar a seleção de um método de escavação tendo em conta o índice de carga pontual (dureza do material), competência do maciço e as suas discontinuidades, o que permite desde logo identificar uma vertente económica associada ao método que for selecionado.



**Figura 6** – Ábaco de escavabilidade de Pettifer e Fookes (1994).



Nestes processos de cominuição existe sempre um consumo de energia, sendo que a utilização de explosivos, acaba por nos permitir uma menor utilização desta, embora em intervalos de tempo curtíssimos, apresentando, no entanto e por outro lado, acrescidas dificuldades da sua aplicação em alguns projetos, uma barreira cada vez mais difícil de se ultrapassar.

Para a correta aplicação de explosivos, são necessários serem efetuados previamente trabalhos de perfuração da rocha, criando desta forma um vazio no interior da mesma que permita a aplicação das cargas explosivas. Importa assim, antes da introdução de outros conceitos, identificar quais as principais propriedades das rochas (e dos seus minerais) que têm influência nesta atividade de perfuração de rocha.

### 1.2.1. Dureza

Este conceito aqui abordado, é referente à dureza dos minerais que constituem uma dada rocha, compreendendo-se assim como a resistência característica que cada mineral apresenta à penetração por um corpo mais duro. Os minerais podem-se classificar quanto à sua dureza, utilizando para isso a escala de Mohs (figura 7), onde se valoriza a capacidade de riscar de um determinado mineral em todos os outros de dureza inferior.

ESCALA DE DUREZA DE MOHS									
									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Talco	Gesso	Calcite	Fluorite	Apatite	Ortoclase	Quartzo	Topázio	Corindo	Diamante
Riscam-se com a unha		Riscam-se com um canivete			Riscam o vidro				

Figura 7 – Escala de dureza de Mohs (Silva, 1999).

Na perfuração de rochas, a dureza dos minerais que a constituem é das propriedades mais importantes a considerar, pois determina numa primeira etapa a

resistência que é apresentada à sua perfuração, assim como o desgaste que irá causar na ferramenta que a perfura.

### **1.2.2. Resistência**

Esta propriedade mecânica é caracterizada pela capacidade de uma rocha resistir à sua destruição, quando sujeita a uma carga exterior estática ou dinâmica. Fundamentalmente, esta propriedade está relacionada com a composição mineralógica da rocha, e tendo em conta o âmbito desta tese, ganha uma importância elevada ao estar diretamente arrolada com a energia necessária a aplicar para a destruir (tal como ilustrado na tabela 1, esta energia varia consoante o tipo de formações rochosas que se pretendem destruir).

Genericamente as rochas têm uma elevada resistência à compressão (os seus valores de resistência à tração variam entre 10 a 15% destes), sendo por isso mesmo os valores desta resistência (medidos em Mpa) a “escala” utilizada pela grande maioria dos fabricantes de ferramentas de perfuração, na distribuição dos diferentes elementos de perfuração adequados para cada tipo de litologia a perfurar.

Os principais fatores que afetam a resistência das rochas, acabam por ser o tamanho dos cristais, a quantidade de quartzo na sua composição, a porosidade da sua estrutura e o sentido em que a força de compressão ou tração é aplicada.

**Tabela 1** – Representação das diferentes resistências à compressão das formações rochosas (adaptado de Jimeno, 2017).

Resistência da rocha à compressão (Mpa)	Branda		Média		Dura		Formação rochosa
							Calcário
							Argilite
50							Marga, calcários margosos
							Lousa brandas a médias
							Margas brandas
							Arenito consolidado
100							Lousa média
							Conglomerado
							Andesite
							Quartzito
150							Mármore
							Granito
							Gneisse
							Diorito
200							Lousa dura
							Calcário
							Basalto
							Skarn
250							Granodiorito
							Quartzito
							Sienito
300							Gabro
							Ferro
350							Ágata
							Basalto duro
							Quartzito
400							Anfibolito
							Corneana
450							Hematite

### 1.2.3. Abrasividade

Traduz-se na capacidade das rochas em desgastar uma superfície de contacto com outro corpo mais duro, sendo esta propriedade muitas vezes utilizada para definir o potencial que a rocha terá em desgastar uma ferramenta de corte (Santos, 2015). O principal fator que aumenta a capacidade abrasiva das rochas, acaba por ser a dureza dos minerais que a constituem (sublinhamos que existem outros de importância inferior, nomeadamente a forma, tamanho e orientação do grão que constitui a rocha, a porosidade da mesma, a sua heterogeneidade, entre outros), e havendo diversos métodos que se aplicam na sua classificação, destacamos o Índice de Abrasividade da Rocha RAI (Rock Abrasivity Index), proposto por Plinninger (2002), que pela temática desta tese e por se tratar de um índice aplicado essencialmente a rochas duras, relaciona a resistência de compressão de uma rocha com o seu teor em quartzo, representado na tabela 2.

**Tabela 2** – Variação índice RAI para diferentes tipos de rocha  
(adaptado de Jimeno, 2017).

		Classificação de abrasividade										
		Ligeiramente abrasiva			Abrasiva		Muito abrasiva			Extremamente abrasiva		
Sedimentares	Marga	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Calcário	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Arenito	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Conglomerado	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Dolomite	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
Metamórficas	Anfibolito	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Xisto	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Micaxisto	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Quartzito	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Gneisse	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Mármore	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
Ígneas	Granito	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Basalto	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
	Diorito	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
		(índice RAI)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

#### **1.2.4. Textura**

O termo textura refere-se à estrutura dos grãos minerais que constituem uma rocha, nomeadamente ao seu tamanho, forma e porosidade (Santos, 2015). Trata-se de uma característica muito importante porque, tal como anteriormente evidenciado na descrição da resistência, afeta diretamente a capacidade de uma rocha em ser perfurada. Uma rocha com grãos lenticulares será sempre mais difícil de ser perfurada que uma com grãos arredondados, de igual forma uma rocha com elevada porosidade (e, por conseguinte, com baixa densidade) será sempre mais fácil de ser perfurada.

#### **1.2.5. Elasticidade**

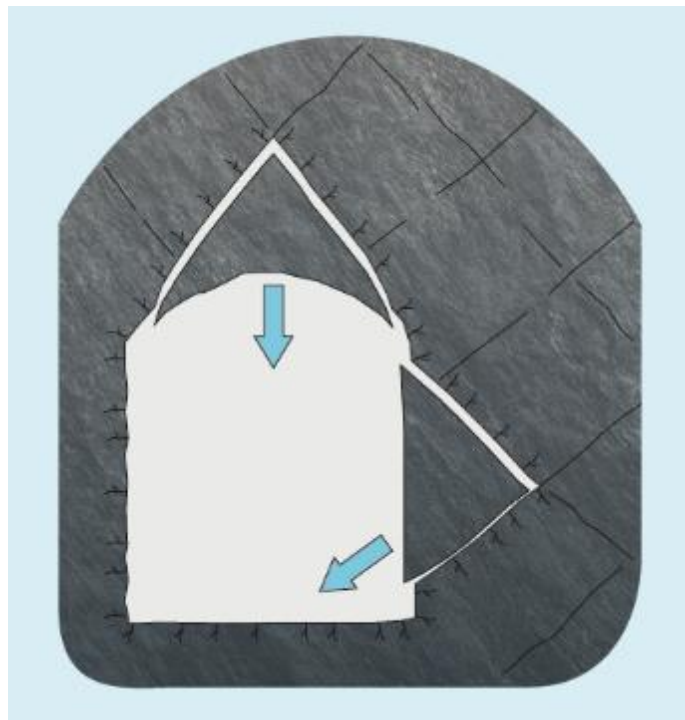
Como a maioria dos minerais constituintes das rochas têm comportamentos elástico-frágeis, esta propriedade acaba por definir o tipo de deformação sofrida quando as rochas estão sujeitas a tensões provocadas por cargas estáticas. Segundo o seu tipo de deformação, as rochas podem ser classificadas como elástico-frágeis (se a deformação obedecer à Lei de Hooke (1676)), plástico-frágeis (cuja destruição precede a deformação plástica) e altamente plásticas (quando a deformação elástica é insignificante) (Jimeno, 2017).

#### **1.2.6. Plasticidade**

Uma vez que a destruição de algumas rochas é precedida pela deformação plástica, esta característica acaba por refletir a capacidade de deformação e simultaneamente de consolidação dos diversos materiais. Esta propriedade depende essencialmente da composição mineralógica da rocha e diminui com o aumento de quartzo, feldspato e outros minerais duros (Silva, 1999).

### 1.2.7. Estrutura

As propriedades estruturais dos maciços rochosos como planos de estratificação, diáclases, falhas ou por vezes as diferentes orientações das descontinuidades numa galeria (figura 8), afetam diretamente a linearidade e rendimentos da perfuração, estando também ligados à estabilidade do terreno após a sua escavação. A distribuição da energia usada na destruição de rocha durante uma perfuração é afetada pelas descontinuidades encontradas, tornando algumas vezes a realização do trabalho de perfuração, uma tarefa quase impraticável (Santos, 2015).



**Figura 8** - Representação das diferentes orientações das descontinuidades numa galeria.

(adaptado de Atlas Copco, 2014).

### 1.3. Escavabilidade

Sabendo da influência que as características mecânicas anteriormente descritas têm na perfuração de rochas, as mesmas não são totalmente esclarecedoras sobre as particularidades que um maciço rochoso apresentará quando é escavado. Desta forma, ao longo dos tempos tem evoluído o conceito de “escavabilidade” de um maciço rochoso,

caracterizado pela capacidade do mesmo em resistir aos trabalhos de escavação, sejam estes realizados mecanicamente ou por explosivos (Thuro, 1996).

Alguns dos fatores envolvidos nos trabalhos de perfuração de rocha podem ser controlados, nomeadamente os de cariz técnico ou logísticos, como a energia aplicada à rocha para a sua destruição. No entanto existem outros fatores, de natureza distinta, que não o permitem, são exemplo as propriedades mecânicas das rochas a perfurar. A figura 9 tenta resumir a interação dos mesmos com o termo escavabilidade.

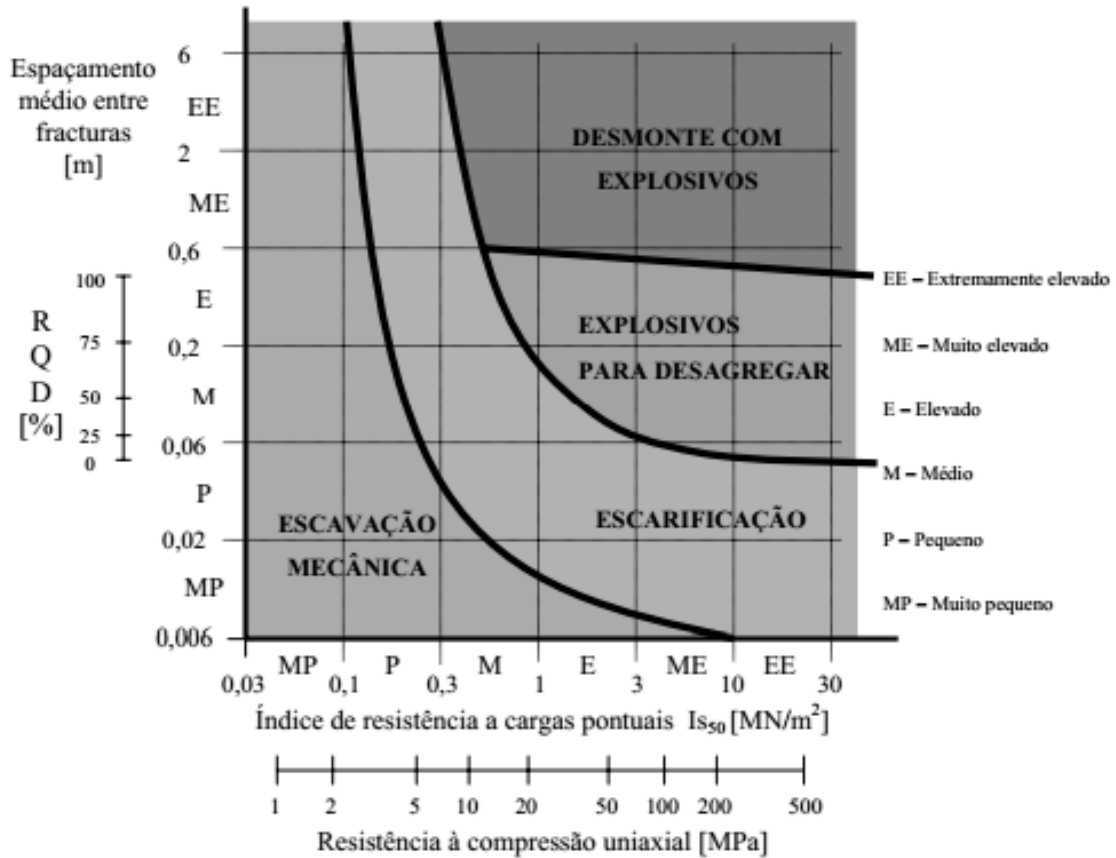


**Figura 9** – Parâmetros que influenciam a escavabilidade (adaptado de Thuro, 1996).

Como tal, e para a correta caracterização da escavabilidade de um maciço rochoso, diferentes parâmetros deverão ser aplicados, sendo o RQD<sup>1</sup> (*Rock Quality Designation*) e a resistência à carga pontual, os parâmetros mais utilizados pelas principais metodologias conhecidas. Destas, o método apresentado por Franklin *et al* (1971) destaca-se das restantes, principalmente pela sua mais usual aplicação em projetos de escavação, mas também pela representação presente na figura seguinte, onde se evidencia

<sup>1</sup> – RQD, criado por DU Deere em 1967

a relação entre a escavabilidade e os diferentes métodos de desmonte de um maciço rochoso.



**Figura 10** – Método de Franklin com a relação entre a escavabilidade e os métodos de desmonte de um maciço rochoso (Franklin *et al*, 1971).

A escavabilidade é por isso, uma característica do maciço muito importante e um complemento, a não descartar, das propriedades geológicas e mecânicas anteriormente apresentadas, aquando da caracterização dos maciços rochosos a perfurar. Através da escavabilidade é possível obter conhecimento sobre o melhor método de escavação a aplicar, o que se torna num importante auxílio durante o planeamento de todo um projeto.

Pela temática abordada nesta tese, iremos centrar o nosso estudo numa realidade onde os trabalhos de escavação são todos eles realizados com recurso a perfuração e aplicação de explosivos, inerência dada pelos tipos de rocha em causa. Ora, a atividade de perfuração de rochas, por si só, e dentro do campo de execução de pegas de fogo, acaba



por ser a primeira operação que se realiza, tendo como finalidade a abertura de vazios com a distribuição geométrica adequada para cada maciço, onde se irão alojar as cargas explosivas e seus acessórios (Jimeno, 2017). Naturalmente o que antecede esta atividade, a marcação geométrica dos pontos de emboquilhamento dos furos, de acordo com o projeto de desmonte previamente delineado.

Por nem sempre se levar devidamente em conta o papel da perfuração na composição final do custo de desmonte, a sua relevância tem sido menosprezada, por isso certos aspetos desta operação, nomeadamente aqueles referentes às ferramentas de perfuração, são relegados para plano secundário nos trabalhos mineiros (Castro, 1986).

#### 1.4. Tipos de perfuração e seus princípios

Como anteriormente referido, a perfuração, num ciclo produtivo na indústria mineira (figura 11), precede as demais operações realizadas e como tal podemos afirmar que o resultado de um desmonte está condicionado pela qualidade da perfuração, assim como, as ferramentas de perfuração acabam por realizar o trabalho mais árduo em todo o processo de desmonte (Castro, 1986).



**Figura 11** - Sequência de trabalhos realizados na escavação de um túnel, pelo método de perfuração e detonação (Atlas Copco, 2014).

Enquanto a dinamite (inventada por Nobel) e as primeiras perfurações efetuadas à percussão surgiram em meados do século XIX, as ferramentas de perfuração tiveram, por sua vez, um desenvolvimento mais tardio, pois apenas depois dos anos 30 do século XX e graças à aplicação de martelos pneumáticos, surgiram as primeiras barrenas integrais com pastilha e metal duro (CW).

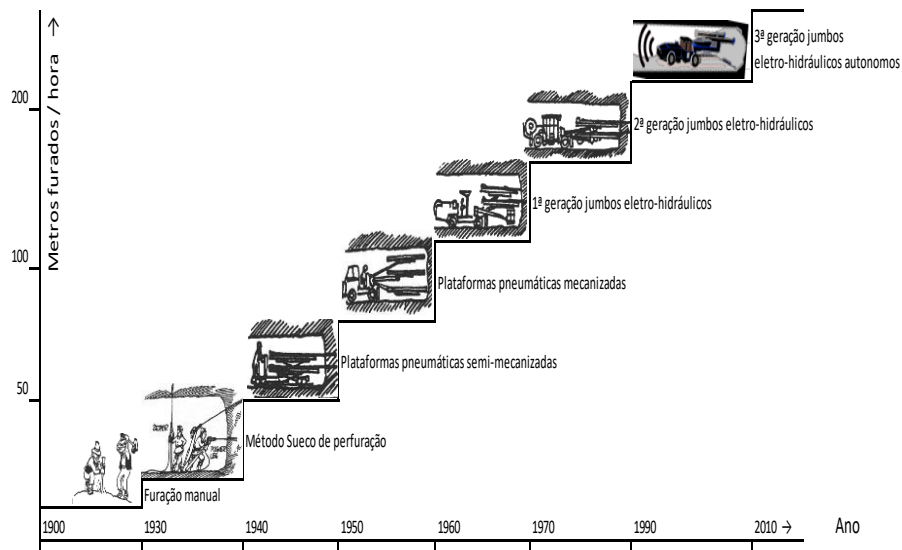
Como em muitas outras áreas na história da humanidade, a necessidade aguça o engenho e, com o desenvolvimento de martelos pneumáticos mais leves, capazes de serem utilizados apenas por um operário, colunas pneumáticas (na terminologia inglesa “*pusher leg*”) que permitiam fornecer o avanço durante a perfuração de uma forma bastante ágil, foi desenvolvido o Método Sueco de perfuração de túneis, que consistia, de uma forma muito resumida, na perfuração de uma malha de furos na frente de desmonte para futura aplicação de cargas explosivas (figura 12). Um salto quântico para a época, permitiu o aumento exponencial da produtividade diária neste tipo de obras.



**Figura 12** – Perfuração de rocha com recurso a um martelo e coluna pneumática, utilizando barrenas integrais (Atlas Copco, 2014).

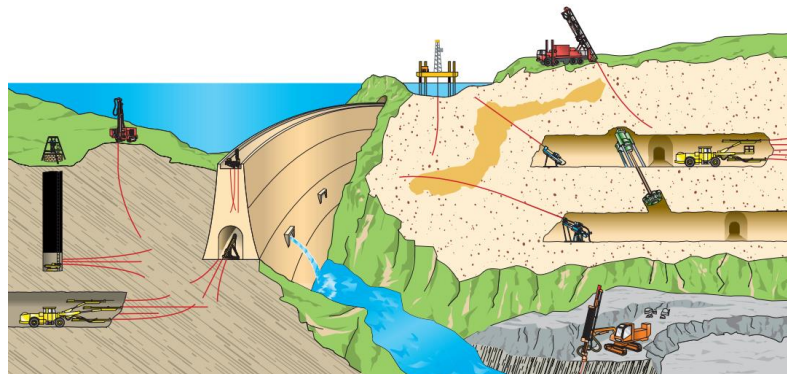
Porém, esta evolução no desenvolvimento das ferramentas de perfuração (através da utilização de ligas de aço cada vez mais resistentes e de processos de fabrico mais apurados), levou também a um evoluir idêntico nos equipamentos de perfuração (figura

13), necessário para, por um lado, permitir extrair a máxima potencialidade das ferramentas de perfuração, mas por outro, para dar resposta aos constantes desafios que foram surgindo com o normal evoluir da técnica. Esta evolução, acabou por atingir o nível de desenvolvimento atual do aço de perfuração que conhecemos (Castro, 1986).



**Figura 13** – Evolução dos equipamentos de perfuração de superfície (adaptado de Atlas Copco, 2014).

O campo de aplicação das ferramentas de perfuração é muito vasto, passando por trabalhos tão diversos como a mineração, a abertura de poços de água, obras de construção civil, pedreiras e desmontes subaquáticos (conforme representado na figura 14), sendo por isso importante explicar os diferentes tipos de perfuração existentes em cada uma destas realidades.



**Figura 14** – Exemplos de aplicação da perfuração de rocha em diversos setores de atividade (Heiniö, 1999).

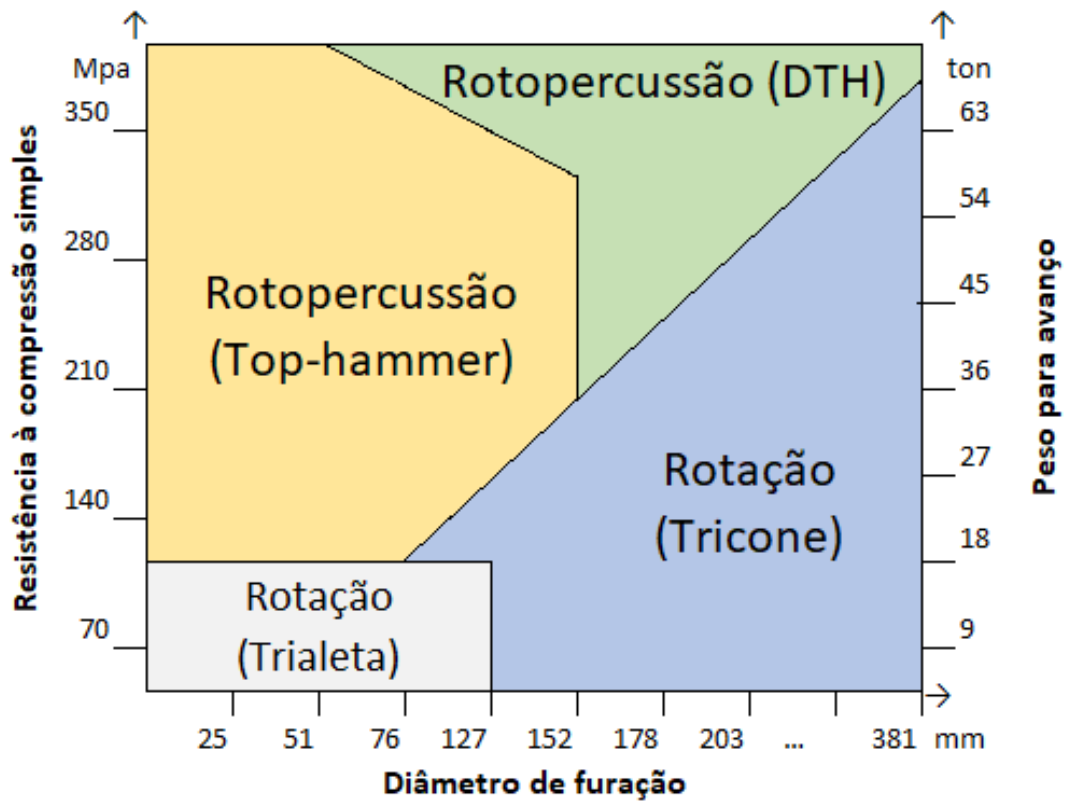
Os sistemas de desmonte de rocha podem ser classificados, segundo a metodologia técnica e recursos neles utilizados, em:

- Mecânicos (tricone, *bit* de botões, roçadora, tuneladora, e.g.);
- Térmicos (lança térmica, plasma, fluido quente ou congelamento, e.g.);
- Hidráulicos (jato de água, erosão ou cavitação, e.g.);
- Sônicos (vibração de alta frequência, e.g.);
- Químicos (dissolução, e.g.);
- Elétricos (arco elétrico ou indução magnética, e.g.);
- Nucleares (fusão ou fissão, e.g.).

Apesar da enorme variedade de sistemas existentes para promover o desmonte de maciços rochosos, na indústria mineira, os trabalhos de perfuração para o desmonte com explosivos utilizam praticamente na sua totalidade a energia mecânica, razão pela qual nos iremos centrar apenas nas aplicações mecânicas da perfuração de rocha.

A seleção do método de perfuração a utilizar acaba por ser influenciada por vários fatores, nomeadamente pelas características do maciço rochoso, pelos seus fatores condicionantes, pelo dimensionamento do trabalho que se pretende efetuar, para dar alguns exemplos, sendo também evidente que os aspetos técnico-económicos (investimento inicial, custo por metro perfurado, e.g.) acarretam um peso relevante nestas decisões.

Centrados nos sistemas de desmonte de rocha por processos mecânicos, usando a resistência do material a desmontar, o diâmetro de perfuração pretendido e a tecnologia disponível para realizar a perfuração de rocha, o abaco da figura 15 resume de uma forma simples as diferentes alternativas que atualmente são utilizadas na indústria extrativa para a realização dos trabalhos de perfuração em rocha.



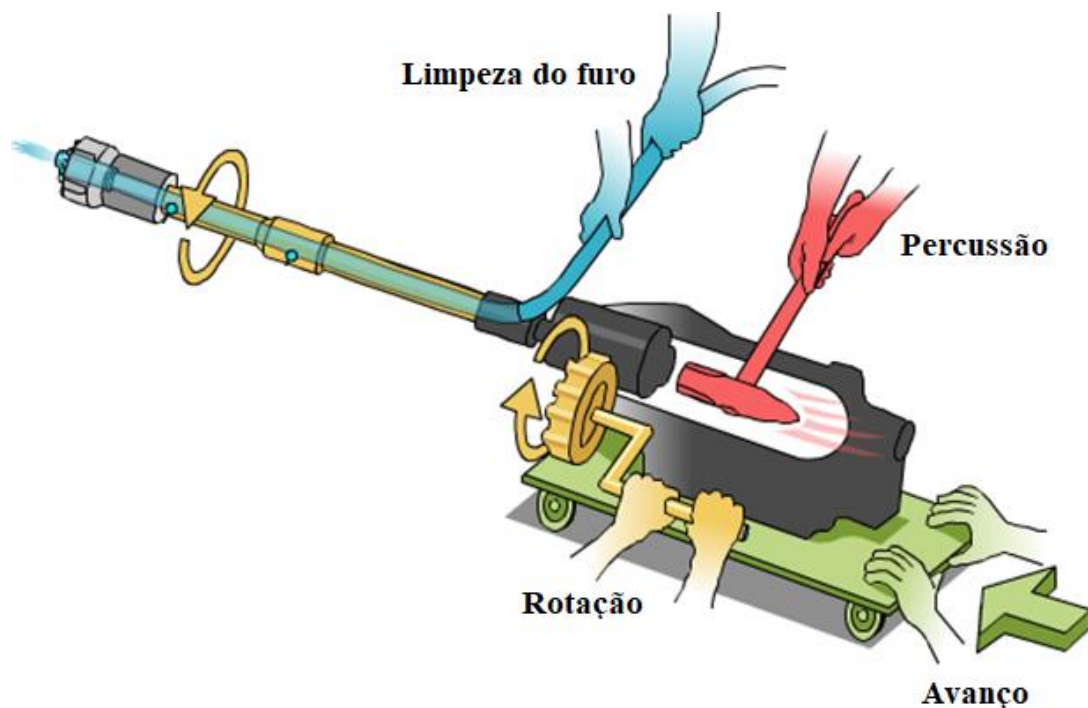
**Figura 15** – Campo de aplicação dos diferentes métodos de perfuração de rocha mecânicos (adaptado de Heiniö, 1999).

A perfuração à rotação (ou perfuração rotativa) consiste na aplicação de duas ações distintas, o corte e o esmagamento, resultantes da pressão (peso para avanço) e da rotação aplicados sobre a rocha a perfurar. Este método é aplicado em todo o tipo de diâmetros, no entanto e dadas algumas limitações a que os restantes tipos de perfuração acima referidos acabam por estar sujeitos, esta metodologia torna-se bastante usual em grandes diâmetros e profundidades de furação (são exemplo a prospeção petrolífera, furos piloto para a abertura de poços/chaminés através do método de “*raise-borer*”, furos para captação de água, para mencionar alguns).

A perfuração à rotopercussão assenta na aplicação da rotação e percussão na perfuração de rocha, é a metodologia utilizada ao longo dos trabalhos de perfuração neste trabalho de investigação e por isso mesmo, será seguidamente detalhada.

### 1.4.1. Perfuração à rotopercussão

Descoberto durante o século XIX, utilizando a energia fornecida pela máquina a vapor de Singer (1838) e Couch (1848), este método consiste na aplicação da rotação e percussão nos trabalhos de perfuração de rocha. Baseia-se na combinação dos parâmetros constantes na figura 16:



**Figura 16** – Exemplificação dos parâmetros envolvidos na perfuração á rotopercussão (adaptado de Atlas Copco, 2015).

- **Percussão**

A energia requerida para a perfuração é gerada por um pistão (de acionamento hidráulico ou pneumático), em que este transmite uma onda de impacto aos restantes elementos da coluna de furação. Este pistão trabalha no interior de um martelo, que apresenta uma potência de impacto, relacionada com a frequência de pancadas e com a energia que liberta em cada uma delas.

Esta relação evolui da equação geral da equivalência massa-energia descoberta por Einstein em 1905 ( $E= mc^2$ ), onde no caso concreto em estudo, a energia cinética do pistão ( $E_c$ ) é igual à sua massa ( $m_p$ ) vezes a sua velocidade ( $v_p$ ), conforme a equação 1:

$$E_c = \frac{1}{2} * m_p * v_p^2 \quad \text{[Equação 1]}$$

Daqui se depreende que a potência de um martelo ( $P_m$ ) é a sua energia por impacto ( $E_c$ ) multiplicada pela frequência de impactos ( $n_i$ ), conforme expresso na equação 2:

$$P_m = E_c * n_i \quad \text{[Equação 2]}$$

Torna-se desde já evidente a relação direta entre a massa do pistão e a frequência de impacto na valorização da potência de um martelo, sendo comum relacionar a velocidade de penetração instantânea na rocha com a percussão (Jimeno, 2017).

- **Rotação**

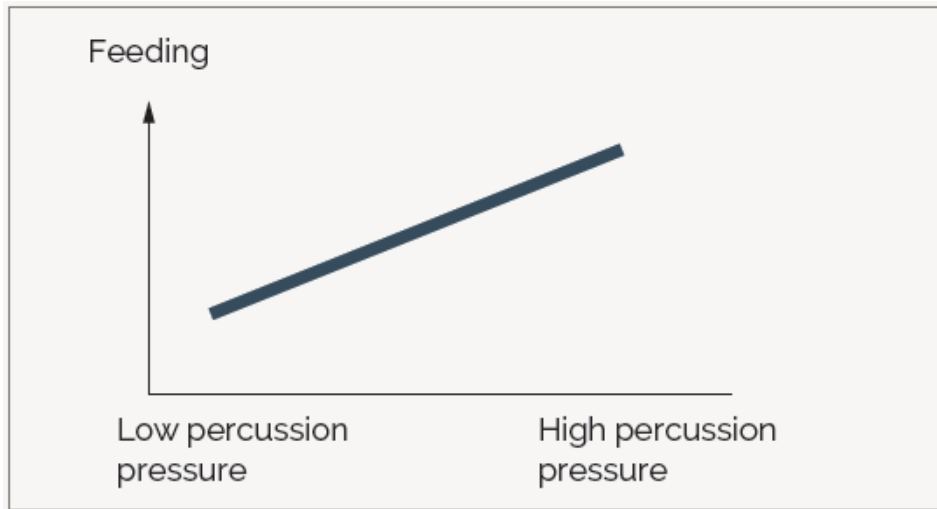
Utilizada para garantir que o impacto no terreno a perfurar será sempre feito em locais diferentes do impacto anterior. Relaciona-se com o tipo de rocha a perfurar e a ferramenta de perfuração utilizada, tem grande importância no rendimento que o processo de perfuração consegue ter, ou seja, na capacidade de transmitir à rocha a máxima energia produzida pelo martelo.

- **Avanço**

A pressão de avanço sobre a ferramenta de perfuração garante o seu contato com a rocha a furar, permitindo desta forma a correta transmissão da energia de percussão à litologia em causa. O seu valor depende da potência disponível, fracturação e dureza do maciço rochoso e do tipo de ferramenta de perfuração.

A sua pertinência no processo de perfuração é perceptível na correlação direta que existe entre a pressão de avanço e a pressão de percussão (figura 17), onde quanto maior

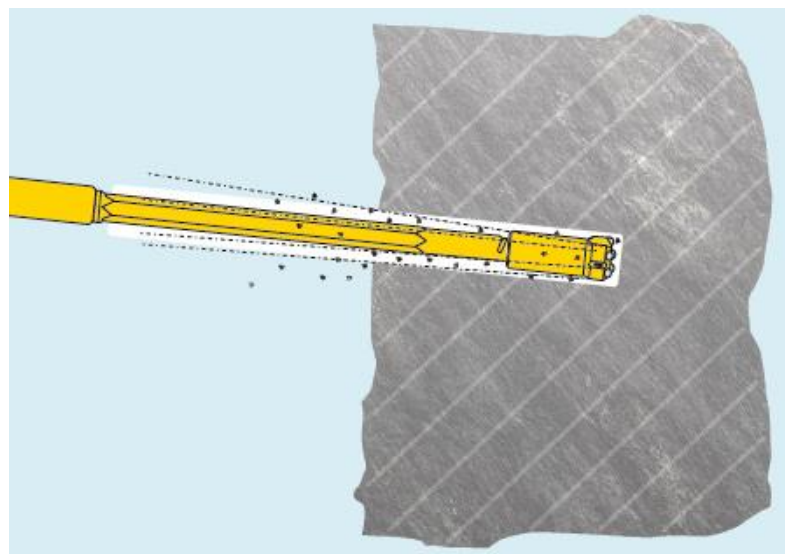
for o valor da percussão possível de aplicar a uma rocha, maior deverá ser a pressão de avanço.



**Figura 17** – Relação entre pressão de avanço e pressão de percussão durante a perfuração de rochas (Epiroc, 2019).

- **Limpeza do furo**

O fluido de limpeza utilizado no processo de perfuração de rocha (normalmente ar ou água) vai permitir remover os detritos de furação do fundo do furo, permitindo desta forma a manutenção de uma frente livre (diga-se limpa, de detritos de rocha) que possibilite a correta transmissão da energia de impacto à litologia a perfurar (figura 18).

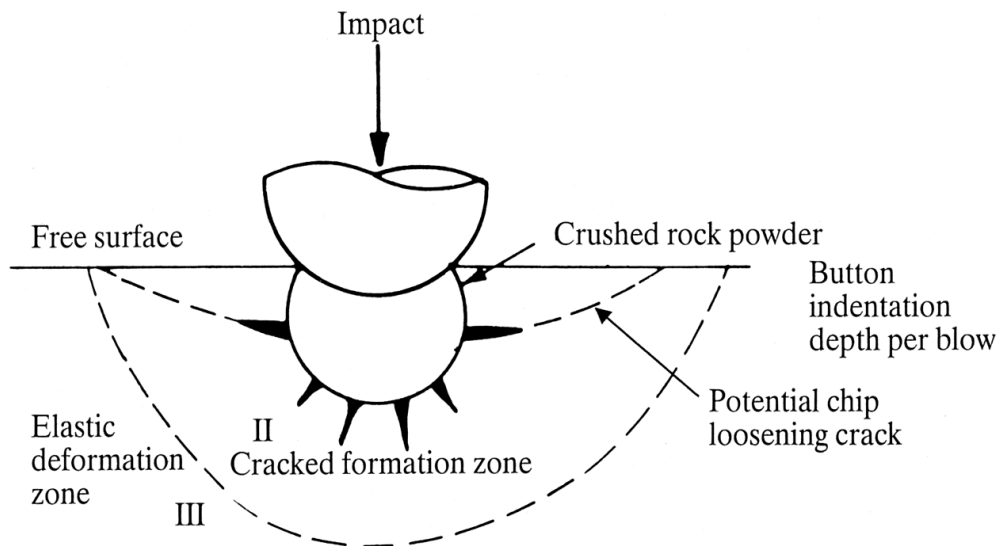


**Figura 18** – Esquema de limpeza dos detritos de furação (adaptado de Atlas Copco, 2015).



A limpeza do furo é ainda influenciada pela densidade dos detritos a remover, o seu tamanho e a sua forma.

O processo de perfuração utilizando a rotopercussão inicia-se com a energia (cinética) gerada pela percussão que é transmitida através de diversas peças em aço, que por sua vez, a transferem ao terreno. Uma zona de stress é criada na rocha em torno deste ponto de contato, que aumenta conforme se aumenta a carga (conforme a figura 19 apresenta). O material mais perto deste contato é esmagado continuamente, formando-se uma zona de corte na pedra, fraturando-a e dando origem a uma cavidade cilíndrica de diâmetro e comprimento pretendido (Atlas Copco, 2015).



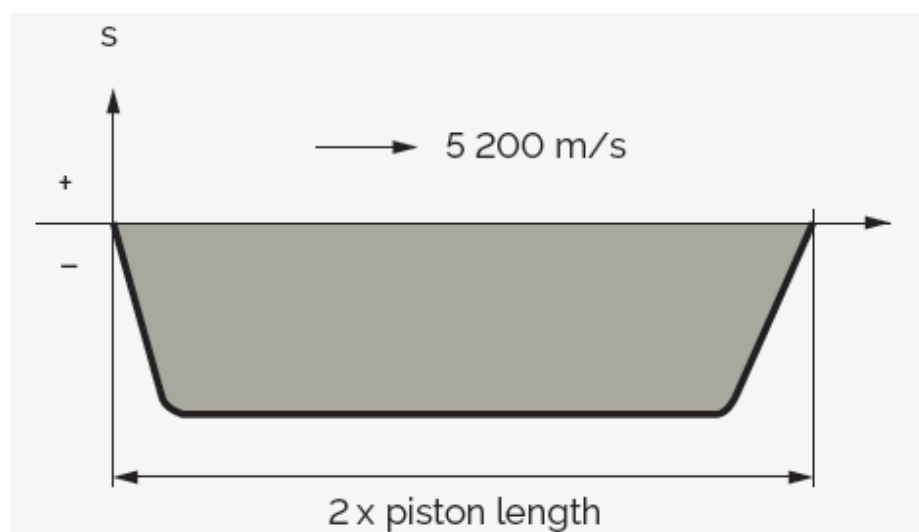
**Figura 19** – Princípio de destruição da rocha durante a perfuração (Heiniö, 1999).

Podemos dividir esta destruição em quatro fases distintas:

- **Zona esmagada**, quando a ponta da ferramenta começa a danificar a superfície da rocha, a tensão aumenta com a carga crescente e o material é elasticamente deformado (zona III na figura 19). Na superfície de contato, são imediatamente formadas numerosas microfissuras que pulverizam a rocha em pó ou partículas extremamente pequenas. Nesta zona é feita a transmissão da energia de percussão à rocha.

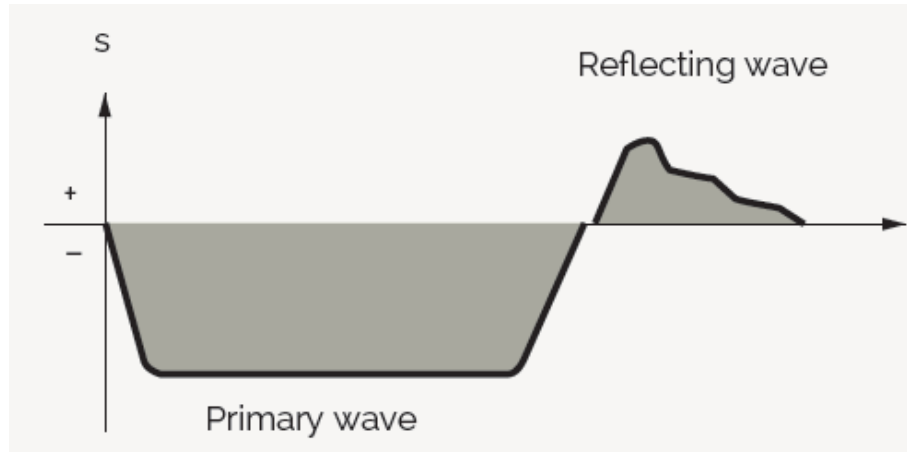
- **Formação de fissuras**, com o continuar do processo, fissuras dominantes começam a formar-se na rocha, sendo esta fase uma das principais barreiras à propagação da energia de percussão (zona II na figura 19).
- **Propagação de fissuras**, após esta barreira de energia ser superada, segue-se uma propagação espontânea destas fissuras (zona II na figura 19), até a força motriz de tração que patrocina o seu desenvolvimento, decair a um ponto onde estas fissuras se tornam estáveis.
- **Formação de fragmentos**, quando a carga atinge um nível suficiente, a rocha parte-se em um ou mais fragmentos, formados pelas fissuras laterais que se propagam até à superfície livre. Cada vez que um fragmento é formado, uma nova superfície é criada, evoluindo este processo até à abertura de uma micro cratera.

A onda de impacto (de compressão) gerada é transmitida a uma velocidade de aproximadamente 5200 m/s (figura 20). Esta onda de forma retangular e comprimento igual ao dobro do comprimento do pistão que a originou, tem uma amplitude variável consoante a velocidade que o pistão tem aquando do impacto e da forma do pistão e restantes elementos por onde vai ser transmitida.



**Figura 20** – Níveis de tensão na onda de impacto durante a perfuração (Epiroc, 2019).

Quando esta onda atinge a rocha e porque a sua transmissão (do pistão no martelo que a originou à rocha que se pretende perfurar) não é perfeita, esta onda é refletida através da coluna de furação (como onda de tração), agora em direção ao martelo (sentido contrário ao que tinha inicialmente e conforme representado na figura 21).



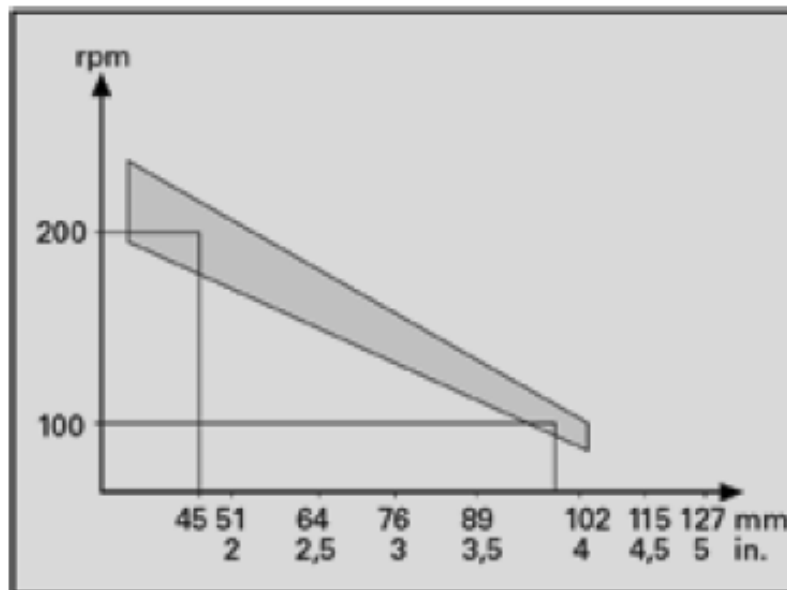
**Figura 21** – Onda de choque primária e refletida (Epiroc, 2019).

Como anteriormente explicado, a energia de impacto do pistão, multiplicada pela frequência do impacto, produz a energia de percussão, sendo a diferença entre o que foi produzido (onda de compressão) e o que foi refletido (onda de tração) a quantidade de energia que se conseguiu transmitir à rocha a fraturar.

No entanto este processo não é imune a outros fatores que contribuem para a perda de energia, nomeadamente a compressão e flexão dos elementos metálicos constituintes da coluna de furação, a fricção interna no martelo e lateral dos detritos de furação no furo, o desgaste dos elementos metálicos, entre outros (Atlas Copco, 2014).

Pelo exposto é, pois, de importância capital por um lado, otimizar a transmissão das forças envolvidas neste processo à rocha, mas também por outro lado, minimizar as perdas de energia e os danos por elas causadas, que acabam por lhe estar inerentes.

Uma vez que se pretende que cada impacto seja feito numa face da rocha que ainda não foi fragmentada, otimizando assim a transmissão de forças entre o *bit* e a rocha a furar, é necessário que haja uma regulação do ritmo de rotação de acordo com o diâmetro de furação. A relação entre velocidade de rotação e diâmetro de furação está espelhada no gráfico da figura 22.



**Figura 22** – Relação entre RPM com diâmetro de furação (Epiroc, 2018).

As duas linhas representadas neste gráfico, delimitam a área correspondente à combinação ótima desta relação. Uma vez que a mesma varia consoante o tipo de rocha, esta relação nunca é estanque, devendo ser adaptada ao tamanho dos detritos de furação que são obtidos (como já explicado anteriormente, pretendem-se fragmentos de pequeno diâmetro e não pó de pedra). De uma forma geral, quanto maior o diâmetro de furação, menor a velocidade de rotação.

Por outro lado, para que a energia criada no martelo seja corretamente transmitida à rocha a perfurar, o contato entre os elementos da coluna de furação e o terreno tem de ser o mais constante possível, pelo que a força de avanço é utilizada para garantir esta ligação. A sua incorreta aplicação tem efeitos nefastos no rendimento da operação de furação à rotopercussão, se não vejamos:

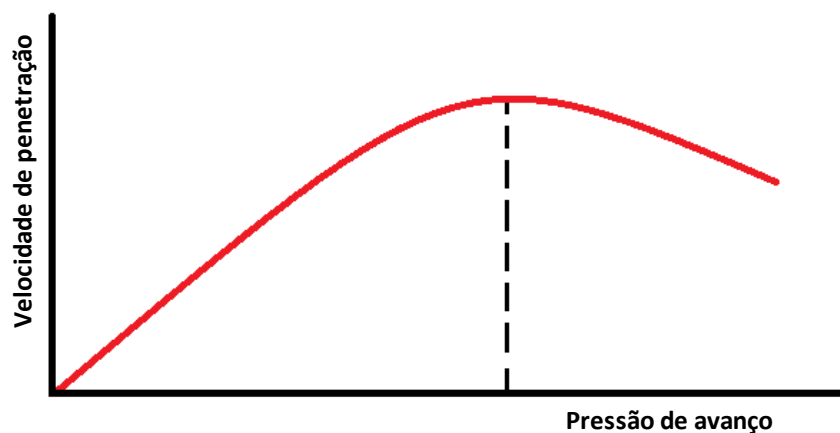
No caso de ser insuficiente:

- reduz velocidade de penetração, causada pela ausência de contato entre coluna de furação e rocha;

- aumenta o desgaste nos elementos da coluna de furação, causado pelo aumento das tensões criadas na coluna pela má transmissão ao terreno das ondas de impacto;

No caso de ser excessiva:

- reduz a velocidade de penetração (figura 23), ao esforçar a rotação normal da coluna pelo excesso de contato com o terreno, o impacto faz-se mais vezes em locais com material fraturado, e como tal, com elevadas perdas de energia;
- aumenta os desvios de furação, ao não conseguirem ser transmitidas ao terreno as forças criadas, o excesso de avanço aumenta a flexão da coluna de furação dentro do furo, o que altera o ângulo de contato com o terreno, e como tal, a direção do furo;



**Figura 23** – Influência da pressão de avanço na velocidade de perfuração  
(adaptado de Jimeno, 2017).

Paralelamente a estes fatores, a limpeza do furo durante a perfuração tem uma grande importância, pois sem a mesma, o processo perfurativo não é eficaz. Não basta que a rotação permita que a percussão seja distribuída em zonas por fragmentar, é imperativo que cada vez que um fragmento de rocha é criado, este consiga ser removido da frente do furo, permitindo assim que o próximo impacto seja feito numa zona sem

fragmentos soltos de rocha. Uma consequência muito usual da dificuldade de limpeza num furo é o desgaste excessivo dos elementos da coluna de perfuração.

A limpeza dos detritos de furação é feita por um fluido (ar, água ou espuma), que é injetado sob pressão no furo, através do interior dos elementos constituintes da coluna de furação. Os detritos provenientes da perfuração são assim levados até à boca do furo pelo espaço entre as paredes do furo e a coluna de furação, conforme identificado na figura 24, onde o fluido de limpeza é representado pelas setas azuis e a remoção dos detritos de furação representada pelas setas vermelhas.



**Figura 24** – Representação da atuação do fluido de limpeza durante a perfuração (Epiroc, 2019).

#### **1.4.1.1. Martelo de superfície (vulgo *top-hammer*)**

Nesta variante da perfuração à rotoperfuração, a rotação e percussão são produzidas fora do furo, sendo estas duas ações transmitidas ao longo da coluna de furação até ao *bit* (zona de contacto com terreno). Diâmetros geralmente usados neste tipo de furação, variam entre 32 mm e os 200 mm (Jimeno, 2017). Amplamente reconhecido pelas elevadas taxas de penetração, quando em condições favoráveis, é o sistema que mais desenvolvimento tem vindo a sofrer nos últimos anos, fruto da importância que o martelo tem em todo o seu desempenho, e mais concretamente no desenho do pistão que inicia todo o processo de perfuração.

Neste caso convém, no entanto, distinguir dois tipos de martelos e as suas características:

- **Martelo pneumático**

Associados ao início da perfuração à rotopercussão, apesar das limitações existentes fruto da evolução do aparecimento de outras tecnologias, ainda hoje são muito utilizados em cenários específicos, onde a sua leveza e facilidade de operação fazem a diferença.

Um martelo acionado por ar comprimido (figura 25), consiste basicamente em:

- **Boquilha**, onde se aloja o encabadouro da barrena. Este elemento é o responsável por transmitir o movimento de rotação à barrena;
- **Pistão**, responsável pela percussão sobre o encabadouro da barrena;
- **Câmara de compressão**, responsável por regular a pressão acima e abaixo do pistão, criando o seu movimento;
- **O mecanismo de rotação**, que ao estar interligado ao movimento do pistão através de uma porca dentada, é o responsável por criar a rotação na boquilha do martelo;
- **O sistema de limpeza do furo**, que consoante a aplicação, pode ser apenas de ar ou uma mistura de ar e água.

Limitados a furos com uma profundidade máxima a rondar os 30 m, estes martelos têm ainda um consumo de ar comprimido aproximado de 2,4 m<sup>3</sup>/min por cada centímetro de diâmetro perfurado, fator pelo qual, ao haver tecnologia disponível com menor consumo de energia, limita a sua aplicabilidade nos dias de hoje e nos projetos com requisitos elevados de produtividade.

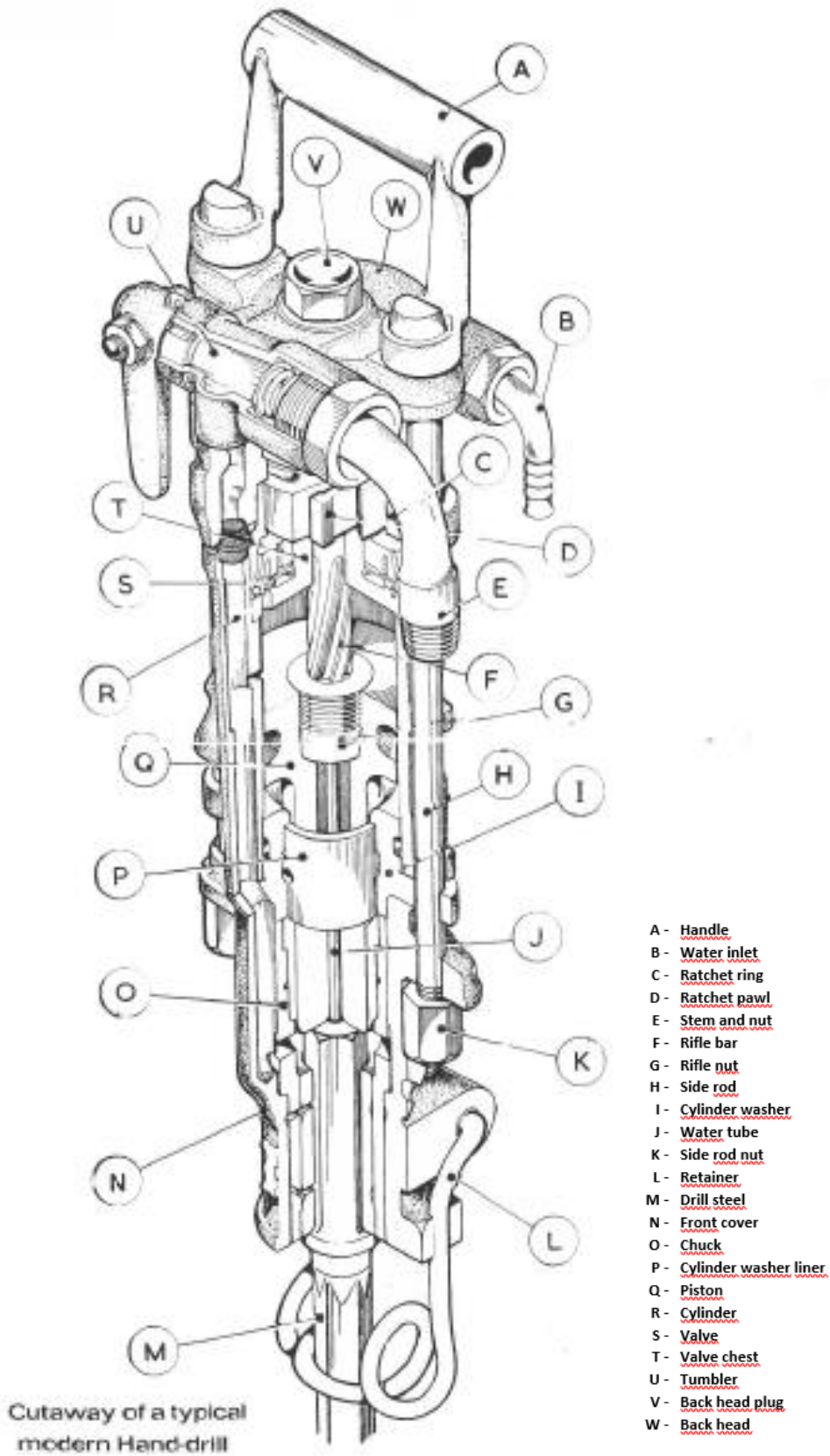


Figura 25 – Corte longitudinal de um martelo pneumático (Gardner-Denver, 1986).



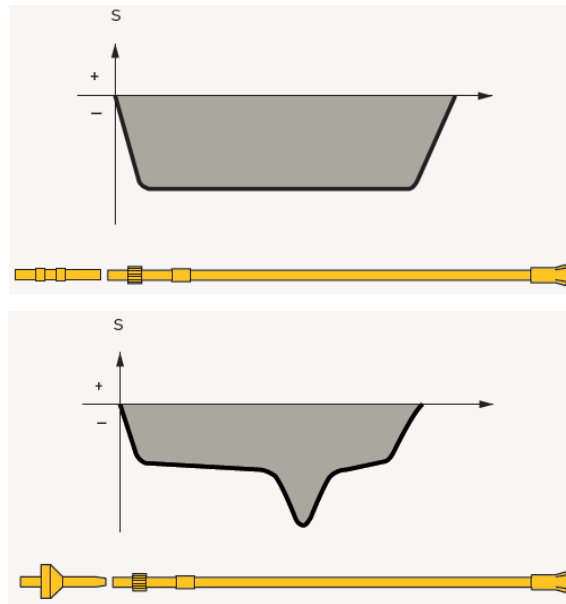
- **Martelo hidráulico**

No final dos anos 60 do século passado, fruto das necessidades e tecnologia disponível, os martelos hidráulicos entraram na realidade da perfuração rotopercutiva, tendo gradualmente vindo a evoluir nos seus componentes (figura 27) e na sua maior utilização.

Em traços gerais, os seus constituintes são idênticos aos já descritos para os martelos pneumáticos, no entanto a maior diferença passa pela forma como todos os mecanismos são acionados. No caso dos pneumáticos, um compressor (geralmente de motor diesel) produz o ar comprimido necessário para acionar o movimento do pistão, movimento este responsável por criar também a rotação inerente ao processo de perfuração. No caso dos martelos hidráulicos, um motor diesel atua sobre um grupo de bombas que fornecem um caudal de óleo a cada um dos componentes do martelo, fazendo cada um destes componentes um processo autónomo de todos os outros (rotação independente da percussão).

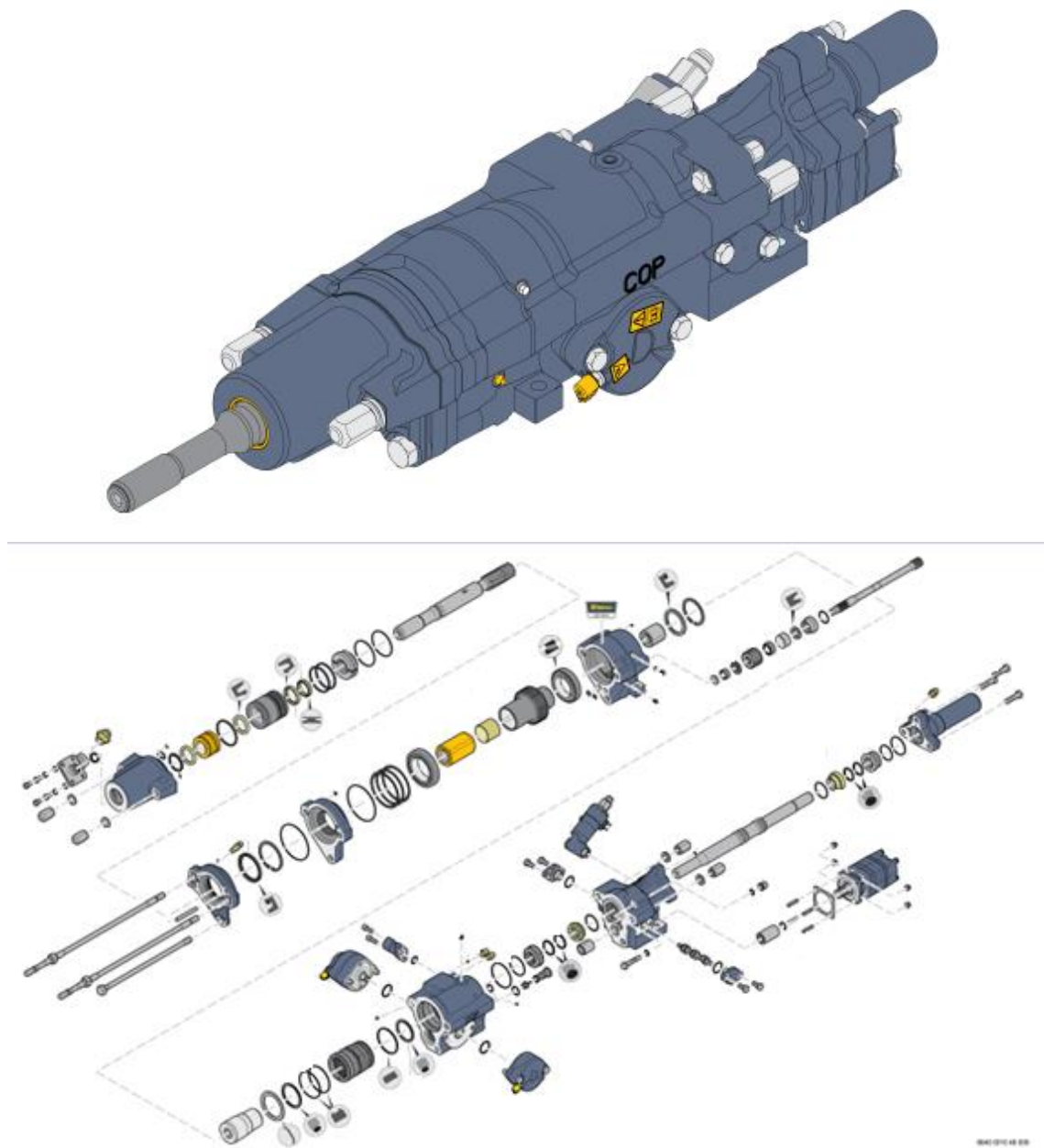
Esta diferença veio permitir retirar um melhor rendimento ao processo de perfuração, alicerçado em:

- Menor consumo de energia, ao trabalhar com fluidos a pressões muito superiores às utilizadas no pneumático, o consumo de energia necessária para o seu acionamento é de aproximadamente 1/3 da realidade pneumática;
- Maior rendimento das ferramentas de perfuração, fruto do anteriormente descrito, a forma do pistão no martelo é muito diferente (secção longitudinal menor que no caso dos martelos pneumáticos), o que para além do seu menor peso, permitiu criar uma onda de percussão mais limpa e sem variações inerentes às diferentes secções encontradas na coluna de perfuração pneumática (tal como apresentado na figura 26). Tal efeito reduz a fadiga nos elementos da coluna de perfuração;



**Figura 26** – Diferenças na onda de percussão entre martelo hidráulico (superior) e pneumático (inferior) (Epiroc, 2019).

- Maior rendimento na perfuração, graças à melhor capacidade de transmissão da energia ao terreno (ao invés dos martelos pneumáticos onde a rotação e percussão estão dependentes do mesmo caudal de ar comprimido, nos martelos hidráulicos cada elemento é acionado pelo seu circuito hidráulico individual, o que permite obter um melhor controlo e performance). Estes martelos conseguem ter entre 50 a 100% de melhorias na velocidade de perfuração;
- Melhores condições ambientais, os níveis de ruído baixaram consideravelmente ao não haver escape do ar comprimido;
- Maior elasticidade na operação, os martelos hidráulicos permitem uma afinação dedicada de cada componente, o que ajuda na adaptação aos diferentes tipos de rocha a perfurar;



**Figura 27** – Representação dos componentes de um martelo hidráulico (Epiroc, 2019).

#### **1.4.1.2. Martelo fundo-de-furo (vulgo DTH)**

O martelo fundo-de-furo ou DTH (sigla de *down-the-hole*) é caracterizado pela sua ampla utilização em diferentes terrenos e aplicações, continuando aos dias de hoje a estender a sua conceção original de perfuração primária. Andre Stenuick, da Stenuick Freres Belgium, foi o criador deste tipo de perfuração à rotopercussão nos anos 50 do século passado (Halco, 2006), numa altura em que a perfuração era normalmente

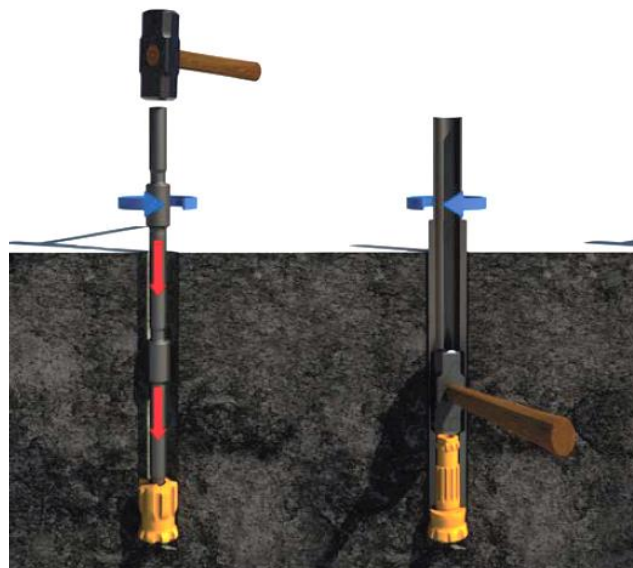
realizada com recurso a martelos de superfície (pneumáticos) ou à rotação (usando tricones).

No entanto, como a perfuração à rotopercussão com martelo de superfície se torna progressivamente mais lenta com o aumento da profundidade, Stenuick criou um sistema de perfuração onde era possível contrariar esta limitação, tendo as indústrias de mineração, poços de água, sondagens e engenharia civil demonstrado desde logo o seu interesse nesta tecnologia.

*Down-the-hole* (fundo-de-furo) refere-se ao local onde a ação do martelo ocorre quando comparado com os martelos de superfície, acoplados à coluna de perfuração (figura 28). O pistão do martelo DTH está sempre em contato direto com o *bit* ao longo da perfuração, o que permite evitar a perda de energia transmitida à rocha à medida que o furo é executado.

Sendo este um sistema pneumático, as taxas de penetração com estes martelos são diretamente proporcionais à pressão do ar, o que dito por outras palavras significa, dobrar a pressão do ar resultará em aproximadamente o dobro da penetração (Halco, 2006).

O funcionamento destes martelos (figura 29) baseia-se na percussão direta de um pistão no *bit* de perfuração (em contacto com a rocha), sendo o fluido de acionamento o ar comprimido, fornecido desde a superfície pelo interior dos tubos (ou varas DTH), que ao estarem ligados a uma unidade de rotação à superfície, transmitem o movimento de rotação ao martelo.



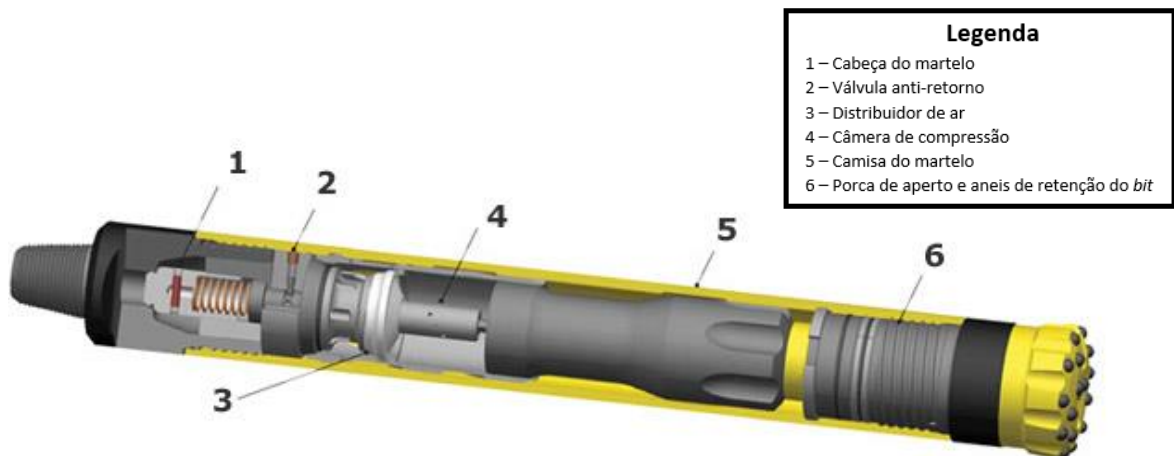
**Figura 28** – Representação da perfuração com martelo *top-hammer* (esquerda) e martelo DTH (direita) (Epiroc, 2019).

A limpeza dos detritos de furação é feita pelo espaço livre entre as paredes do furo e a coluna de perfuração.

Os primeiros martelos desenvolvidos tinham uma válvula e um revestimento interno, o que associado aos tipos de compressores na altura disponibilizados pelo mercado, representava uma limitação da capacidade de pressão de ar destes primeiros martelos, que era da ordem dos 12 bar (170 psi). Devido aos inúmeros e frequentes problemas operacionais causados pelo bloqueio desta válvula (muitas vezes pela passagem de grandes volumes de água ou através da passagem de detritos de furação pelo interior do martelo), foram desenvolvidos os martelos DTH sem válvulas, com menos peças internas e reduzida manutenção, eliminando assim os problemas operacionais anteriormente experimentados. Estes martelos, graças à utilização de materiais mais resistentes, passaram também a permitir pressões de ar da ordem dos 28 bar (400 psi).

As grandes vantagens deste tipo de martelos podem ser resumidas em:

- Velocidade de penetração constante ao longo de todo o furo;
- Melhor limpeza dos detritos de furação, graças ao menor espaço anelar entre as paredes do furo e a coluna de furação;
- Menor desgaste na coluna de furação (maiores secções do que com os martelos *top-hammer*, e como tal, mais aço disponível);
- Menores desvios de furação, a transmissão da percussão sofre menos perdas desde o pistão até ao terreno;
- Menor consumo de ar comprimido, comparando igual diâmetro de perfuração com martelo de superfície;
- Menor ruído durante a furação;



**Figura 29** – Corte longitudinal de um martelo DTH (Epiroc, 2019).

## 1.5. Tipos de equipamentos

Associados aos diferentes métodos de perfuração anteriormente detalhados, os equipamentos existentes para a sua aplicação nos diferentes cenários da indústria extrativa, têm evoluído de forma idêntica aos requisitos do mercado, ou seja, tal como o impulsor máximo da evolução nos diferentes tipos de perfuração acabou por ser a procura cada vez maior de materiais pela sociedade moderna, o mesmo fez com que a evolução dos equipamentos de perfuração fosse uma constante, estando o seu desenvolvimento hoje em dia focado na melhoria da sua performance face à redução do respetivo impacto ambiental.

Importa por isso abordar os diferentes tipos de equipamentos existentes no mercado, onde se pretende evidenciar as suas diferenças, e em particular, as características relacionadas com a temática desta tese, as ferramentas de perfuração de rocha.

### 1.5.1. Equipamentos *top-hammer*

Os equipamentos do tipo *top-hammer* são caracterizados por serem bastante versáteis na sua utilização, estes equipamentos são no geral, constituídos por quatro elementos distintos, a saber, o motor, bombas hidráulicas, compressor e martelo. O martelo (ou “*drifter*” usando a terminologia inglesa), está acoplado à coluna de furação que, como anteriormente explicado, fornece a percussão, rotação, avanço e fluido de

limpeza durante a furação. Consoante o diâmetro de perfuração pretendido, existem vários modelos de equipamentos, onde podemos fazer uma diferenciação entre eles segundo as seguintes características:

- diâmetro de furação (tipo de trabalho a realizar);
- capacidade de limpeza (caudal de ar comprimido do seu compressor);
- peso operativo (tamanho do equipamento);
- potência do martelo (capacidade produtiva).

A tabela 3 resume esta informação de uma forma mais sucinta.

**Tabela 3** – Resumo dos diferentes tipos de equipamentos *top-hammer*.

<b>Ø de furação</b>	<b>Caudal de ar comprimido</b>	<b>Peso operativo</b>	<b>Potência do martelo</b>	<b>Tipo de equipamento</b>
27-51 mm	23 l/s @ 8,5 bar	3 500 kg	5 Kw	H
38-64 mm	70 l/s @ 8,5 bar	7 000 kg	12 Kw	H ou P
45-89 mm	90 l/s @ 8,5 bar	10 000 kg	18 Kw	H
64-127 mm	140 l/s @ 10,5 bar	15 000 kg	23 Kw	H ou P
89-165 mm	223 l/s @ 12 bar	20 000 kg	28 Kw	H
98-178 mm	380 l/s @ 25 bar	27 000 kg	50 kw	H

**Legenda:** H = Equipamento Hidráulico  
P = Equipamento Pneumático

A sua escolha está relacionada com o tipo de rocha onde os trabalhos de desmonte se irão realizar, tendo a produtividade pretendida um peso relevante neste processo de dimensionamento.

Face ao já anteriormente descrito, a produtividade tem vindo a aumentar ao longo dos anos, estando também o conforto da sua operação e o impacto ambiental do equipamento a evoluir de igual forma, com especial relevo nesta ultima década onde,

graças às normativas ambientais em vigor, tem sido possível garantir que esta indústria tenha hoje cuidados nas emissões poluentes libertadas, ruído e vibrações produzidas que no passado pareciam apenas uma miragem.

Este desenvolvimento sustentado dos equipamentos tem vindo também a permitir a sua aplicação noutros contextos de trabalho, nomeadamente em obras públicas (por vezes muito perto de habitações conforme evidencia a figura 30) e nos trabalhos de reconstrução/renovação do património já existente.



**Figura 30** – Exemplo de aplicação de equipamento de perfuração do tipo *top-hammer* numa obra publica delicada (Epiroc, 2019).

### 1.5.2. Equipamentos DTH

O equipamento do tipo DTH também conhecido como fundo-de-furo, é no geral de maior dimensão que os equipamentos do tipo *top-hammer* e estão desenhados para trabalhar em realidades mais exigentes do ponto de vista dos diâmetros de furação e profundidades pretendidas.

Neste caso, os equipamentos do tipo fundo-de-furo são constituídos também por quatro elementos distintos, a saber, o motor, bombas hidráulicas, compressor e unidade de rotação, que ao estar acoplada à coluna de furação, transmite a rotação, avanço e fluido de limpeza, o que como anteriormente explicado, irá também servir para acionar o martelo fundo-de-furo, elemento responsável pela percussão durante a perfuração.

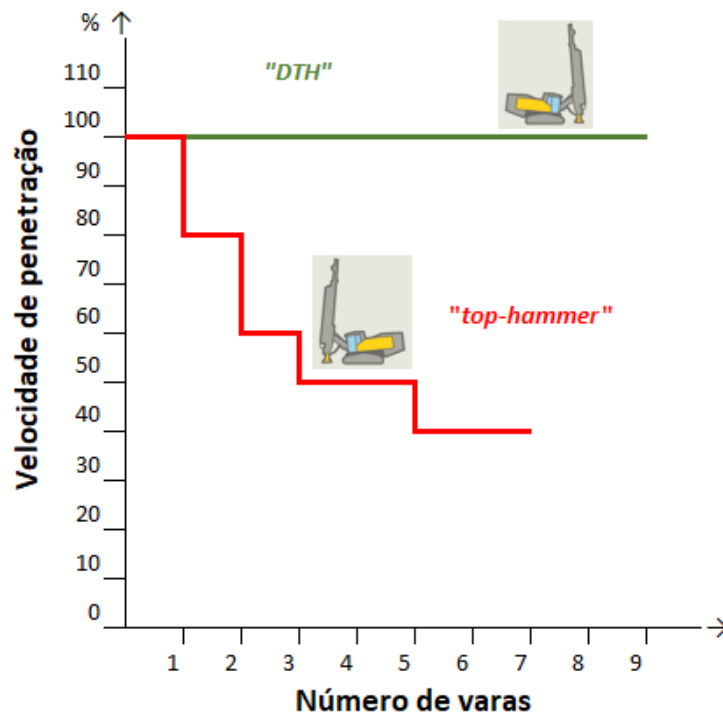


Sabendo que o ar comprimido é a base do rendimento deste tipo de equipamentos, os mesmos podem-se, no entanto, agrupar consoante a tabela 4:

**Tabela 4** – Resumo dos diferentes tipos de equipamentos DTH.

Ø de furação	Profundidade máxima de furação	Caudal de ar comprimido	Peso operativo	Tamanho de martelo DTH
70-105 mm	Até 50 m	120 l/s @ 15 bar	3 500 kg	2” ou 3”
90-152 mm	30-50 m	295 l/s @ 25 bar	15 000 Kg	3” ou 4”
110-178 mm	25-55 m	405 l/s @ 25 bar	20 000 Kg	4”, 5” ou 6”
110-203 mm	25-55 m	470 l/s @ 30 bar	24 000 Kg	4”, 5” ou 6”

A grande diferença entre os equipamentos de perfuração do tipo DTH e do tipo *top-hammer* (representado na figura 31), reside no rendimento de cada um deles, como já evidenciado anteriormente, o sistema de furação fundo-de-furo mantém um rendimento constante durante a furação, desde que o fornecimento de ar comprimido seja o suficiente para o correto desempenho dos trabalhos (caudal para limpeza dos detritos de furação até à boca do furo e pressão para correto funcionamento do martelo).



**Figura 31** – Variação da velocidade de perfuração com o aumento da profundidade (adaptado de Jimeno, 2017).

Importa por isso sublinhar a relevância que o compressor de ar confere a estes equipamentos, acabando por funcionar como um agente limitador (mais até do que o sistema hidráulico, do avanço criado pelo peso na coluna de furação, ou até mesmo, do torque que a unidade de rotação do equipamento consegue transmitir à coluna de furação) nos trabalhos que se pretendem efetuar.

Outra diferença entre estes dois tipos de equipamentos reside nos diferentes rendimentos que se obtêm na sua operação, por se tratarem de equipamentos direcionados para grandes volumes de produção, os equipamentos fundo-de-furo conseguem obter rendimentos substancialmente superiores aos do tipo *top-hammer*, no entanto convém salientar que em campos de aplicação bem distintos. Por um lado, os equipamentos *top-hammer* estão direcionados para terrenos duros a muito duros, enquanto que os equipamentos DTH se enquadram mais no âmbito dos terrenos mais macios, o que também explica o seu melhor desempenho.

## **1.6. Ferramentas de perfuração**

Em qualquer trabalho de perfuração, o objetivo de ter uma alta produtividade será conseguido à custa de se garantir uma alta produção à custa de um baixo custo operacional. Assim quanto maior for o volume de rocha desmontado associado a um determinado custo de aço de perfuração, menores serão os custos totais por m<sup>3</sup> desmontado.

De forma a permitir esta produtividade, será sempre necessário garantir uma correta escolha das ferramentas de perfuração, devendo para tal os seguintes fatores serem tidos em conta (Liljekvist, 1989):

- Melhor qualidade e disponibilidade (duração) do produto;
- A melhor penetração possível;
- Furar com o menor desvio possível.

Para realizar um trabalho de furação específico, podem-se efetuar diversas combinações de acessórios (elementos que constituem uma coluna de furação), sendo os principais fatores a considerar:

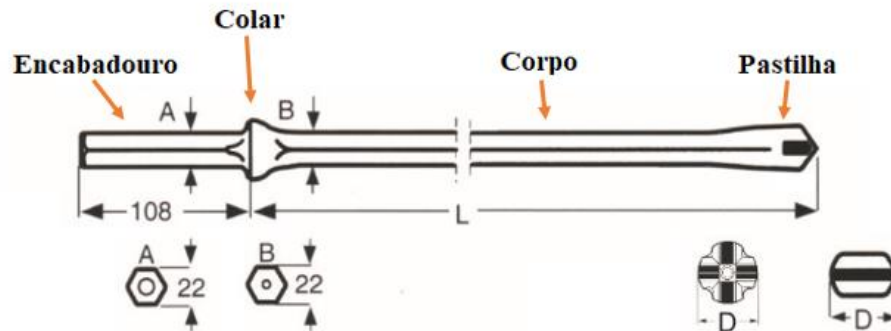
- O diâmetro de furação pretendido;
- O comprimento de furação pretendido;
- A estrutura, resistência e abrasividade da rocha;
- O tipo de equipamento a utilizar;
- A disponibilidade de material e experiência anterior.

### **1.6.1. Aço de perfuração integral**

Associada ao início da perfuração por rotoperfuração, juntamente com os martelos pneumáticos, a barrena integral (peça única em aço, perfil sextavado e dotada de um furo longitudinal, conforme detalhe na figura 32) começou por ser uma peça simples em aço, no entanto com o evoluir da sua técnica de fabrico, passou a ter diferentes componentes. Hoje em dia é composta por:

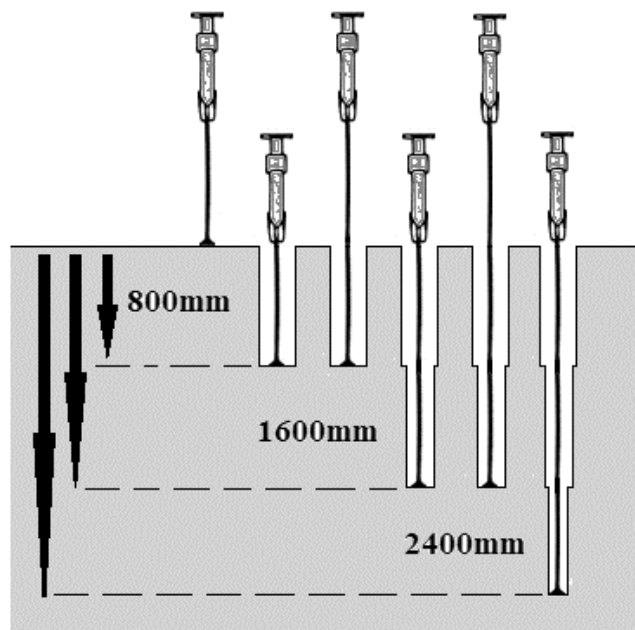
- Encabadouro (ou punho), que é a parte da barrenas que entra no martelo através da boquilha (que lhe transmite o movimento de rotação) e recebe diretamente a energia de percussão do pistão;
- Colar, é a peça que limita a entrada da barrena no interior do martelo, recebendo deste a pressão de avanço;
- Corpo, é o segmento que constitui a parte central da barrena, através da qual é transmitida a energia de percussão, a rotação e a pressão de avanço recebidas do martelo;

- Pastilha, que constitui a ponteira da barrena feita em metal duro, que transmite a energia recebida do martelo e efetua a fragmentação da pedra. Possui um orifício por onde escoo o agente de limpeza.



**Figura 32** – Descrição de uma barrena integral (adaptado de Castro, 1986).

As barrenas integrais são fabricadas em séries, reunindo um vasto conjunto de comprimentos e diâmetros. Variam entre si em 0,80 m reduzindo o seu diâmetro de pastilha em 1 mm por cada tamanho seguinte (figura 33). Esta regra visa facilitar o trabalho de troca entre barrenas, muito associadas a perfurações manuais, onde a elevação do martelo do solo ao encabadouro (ou punho) da barrena é feito muitas vezes por apenas um trabalhador.



**Figura 33** – Esquema representativo de uma furação com barrenas integrais (adaptado de Castro, 1986).

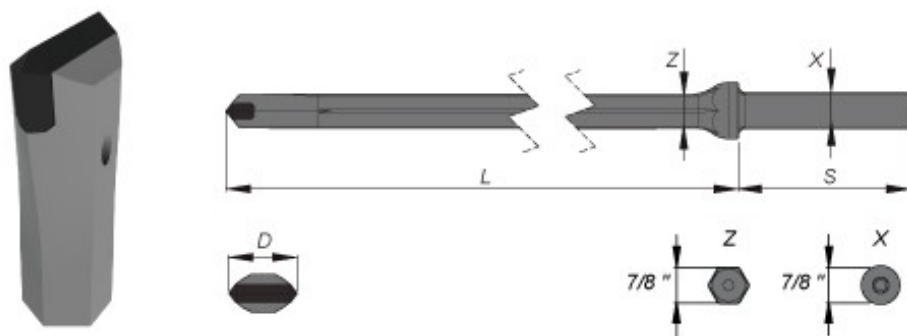
Atualmente são muito utilizadas nas pedreiras de rocha ornamental, sendo também usadas em condições muito específicas em trabalhos de construção civil, subaquáticos ou de demolições em locais confinados (graças à capacidade de perfuração com aproximadamente um metro de distância da frente livre).

Existem, no entanto, duas vertentes que devem ser consideradas e que seguidamente são descritas.

### 1.6.1.1. Barrena enraideira

Usada para marcar um sentido de corte num dado furo, esta barrena é utilizada após a execução do furo inicial, tendo um diâmetro de pastilha superior ao da barrena integral de igual comprimento. Muito utilizadas em trabalhos com recurso a pólvora, caso das pedreiras de rocha ornamental, esta barrena difere da integral por ter uma pastilha mais achatada e o encabadouro ser de secção redonda (figura 34), permitindo por isso que a mesma seja utilizada com a boquilha hexagonal do martelo, mas por ter uma forma diferente, não efetua rotação durante a furação.

Desta forma, aumenta o diâmetro de furação apenas nos dois pontos de contacto que passa a ter dentro do furo, criando assim duas estrias laterais ao longo de todo o furo, permitindo dessa forma, “guiar” o sentido de corte pretendido num determinado bloco de pedra.



**Figura 34** – Barrena enraideira (Palbit, 2015).

### 1.6.1.2. Barrena cónica

Idêntica à barrena integral, mas com um cone em vez de uma pastilha (figura 35), esta barrena permite ser utilizada com um *bit* (de botões ou de pastilhas), o que lhe aumenta a versatilidade pois permite a furação em diferentes diâmetros sem haver necessidade de trocar de barrena. Uma vez que, teoricamente, o desgaste de uma barrena será maior na sua pastilha, esta alternativa veio aumentar a durabilidade do aço durante os trabalhos de perfuração, o que conjugado com um baixo custo dos *bits* de botões cónicos, o aumento da velocidade de furação e a aplicabilidade ao sistema hidráulico (em contraponto ao pneumático), se tornou na eleição para o esquadrejamento de blocos nas pedreiras de rocha ornamental.



**Figura 35** – Barrenas e *bits* cónicos (Rockmore, 2016).

### 1.6.2. Aço de perfuração seccionado

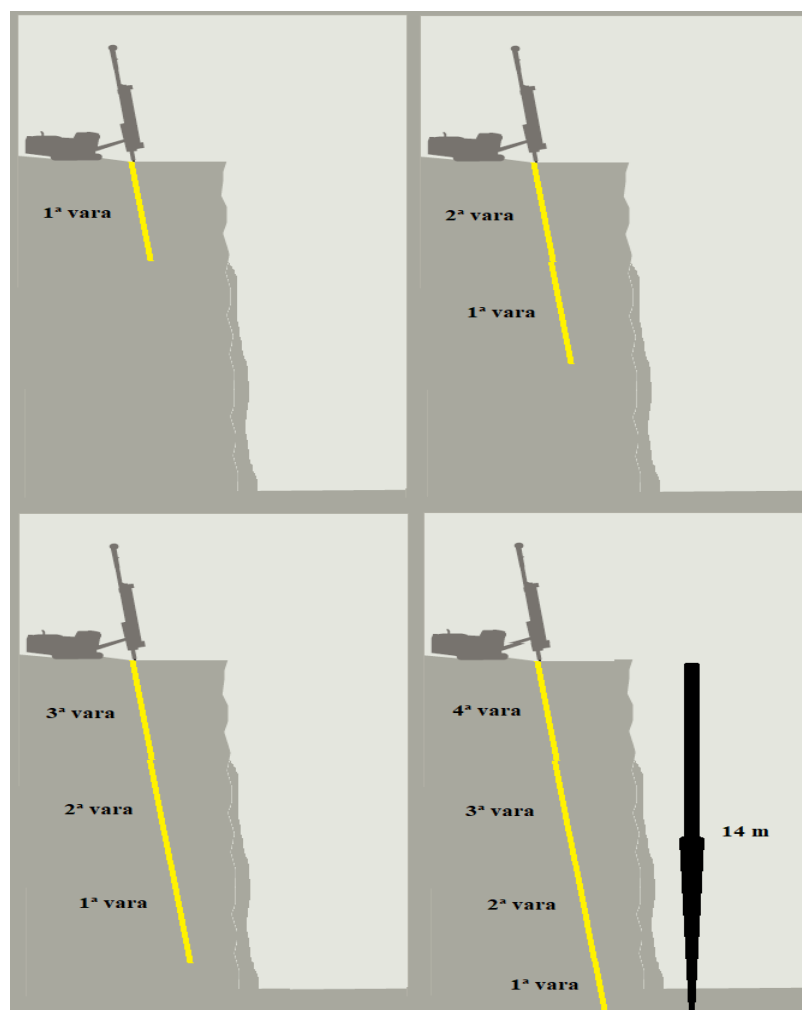
Com base nas limitações existentes na utilização do aço integral, nomeadamente no diâmetro de perfuração e nas profundidades atingidas, surgiu a necessidade de utilizar aço de perfuração seccionado, utilizado em perfuradoras de maior potência, permitindo a

escolha de diversas combinações de acessórios para a realização das operações de perfuração.

Ao invés das barrenas integrais (ou cónicas), com o aço de perfuração seccionado (figura 36), tornou-se possível continuar os trabalhos de perfuração até à profundidade pretendida, sem ser necessário remover do interior do furo a ferramenta, bastando acrescentar um novo elemento aos já existentes na coluna de perfuração.

Com este sistema de hastes de perfuração acopláveis, tornou-se possível a realização de trabalhos de perfuração em locais confinados, onde as barrenas integrais não podiam ser empregues.

Para além disto, tornou-se possível a execução de furos com maior diâmetro e profundidade, o que com a evolução que existiu nos equipamentos, veio permitir a realização de grandes desmontes com altas produtividades.



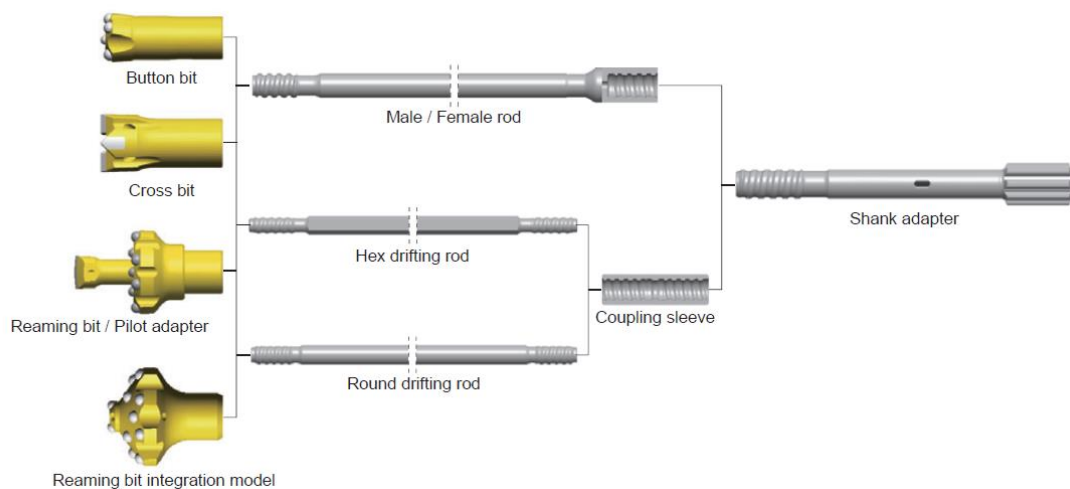
**Figura 36** – Esquema de perfuração com aço seccionado (adaptado de Castro, 1986).

Os fatores a considerar na seleção das diversas combinações possíveis no aço de perfuração seccionado, acabam por se resumir em:

- diâmetro de furação;
- profundidade pretendida;
- estrutura, resistência e abrasividade da rocha a perfurar;
- tipo de equipamento de perfuração a utilizar;
- memória (experiência) de trabalhos anteriores.

No geral, uma coluna de furação (nome dado ao conjunto dos elementos seccionados utilizados durante a furação) é constituída pelos seguintes elementos constantes na figura 37.

### 1.6.2.1. *Top-Hammer*



**Figura 37** – Resumo dos diferentes elementos de uma coluna de furação *top-hammer* (Mitsubishi, 2014).



- **Shank / Encabadouro**

Inserido no interior do martelo, recebe e transmite aos restantes elementos da coluna de furação a energia de percussão, pressão de avanço, rotação e o fluxo do agente de limpeza. Existem, atualmente, três tipos de encabadouros:

- **Leyner** (figura 38), caracterizados por serem vazados longitudinalmente, desde a superfície de impacto com o pistão até à rosca, necessitam de usar um vedante de borracha para garantir a selagem correta da vareta do fluido de limpeza, no contacto com o encabadouro, durante a pancada do pistão. Utilizados em diâmetros pequenos de varas (25 a 32 mm), estão associados a martelos com baixa potência;



**Figura 38** – Encabadouro do tipo Leyner (adaptado de Padley & Venables, 2015).

- **Estriados** (figura 39), caracterizados por terem estrias do lado contrário ao da rosca. Normalmente utilizados em martelos de alta potência, estes encabadouros têm uma entrada lateral para o fluido de limpeza, reforçando desta forma a sua superfície de contacto com o pistão. Ao longo dos últimos anos, as estrias foram ficando mais perto da zona de impacto do pistão, aumentando assim a sua resistência aos cada vez mais potentes martelos *top-hammer*. Utilizados nos restantes diâmetros de varas (38, 44 e 50 mm), estes encabadouros são os mais comuns hoje em dia;



**Figura 39** – Encabadouro estriado (adaptado de Padley & Venables, 2015).

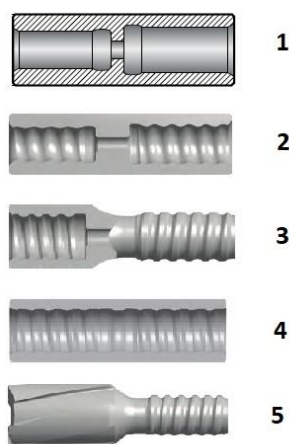
- **Hexagonais** (figura 40), semelhantes a uma barrena integral, este tipo de encabadouros é muito utilizado em perfuradoras manuais e em secções de aço mais pequenas (19, 22 e 25 mm). Também vazados longitudinalmente, e dependendo da aplicação pretendida, podem ser roscados, com pastilhas de CW ou cónicos.



**Figura 40** – Encabadouros hexagonais (adaptado de Padley & Venables, 2015).

- **Uniões**

Utilizadas no acoplamento dos diversos elementos da coluna de furação, permitem desta forma atingir a profundidade desejada no furo. Existem diversos tipos de uniões, conforme evidenciado na figura 41, onde a sua aplicação varia consoante o trabalho a realizar. Podemos destacar uma característica comum a todas elas, são o elemento fundamental na transmissão da percussão ao longo da coluna de furação, sendo por isso, um ponto crítico para perdas de energia durante a furação, quando o seu acoplamento não é bem feito.



**Legenda:**

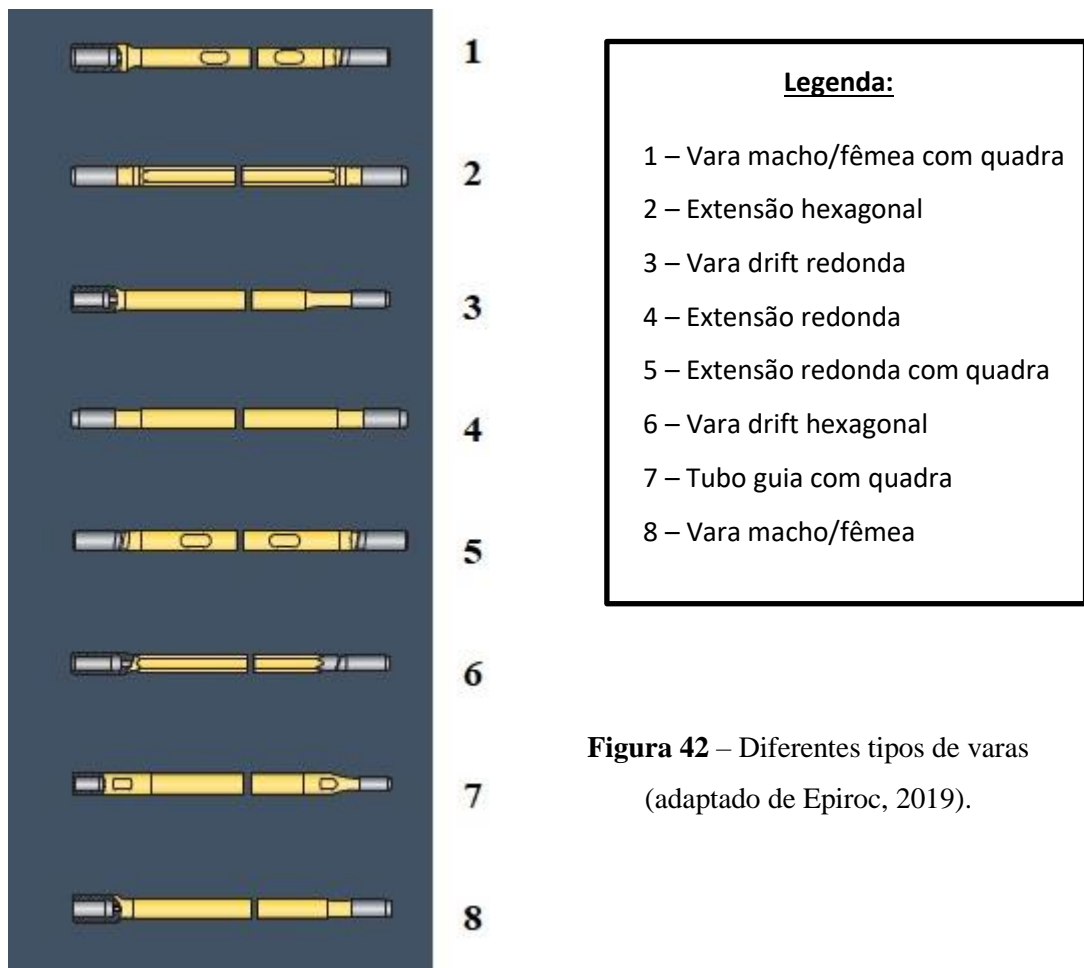
- 1 – Ponte com roscas diferentes
- 2 – Ponte com roscas idênticas
- 3 – Adaptador macho/fêmea
- 4 - Semi-ponte com roscas idênticas
- 5 – Adaptador macho/fêmea estriado

**Figura 41** – Diferentes tipos de uniões (adaptado de Robit, 2019).

- **Varas / Extensões**

Trata-se do elemento da coluna de furação que, através da sua adição, permite alcançar os comprimentos desejados (figura 42). Podem ser de perfil redondo ou hexagonal, sendo vazadas longitudinalmente para a passagem do agente de limpeza. Nas extremidades possuem roscas, que caso sejam idênticas são designadas por extensões, caso sejam diferentes são designadas por varas.

Existe uma vertente chamada vara MF que possui numa das extremidades a união fêmea incorporada, deixando por isso de ser necessária a utilização de uniões na coluna de furação.

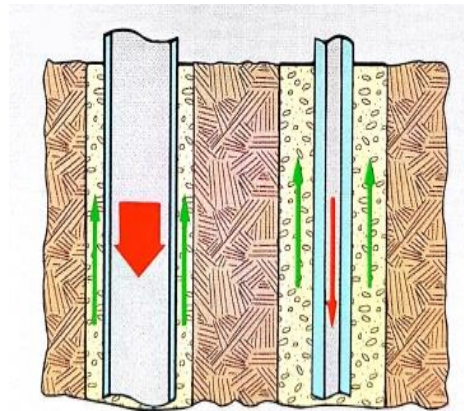


**Figura 42** – Diferentes tipos de varas  
(adaptado de Epiroc, 2019).

Sempre que possível, utilizam-se as secções maiores que o equipamento e o diâmetro de perfuração permitirem, exceto nos trabalhos onde o manuseio das varas seja manual (opta-se nestes casos pelas varas ligeiras, de secção hexagonal e diâmetro inferior ao das roscas).

Com a cada vez maior utilização de equipamentos mais potentes, os diâmetros de furação foram aumentando, assim como as profundidades atingidas, havendo por isso necessidade de controlar os desvios de furação, inerentes ao cada vez maior espaço anelar entre as paredes do furo e o exterior da coluna de furação. Para tal, a utilização de tubos (no início da coluna junto ao *bit* ou por toda a coluna) começa a ser cada vez mais comum, quer em trabalhos de perfuração em ambiente subterrâneo (desmontes de produção em mina e.g.) quer em trabalhos de superfície (desmontes em pedreiras a céu-aberto e.g.).

Este sistema veio permitir aumentar a rigidez da coluna de furação, melhorar a transmissão da energia de percussão ao longo da coluna de perfuração e, a característica mais interessante, melhorar substancialmente a limpeza dos detritos de furação (figura 43).



**Figura 43** – Utilização de tubos de furação *versus* varas standard (Jimeno, 2017).

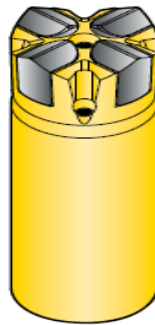
- ***Bits***

Elemento da coluna de furação que executa o trabalho de fragmentação da rocha (figura 44), sendo o responsável pela transmissão ao terreno das energias envolvidas no processo de furação. Existem dois tipos distintos de *bits*:



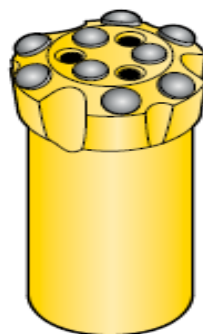
**Figura 44** – Modelos de *bits* (Mitsubishi, 2014).

**Bits de pastilha** (figura 45), com duas configurações possíveis (em + ou em x), constituídos por 4 pastilhas de carboneto de tungsténio, foram os primeiros modelos de *bits* desenhados, muito utilizados em perfuradoras com baixa potência, estes *bits* favorecem o alinhamento do furo durante a perfuração, tendo o *handicape* de necessitarem de afiação ao fim de alguns metros de perfuração (de forma idêntica às barrenas integrais).



**Figura 45** – *Bit* de pastilha do tipo “+” (Epiroc, 2019).

**Bits de botões** (figura 46), com muitas configurações possíveis (face plana, drop-center, convexo, como evidenciado na figura 47), possuem um conjunto de botões em carboneto de tungsténio com forma arredondada, inseridos num corpo em aço (corpo do *bit*) que lhes permite transmitir a percussão ao terreno a furar de uma maneira mais uniforme e constante (ver anexo 1). Com uma velocidade de perfuração superior, estes *bits* estão preparados para as mais modernas perfuradoras com altas potências de impacto.



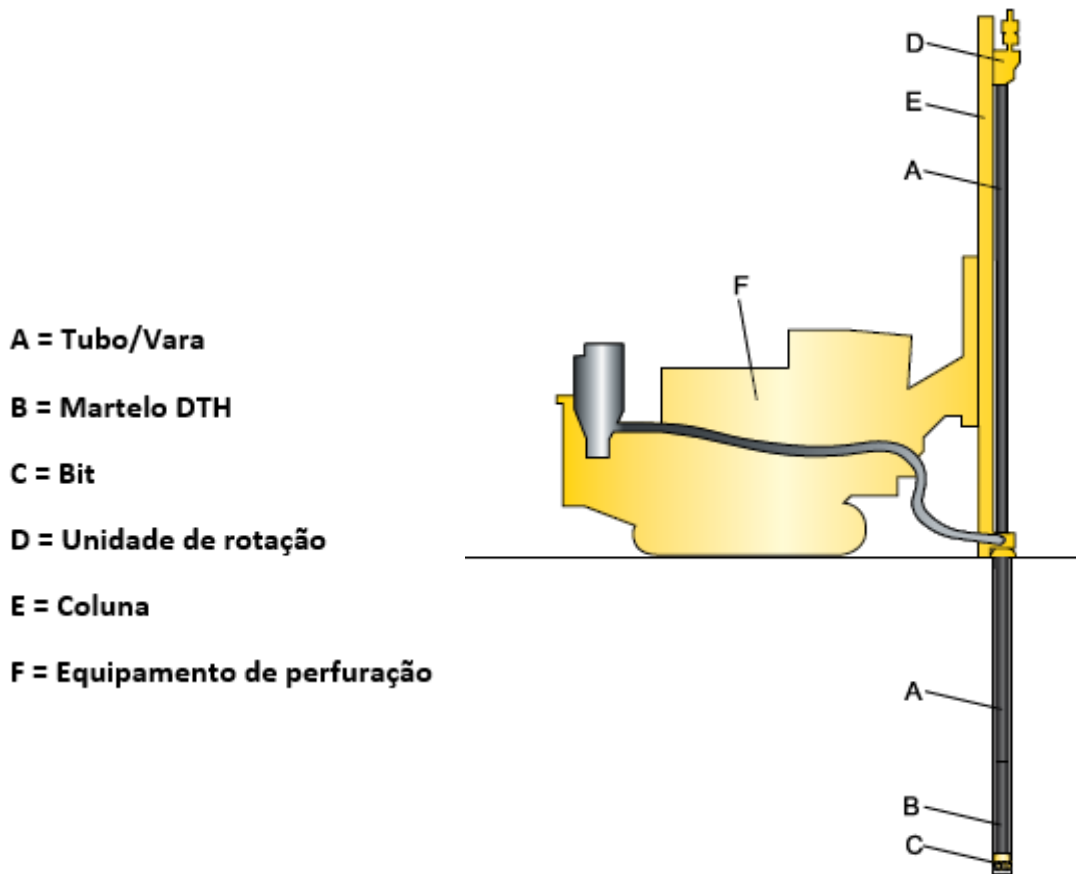
**Figura 46** – *Bit* de botões (Epiroc, 2019).

Paralelamente a estes dois tipos de *bits*, a sua configuração no corpo pode também ela variar, sendo o mais comum o *bit* de corpo liso (utilizado na maioria dos cenários de perfuração) e o *bit* de corpo retrac (caracterizado pela presença de estrias longitudinais que melhoram a fragmentação dos detritos de furação, a limpeza do furo e o alinhamento).



**Figura 47** – Exemplos das diferentes configurações do corpo de um *bit* (Robit, 2019).

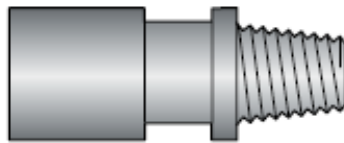
### 1.6.2.2. Fundo-de-furo ou DTH



**Figura 48** – Exemplo de uma coluna de furação DTH (Epiroc, 2019).

- **Adaptador**

Efetua a ligação entre a unidade de rotação e a coluna de varas ou tubos, tem por finalidade a adaptação da rosca da unidade de rotação ao sistema de furação a utilizar, podendo em alguns casos também servir de amortecedor às vibrações provenientes do martelo fundo-de-furo. Dependendo do equipamento de perfuração, este adaptador pode ter roscas e comprimentos distintos (figura 49).



**Figura 49** – Modelo de adaptador de rosca DTH (Epiroc, 2019).

- **Tubo ou vara**

Fazem a ligação entre a superfície e o martelo DTH, levando no seu interior o ar comprimido que servirá para acionamento do martelo e limpeza do furo (figura 50). Dependendo do diâmetro de perfuração, do equipamento e dos fins a que se destina essa perfuração variam no seu diâmetro, comprimento e configuração das roscas. Com uma secção central de tubo mais fina, as uniões podem ser soldadas a este (soldadura por fricção) ou serem do tipo fêmea/fêmea e usarem uniões macho/macho na ligação entre tubos. Mais uma vez, e tal como na seleção das varas utilizadas no *top-hammer*, este tipo de tubos deve ser utilizado com a secção maior permitida, exceto quando a sua movimentação é manual ou as especificidades do trabalho a realizar não o permitam.



**Figura 50** – Modelo de tubo DTH (Epiroc, 2019).

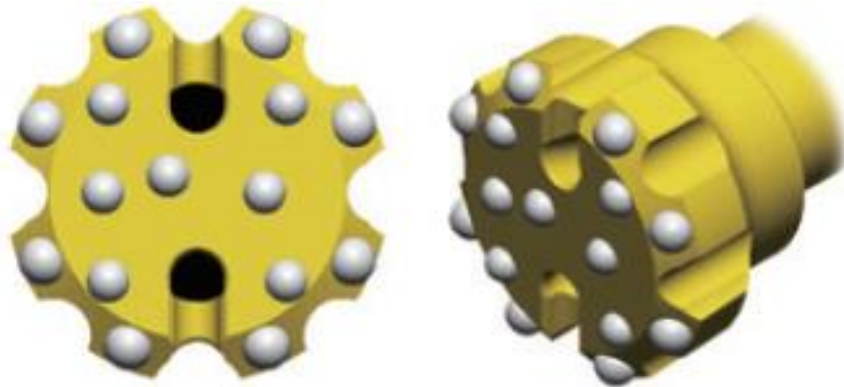
- **Bits**

Neste caso para os martelos DTH, têm a grande diferença de incorporarem o encabadouro (*shank* na terminologia Inglesa utilizada neste tipo de *bits*) onde será transmitida a percussão do pistão (figura 51), o seu diâmetro e configuração variam consoante o martelo utilizado, e estão divididas em 3 configurações distintas da sua face:



**Figura 51** - Modelo *bit* DTH (Mitsubishi, 2014).

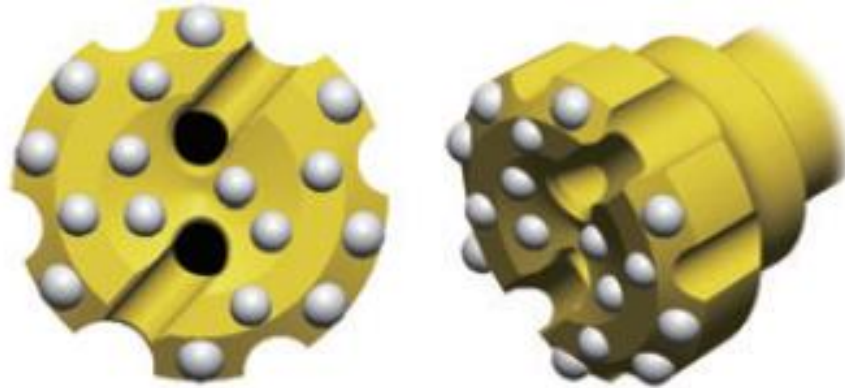
**Face plana** (figura 52), utilizada na maioria dos terrenos a perfurar, com botões redondos e de configuração robusta, este tipo de *bit* é o ideal para terrenos bem consolidados e duros, onde se pretende transmitir ao máximo a energia de percussão ao terreno.



**Figura 52** – Exemplo de *bit* face plana (Mitsubishi, 2014).

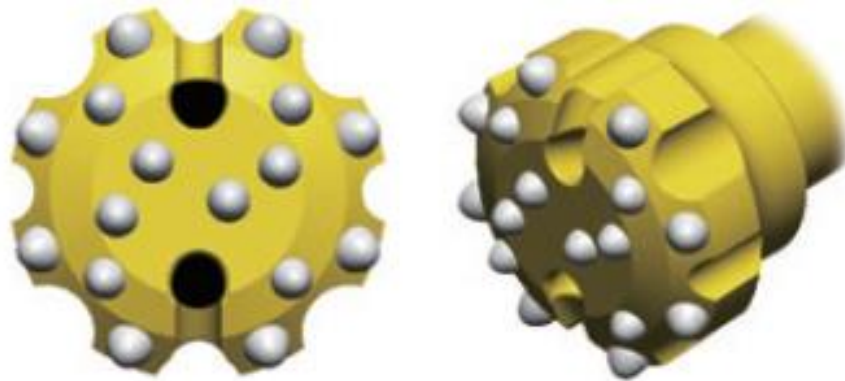


**Face concava** (figura 53), utilizados em terrenos duros mas com alguma fissuração, graças ao seu desenho no centro da face do *bit*, permitem guiar o furo e reduzir os desvios de furação. Dependendo da finalidade, podem ter botões redondos ou semi-balísticos.



**Figura 53** – Exemplo de *bit* face concava (Mitsubishi, 2014).

**Face convexa** (figura 54), idealmente utilizados em litologias mais brandas, este tipo de *bit* permite obter uma velocidade de perfuração elevada, usando os seus botões balísticos para concentrar a transmissão da energia de percussão ao terreno em pequenos pontos, o que lhe permite melhorar a sua penetração durante a perfuração.



**Figura 54** – Exemplo de *bit* face convexa (Mitsubishi, 2014).

### 1.6.2.3. Diferentes tipos de roscas

Uma característica fundamental na utilização do aço de perfuração seccionado, passa por todos os elementos da coluna de furação serem roscados, permitindo assim a sua união. Esta é feita através de roscas, que têm por princípio base, manter os elementos firmemente acoplados entre si, possuírem uma resistência adequada ao desgaste (compatível com a vida útil dos elementos da coluna de furação) e facilitar o seu desacoplamento durante as mudanças de elementos de furação.

Esta última característica (capacidade de desenroscar a ligação) é uma das principais diferenças entre os modelos mais comuns de roscas utilizados atualmente, sendo o ângulo do perfil de rosca e o seu passo, as duas características que influenciam nesta capacidade (Sandvik, 2012).

Como forma de melhor explicar as diferenças entre as roscas mais utilizadas nesta indústria, usemos como exemplo os dois tipos de roscas mais comum em uso no *top-hammer* (figura 55), as roscas R (cordão) e as roscas T (trapezoidais). A informação de seguida explanada acaba por ser comum aos demais tipos de roscas.

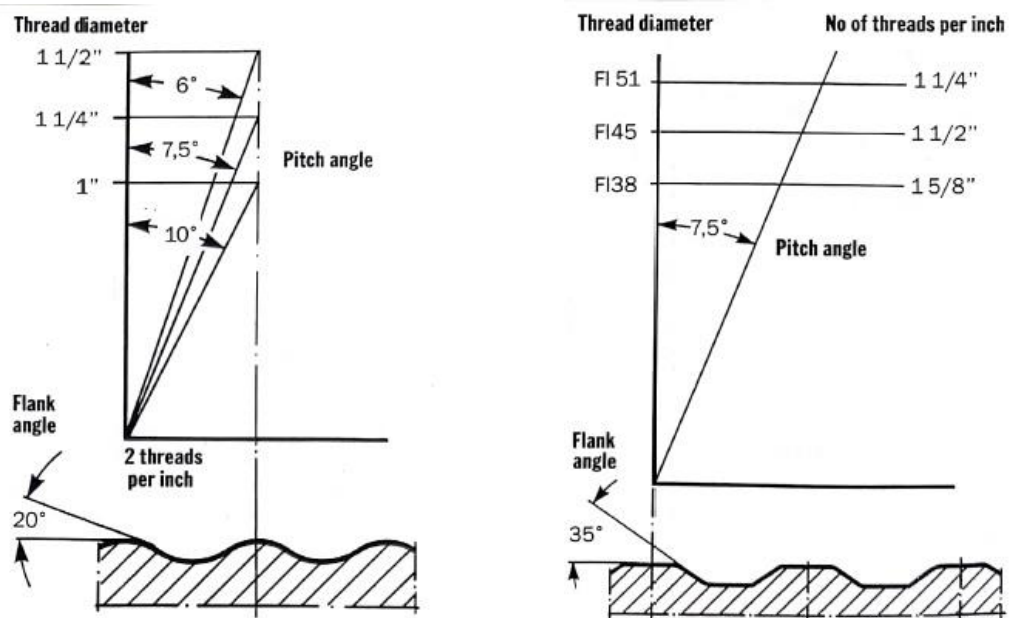
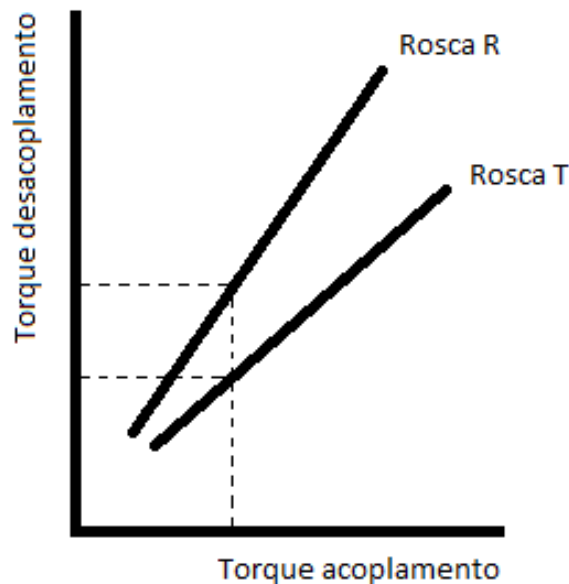


Figura 55 – Detalhes de rosca do tipo R (esquerda) e rosca do tipo T(direita) (Liljekvist, 1986).

Como evidenciado na figura 55, os dois tipos de roscas apresentados (para o mesmo diâmetro da secção do aço) têm um ângulo de perfil diferente, assim como o ângulo e comprimento do seu passo de rosca.

A rosca R apresenta um perfil ondulado, suave e contínuo, o seu passo é constante (12,7 mm ou ½ ") e o seu ângulo de perfil é de 20 °. Por contraponto, a rosca T apresenta um perfil trapezoidal, com filetes grossos e simétricos, o seu passo varia consoante o seu diâmetro e o ângulo de perfil é maior que o da rosca R (35 °).

Estas diferenças, fazem com que estas roscas apresentem um comportamento distinto no seu acoplamento e desacoplamento, conforme espelhado na figura 56.



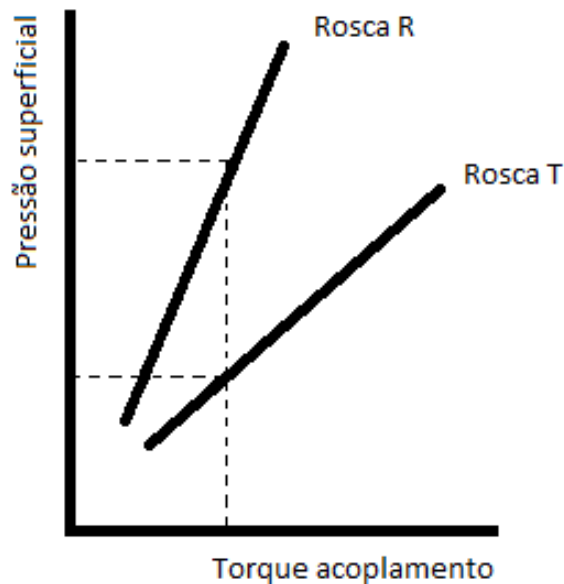
**Figura 56** – Torque necessário no acoplamento e desacoplamento das roscas R e T (adaptado de Castro, 1986).

Identifica-se na análise do gráfico exposto na figura anterior que, para um mesmo torque de acoplamento, ou por outras palavras, para a mesma força de acoplamento da rosca, a rosca R necessita de um maior esforço para o seu desacoplamento.

Paralelamente a este facto, o desgaste causado nas roscas é também afetado, entre outros aspetos, pelo seu desenho, pois dependendo deste, a área de contacto entre a rosca macho e a rosca fêmea varia, o que se traduz num diferente nível de pressão superficial.

O ângulo de 35 ° da rosca T reduz a pressão superficial (figura 57) entre as áreas

de contacto, o que para um mesmo torque de acoplamento, se traduz num menor desgaste do perfil.



**Figura 57** – Relação entre torque de acoplamento e pressão superficial (adaptado de Castro, 1986).

Como regra, um passo de rosca maior juntamente com um ângulo de perfil menor, tornará o desacoplamento mais fácil (Jimeno, 2017).

As rosas utilizadas na perfuração de rochas, requerem alta tecnologia na sua conceção, um mau acoplamento das rosas durante a sua utilização é o responsável pela perda de energia, tendo como consequência a diminuição da velocidade de perfuração. O superaquecimento gerado nas áreas mal acopladas entre si deriva deste problema, o que em casos extremos, pode originar inclusivamente a soldadura das rosas ou o desgaste e quebra do aço de furação, devido à alteração das suas características físicas.

Importa sublinhar que uma temperatura na ordem dos 200 °C origina uma redução na dureza do aço na ordem dos 5 a 6 Rockwell C (unidade de medição da dureza de um aço).

Por outro lado, o aperto excessivo das rosas tornará mais difícil o seu desacoplamento, aumento o tempo de operação (manobras mais prolongadas) e o desgaste causado no afrouxar das ligações.

Constata-se por isso a função paradigmática das roscas, por um lado garantirem o correto acoplamento dos diferentes elementos da coluna de furação, mas por outro, permitirem o rápido desacoplamento dos mesmos.

A vida útil de uma rosca (figura 58), como já explicado anteriormente, depende fundamentalmente do seu desenho, no entanto a qualidade do aço, o tratamento térmico a que foi submetida e ao volume de filete de rosca disponível, fazem no seu todo o conjunto de fatores influenciadores do desgaste das roscas.



**Figura 58** – Áreas de desgaste das roscas R e T (adaptado de Mitsubishi, 2014).

Como evidenciado na figura 58, a rosca T apresenta para o mesmo diâmetro de aço, uma área de desgaste superior à rosca R, o que lhe confere um maior tempo de vida. As roscas do tipo R são predominantes em diâmetros de aço até aos 32 mm, graças à sua baixa profundidade do perfil (1,7 mm), são as ideais quando não existe secção de aço disponível para a sua abertura. Uma vez que o seu passo de rosca é constante (dois fios de rosca por polegada), quanto maior o diâmetro em que é trabalhada, mais difícil se torna o seu desacoplamento.

As roscas do tipo T são predominantes em diâmetros de aço superiores a 38 mm, o seu passo de rosca varia consoante o diâmetro em que são abertas, mas o seu ângulo é constante ( $7,5^\circ$ ), o que lhes confere uma maior facilidade de desacoplamento face às roscas R, independentemente do diâmetro em que estão a ser utilizadas. A sua maior profundidade de perfil (2,2 a 3,1 mm) faz também com que tenha uma maior resistência ao desgaste.

Os diâmetros de roscas mais comuns no *top-hammer* estão referidas na tabela 5:

**Tabela 5** – Diferentes diâmetros de roscas *top-hammer*.

Designação	Métrico	Imperial
R	25 mm	1"
	28 mm	1"1/8
	32 mm	1"1/4
R / T	35 mm	1"5/12
	38 mm	1"1/2
T	45 mm	1"3/4
	51 mm	2"
	60 mm	2"1/4

As roscas admitem a designação do seu perfil juntamente com o seu diâmetro, ou seja, uma rosca de 25 mm com perfil de corda será designada R25.

Convém por último salientar que o sentido das roscas varia entre o *top-hammer* e o DTH, as roscas utilizadas nos sistemas de furação com martelo de coluna (ou superfície) são roscas esquerdas, ao invés as utilizadas nos martelos fundo-de-furo são roscas direitas.

Esta diferenciação existe apenas como forma de standardizar cada um dos sistemas, evitando desta forma utilizações incorretas dos elementos das colunas de furação.




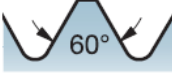


No sistema de perfuração DTH, devido à percussão apenas ser efetuada junto ao *bit*, a função das roscas reduz-se aos seus princípios gerais, nomeadamente:

- Formação de uma ligação mecânica entre os diversos elementos da coluna de perfuração;
- Conversão do movimento de rotação num movimento linear e vice-versa (aperto e desaperto);

- Obtenção de uma vantagem mecânica no torque necessário para a selagem dos elementos da coluna de perfuração.

Dependendo da sua aplicação, diâmetro e equipamentos em uso, os tipos de rosca variam entre roscas cónicas (do tipo API) ou roscas cilíndricas (do tipo ISO) (tabela 6) estando, no entanto, o seu detalhe fora do propósito deste trabalho.

**Tabela 6** – Diferentes tipos de roscas DTH (Sandvik, 2012).

Application	Thread form	Thread type
Connecting General usage		ISO metric, American UN
Pipe threads	 	Whitworth, British Standard (BSPT), American National, Pipe Threads, NPT, NPTF
Aerospace		MJ, UNJ
Oil and gas		API Rounded, API Buttress, VAM
Motion General usage		Trapezoidal, ACME, Stub ACME

No caso do fundo-de-furo, as roscas mais comuns são as referenciadas na tabela 7:

**Tabela 7** – Diferentes diâmetros de roscas DTH.

Designação	Métrico	Imperial
API REG	64 mm	2”3/8
	76 mm	2”7/8
	89 mm	3”1/2
	114 mm	4”1/2
	159 mm	6”5/8
	203 mm	7”5/8

As roscas, graças à influência da indústria petrolífera americana, são designadas pelo seu diâmetro e função, sendo nas aplicações mais comuns nesta atividade as provenientes da American Petroleum Institute (API) de utilização regular (REG).

### 1.6.3. Ligas metálicas utilizadas nas ferramentas de perfuração

Com a cada vez maior utilização das ferramentas e perfuração ao longo do século passado, a matéria prima que as constitui (aço ao carbono) teve de evoluir de acordo com a constante procura de mais e melhor produtividade na indústria mineira. Com efeito, a composição e tratamento dado aos aços utilizados nesta indústria é hoje significativamente diferente do que era utilizado no início do século XX, havendo, no entanto, algumas características base que se mantêm inalteradas.

Aço ao carbono é a composição da liga que confere ao aço o seu nível de resistência mecânica. O ferro gusa, primeira etapa de fabricação do aço, é o mesmo para todos os produtos. Na fase seguinte, quando os elementos de liga são adicionados ou suprimidos no ferro gusa, são determinadas as grandes famílias de aço, dos mais rígidos aos mais dúcteis. O carbono é o principal elemento endurecedor em relação ao ferro. Outros elementos, como o manganês, o silício e o fósforo, participam igualmente no ajuste do nível de resistência do aço (Portal Metálica, 2019). A quantidade de carbono define a sua classificação:

- o **baixo carbono** possui no máximo 0,30% do elemento. Possui baixa resistência e dureza, sendo, no entanto, bastante dúctil. É facilmente maquinado e soldável, não sendo habitualmente tratado termicamente;

- o **médio carbono** apresenta de 0,30 a 0,60%. Possui maior resistência e dureza, sendo menos tenaz e dúctil que o de baixo carbono. Apresenta quantidade de carbono suficiente para receber tratamento térmico de têmpera, embora exija taxas de arrefecimento elevadas e em seções finas para ser eficaz. (Utilizado na maioria das ferramentas de perfuração na atualidade);



- o **alto carbono** possui de 0,60 a 1,00%. É o de maior resistência e dureza. Porém, apresenta menor ductilidade entre os aços ao carbono. Geralmente temperado, possui propriedades de manutenção de um bom fio de corte. (Muito utilizado nas barrenas integrais).

Os aços empregues no fabrico das ferramentas de perfuração têm no geral ente 0,30 a 0,85% de carbono (Cortez, 1998), são resistentes à fadiga, flexão e impacto. Fruto do desenvolvimento ao longo dos anos, o princípio de fabrico mantém-se constante, núcleo muito duro e superfície endurecida.

Atualmente, e graças à tecnologia disponível no seu fabrico, os aços de perfuração mineiros passam por algumas fases, onde se destacam:

**Endurecimento superficial**, aumento rápido da sua temperatura (até aos 900 °C) e arrefecimento rápido em água. Permite obter uma alta resistência à fadiga. Técnica aplicada nas varas, uniões e alguns *bits*.

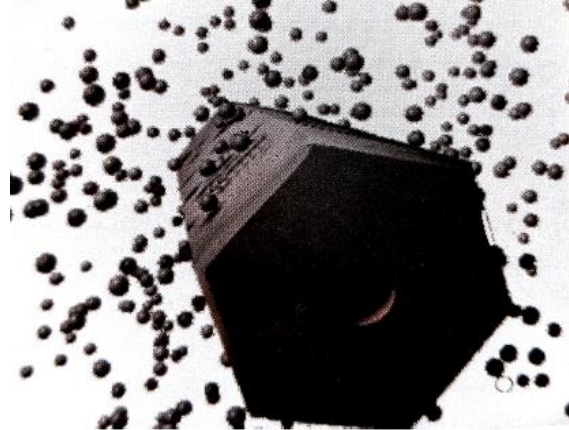
**Carburização**, aumento da quantidade de carbono na superfície do aço, obtido através da introdução das peças durante horas em fornos com uma atmosfera gasosa rica em carbono e a uma temperatura de 925 °C (figura 59). Utiliza-se esta técnica no fabrico das varas e encabadouros, permitindo assim melhorar a sua resistência ao desgaste.



**Figura 59**-Conjunto de varas à saída do processo de carburização (Sandvik, 2013).

**Decapagem com granalha de aço**, golpe repetido numa superfície de metal por partículas esféricas duras (granalhas de aço conforme detalhe na figura 60). Estes impactos múltiplos produzem uma deformação na superfície metálica, mas também aumenta a durabilidade da peça metálica.

**Figura 60** – Detalhe da decapagem com granalhas de aço (*shot-peening*) (Jimeno, 2017).



**Proteção anti corrosão**, através de fosfatização, consiste na aplicação de uma proteção superficial nas peças metálicas com fosfatos de zinco, ferro ou manganês. Quando associada a pintura, melhora a aderência da tinta à peça em aço, converte a superfície metálica que é corrosível, numa superfície não metálica, de fosfatos do metal e por isso, mais resistente à corrosão.

Graças a estas especificidades, existem muito poucos produtores mundiais de aço mineiro, existindo ao dia de hoje apenas duas vertentes no mercado Europeu, o aço mineiro produzido pela Sandvik (Suécia) e pela Bedford Steels (Reino Unido).

## 1.7. Critérios de análise na utilização das ferramentas de perfuração

Em qualquer trabalho de perfuração, o fator mais importante é a alta produtividade associada a um baixo custo sendo que, quanto maior for o volume de rocha desmontado associado a um determinado custo de aço de perfuração, menores serão os custos totais por m<sup>3</sup>. Para garantir esta produtividade, é sempre necessário garantir uma correta escolha das ferramentas de perfuração, devendo os fatores a ter em conta nesta seleção ser (Liljekvist, 1989):

- Melhor qualidade e disponibilidade (duração) do produto;
- A melhor penetração possível;
- Furar com o menor desvio possível.

Para realizar um trabalho de furação específico, e tal como anteriormente referido, podem-se efetuar diversas combinações de acessórios de perfuração, devendo a escolha da coluna de furação depender largamente do tipo de rocha, do equipamento de furação, da necessidade de alinhamento preciso nos furos e do diâmetro desejado de furação.

O primeiro critério passa sempre por selecionar o diâmetro maior de aço para o tamanho do furo que se pretende criar, usando um *bit standard*. A sua otimização, será sempre necessária de acordo com os condicionantes e objetivos pretendidos.

Se todos os custos envolvidos na perfuração de rochas forem divididos pelas horas de trabalho durante um determinado período, será evidente o alto custo horário desta operação. Como tal, cada hora “não-produtiva” tem um impacto considerável nos custos operacionais envolvidos na exploração mineira.

Como cada vez que uma paragem devido a problemas com o aço de furação implica suportar o custo de paragem e o custo da reparação/manutenção necessária a fazer no equipamento de furação para este retomar o seu normal funcionamento, torna-se por isso demais evidente que a utilização de produtos de qualidade, associada a grande durabilidade é essencial na contenção e redução de custos na furação. (Liljekvist, 1989).

Os custos associados aos trabalhos de perfuração são, em grande parte (aproximadamente 55%), custos fixos, aumentando a penetração estamos a reduzir o tempo de operação e como tal, a dividir estes custos por um dado volume escavado. Por linhas simples, aumentando a capacidade de penetração em 20%, reduzimos os custos por volume desmontado em 10%. Tendo em conta que os custos do aço de furação representam aproximadamente 10% dos custos totais envolvidos na operação, ao melhorar a capacidade de penetração em 20% estamos na realidade a “pagar” os custos do aço de furação, sendo óbvio que a capacidade de penetração está relacionada com a correta escolha do aço de furação.

Uma vez que o fator humano continua a estar muito presente na realidade nacional nos trabalhos de perfuração, existe um certo número de erros causados pelo operador, nomeadamente a má instalação do equipamento no local a furar, a mau emboquilhamento e os erros de alinhamento. Apenas estes três erros, estima-se que estejam na origem de um desvio de furação na ordem dos 3%. Os desvios de furação, para além das implicações operacionais (quebra, encravamento ou perda de elementos da coluna de furação), acabam por ter um impacto muito maior nos custos de imobilização forçada dos equipamentos e dos trabalhos acessórios a efetuar como consequência desta má furação (normalmente repés, sobre furação ou blocos de grande dimensão). Torna-se por isso essencial garantir a máxima performance dos trabalhos de furação, de forma a respeitar o dimensionamento e planeamento inicialmente efetuado.

### 1.7.1. Custo-por-metro (CPM)

Como nota introdutória, refira-se que os valores aqui apresentados não são por si só relevantes. O interesse passa pelo relacionamento que existe entre estes e o impacto que as diversas variáveis a eles associados acabam por desempenhar. A título de exemplo vamos considerar:

#### Informação base

Produção anual	150 000 m <sup>3</sup>
Furação anual necessária	33 000 m.l.
Capacidade produtiva	135 m.l./8 h trabalho
Diâmetro de furação	76 mm
Altura de bancada	12 m
Malha de furação	2 m x 2.5 m
Sobre furação	1 m

$$\text{Furação específica (FE)} = \frac{(\text{altura de bancada} + \text{sobre furação})}{(\text{malha de furação} \times \text{altura bancada})}$$

Usando os dados acima referidos, FE = 0.22 m.l./m<sup>3</sup>

#### Custos do equipamento de furação

Capital	300 000 €
<i>Payback</i>	5 anos
Custo anual	60 000 €

O que implica um custo de 1.82 €/m.l. ou 0.40 €/m<sup>3</sup>

### **Custos operacionais**

Furação 25 m/h

Combustível 1 l/m admitindo 1,30 €/l diesel = 1,30 €/m.l.

### **Custos mão-de-obra**

Admitindo 20 €/h de trabalho em turnos de 8 horas temos

20 €/h / 25 m/h = 0,80 €/m.l.

### **Outros Custos**

Manutenção 0,40 €/m.l.

Peças desgaste 0,15 €/m.l.

### **TOTAL DE CUSTOS COM EQUIPAMENTO DE FURAÇÃO**

Equipamento = 1,82 €/m.l.

Operacionais = 1,30 €/m.l.

Mão-de-obra = 0,80 €/m.l.

Outros = 0,55 €/m.l.

TOTAL = 4,47 €/m.l.

### **CUSTOS DO AÇO DE FURAÇÃO**

*Bits* = 0,25 €/m

Varas = 0,19 €/m

Encabadouros = 0,16 €/m

TOTAL = 0,60 €/m.l.

### **CUSTOS TOTAIS DE FURAÇÃO**

Equipamento = 4,47 €/m

Aço de furação = 0,60 €/m

Total = 5,07 €/m.l.

Total de 1,12 € / m<sup>3</sup> desmontado.

O exemplo acima referido sublinha o impacto que o aço de furação tem na operação de desmonte, quanto maior for a disponibilidade do equipamento (redução nos tempos de paragem causados por avarias, problemas com aço de furação ou trabalhos extras referentes a maus desmontes), menor será o seu peso no custo final por m<sup>3</sup> desmontado. A correta escolha, gestão e otimização do aço de furação leva a uma melhor distribuição dos custos associados por volume desmontado (Secoroc, 1988).

### 1.7.2. Rendimentos de cada elemento da coluna de furação

A capacidade de furação de uma rocha é quantificada pelo ritmo a que um *bit* consegue penetrar no terreno, pela qualidade do furo obtido, pelo seu desvio de furação e pelo risco de encravamento do aço de furação (consequência da aproximação do diâmetro de furação do *bit* à secção do aço utilizado na restante coluna de furação). Desta forma, a produtividade da operação de furação varia ao longo do seu tempo de vida, sendo os tempos de furação também eles variáveis.

De forma a atingir a melhor penetração possível, um *bit* de botões deve ser escolhido de acordo com a realidade existente no trabalho a executar, garantido o melhor contacto entre os botões e o terreno a fraturar por impacto (figura 61). Existem disponíveis várias combinações de forma a permitir o acima referido:

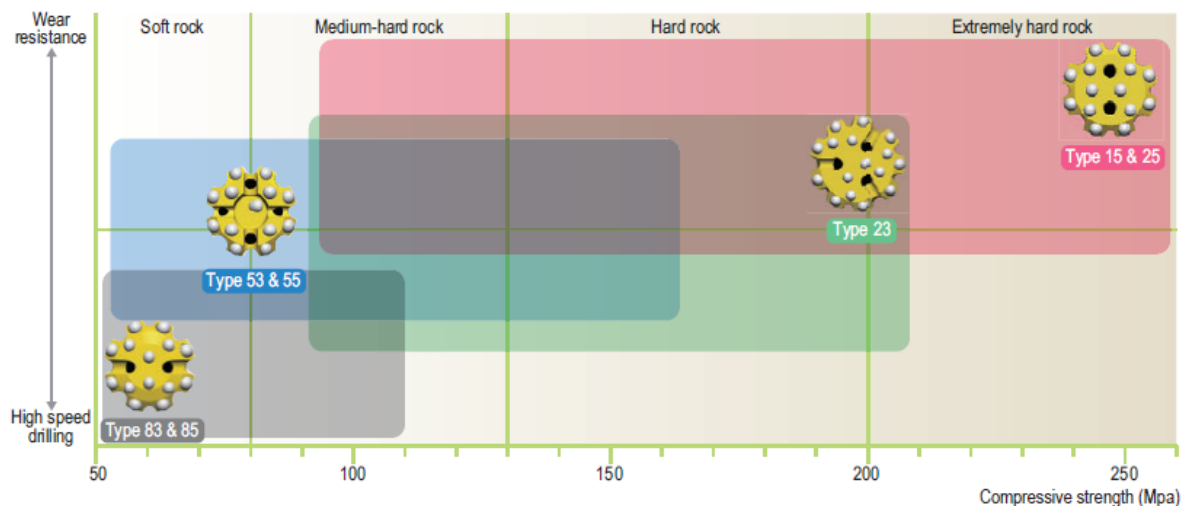


Figura 61 – Tipo de *bit* relacionado com natureza da rocha (Mitsubishi, 2014).

Por um lado, as diferentes configurações da face de um *bit*, expressas na figura 61, estão associadas à resistência à compressão da rocha a perfurar, no entanto, o desgaste que a abrasividade lhe vai causar, conjugada com outros requisitos pretendidos pelo trabalho específico da furação em si (velocidade, linearidade do furo, e.g.), permitem uma panóplia de configurações que se estendem não só à face do *bit* mas também aos furos de limpeza, tamanho dos botões e tipo de *bit* em si (botões ou pastilha), tal como de seguida evidenciado na figura 62.

Type	Type 15 & Type 25	Type 23	Type 53 & 55	Type 83 & 85	Type 14	Cross
Face configuration						
Rock hardness	Hard	○	○		○	
	Medium-hard	○	○	○	○	○
	Soft			○	○	○
Character	High speed drilling		○		○	
	Wear resistance	○	○	○		
	Straightness			○		○
	Wear resistant bit for medium-hard to hard rock formations. Type 25 is recommended for large sized bits.	High speed drilling bit for medium-hard rock formations.	Wear resistant bit for soft to medium-hard rock formations. Recommended to eliminate hole deviation.	High speed drilling bit for soft rock formations.	Dedicated to low power drifter.	Straightest drilling bit. *Low speed drilling.

Figura 62 – Diferentes configurações da face dos *bits* (Mitsubishi, 2014).

A forma do botão está também ela associada a uma variedade de soluções disponíveis para contrariar problemas encontrados ao longo dos trabalhos de furação (fratura do botão, taxa de penetração pretendida, desgaste do botão, e.g.), sendo também muitas vezes um dos detalhes mais utilizados na otimização do rendimento desta operação (figura 63).

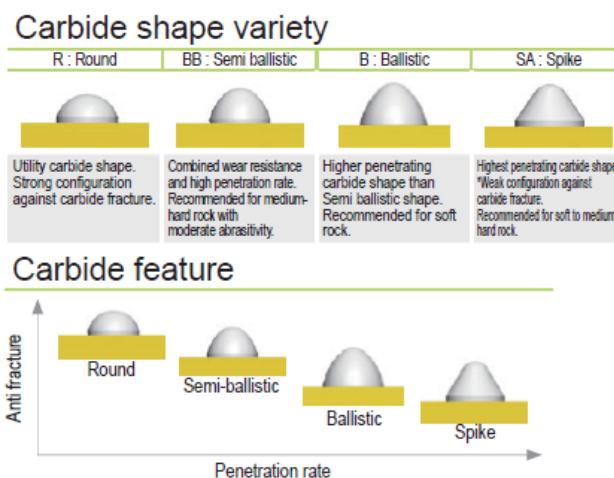
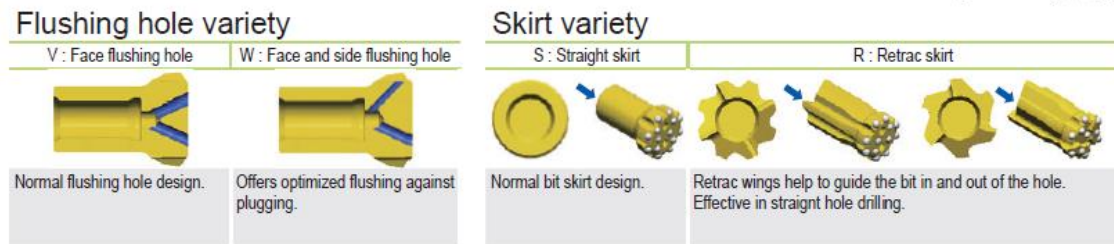


Figura 63 – Diferentes formas dos botões num *bit* (Mitsubishi, 2014).



Por último, a configuração do corpo do *bit* permite adaptar o mesmo a diferentes requisitos dos trabalhos de perfuração, nomeadamente a realidades mais complexas onde existam maciços mais fraturados a perfurar ou até mesmo em situações onde a mistura de água com os detritos de furação tenha tendência a formar bloqueios no furo (figura 64)

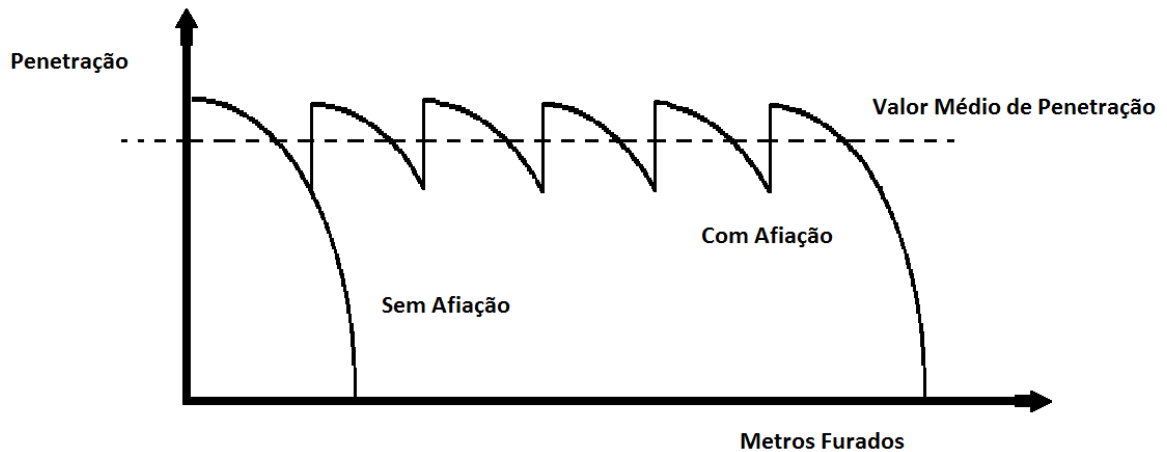


**Figura 64** – Configurações possíveis no corpo de um *bit* (Mitsubishi, 2014).

Uma vez que o *bit* é a peça da coluna de furação que primeiro penetra no terreno e em permanente contacto com este, é essencial perceber a influência que o seu estado tem no rendimento da operação de furação.

O tempo de vida de um *bit* é definido pelo número de metros de rocha furada que este conseguiu efetuar (Liljenkvist, 1989), sendo óbvio que, quando este deixa de conseguir passar as ondas de impacto ao terreno, deixa de conseguir fraturar a rocha, e por consequência, deixa de ter capacidade de penetração num terreno, chegando ao seu fim de vida. Desta forma, é fundamental estudar a consequência da reposição da forma original dos botões (afiação dos botões) durante o seu tempo de vida e rendimento. Como já anteriormente referido, ao restaurar a forma original dos botões, estamos a devolver a capacidade de distribuir corretamente as ondas de impacto à rocha, melhorando desta forma a sua fragmentação. Uma vez que o número de impactos necessários para fragmentar a rocha diminui com o aumento da energia transmitida à rocha por cada impacto, a sua velocidade de penetração, definida como o tempo necessário para fragmentar um determinado volume de material, estará também a ser aumentada.

Na figura 65 encontra-se representado um diagrama simples da relação entre capacidade de penetração e metros furados.



**Figura 65** - Relação penetração versus metros furados (adaptado de Ferreira, 1999).

Mas o rendimento das ferramentas de perfuração não fica cingido apenas ao comportamento dos *bits* de botões, as varas de perfuração, responsáveis pela transmissão da percussão e do movimento de rotação ao *bit* têm a sua eficiência relacionada com a sua adequação ao tipo de trabalho a executar e com a metodologia de trabalho aplicada, o que poderá otimizar o seu desempenho. Exemplo disto são as varas guia, que possuem um diâmetro aproximado ao *bit* de perfuração, que ao alterarem a rigidez de uma coluna de furação e a sua capacidade de limpeza do furo, acabam por reduzir os desvios de furação, alterando por completo o rendimento dos restantes elementos da coluna de furação.

Por outro lado, e sabendo que as varas de perfuração representam cerca de 50 a 55% do custo total da coluna de aço de perfuração (Sandvik, 2013) na execução de um furo com recurso a aço extensível, para atingir o comprimento pretendido, será necessário utilizar um conjunto de varas, ou seja, passa a existir um acoplamento entre os diversos elementos da coluna de furação. O desgaste destes acessórios é diretamente relacionável com os metros que perfuram e, por isso, há desgastes diferenciados conforme a posição da vara na coluna de acessórios durante a realização da perfuração, o que induzirá uma menor eficiência energética e conseqüente redução do tempo de vida útil dos acessórios.

Por último, o desgaste no encabadouro condiciona também ele todo processo de furação, principalmente aquando da utilização de aço extensível, basta perceber que a rosca do encabadouro irá ser acoplada a todos os elementos da coluna de furação, pelo que um desgaste prematuro do mesmo, terá como consequência um desgaste prematuro nas varas.

### 1.7.3. Afição de *bits*

De forma a garantir que o contacto entre o *bit* e a rocha a perfurar é o mais perfeito possível, torna-se essencial estudar o desgaste dos botões (ponto de contacto entre o *bit* e a rocha) ao longo do tempo, sendo o rendimento do material de perfuração medido em metros perfurados por unidade, dependendo do tempo de operação e do número de impactos transmitidos ao material durante a furação.

Importa por isso, fazer uma breve descrição da constituição de um botão e quais as suas características mais relevantes a controlar. A liga de metal duro (MD) que compõe os botões, consiste na mistura de carboneto de tungsténio (CW) (responsável pela resistência ao desgaste e dureza) e cobalto (Co) (que atua como um ligante e contribui para a resistência do botão) (Liljekvist, 1989). Ao alterar as proporções de cada um dos constituintes do MD, diferentes ligas (graus) são criadas, sendo que quanto mais CW estiver presente na liga de MD, maior será a resistência ao desgaste e menor a resistência do botão à fratura (conforme apresentado na figura 66).

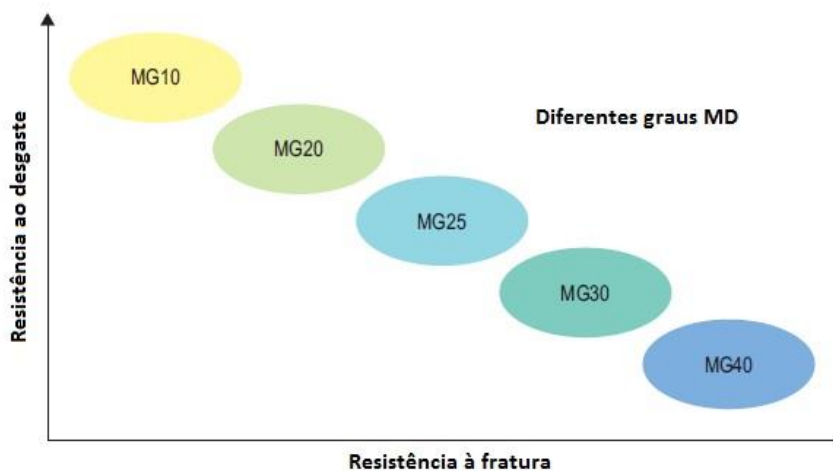
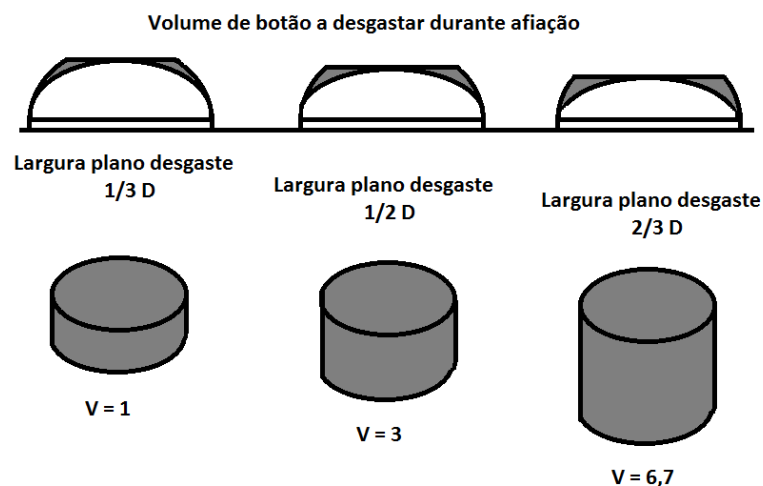


Figura 66 – Diferentes graus de metal duro (Mitsubishi, 2014).

A transmissão da onda de impacto, entre a coluna de furação e o terreno, é efetuada pela área de contacto de cada botão (que constitui o *bit*) e a rocha (Ferreira, 1999), sendo que quando um *bit* se encontra no seu estado inicial (botões com a sua forma original), esta distribuição é uniforme (cada botão transmite aproximadamente um valor idêntico de energia à rocha a fraturar).

Durante o seu normal trabalho, o *bit* vai sofrer desgaste do aço (evidenciado na redução de diâmetro) e dos botões que o constituem (evidenciado na perda da forma original), situação passível de ser comprovada com o auxílio do documento no anexo 2. Deste modo, a distribuição das forças entre o elemento de furação e a rocha durante o processo de furação fica alterado, o que leva a que haja uma maior concentração de forças em diferentes áreas, normalmente nos botões que passam a entrar primeiro em contacto com a rocha. Esta concentração de energia em alguns botões implica que estes passem a suportar um maior esforço na transmissão da onda de impacto à rocha, o que provoca a quebra do botão o que, por sua vez, irá originar uma sequência de danos pelo *bit* levando por fim à sua rejeição.

A afiação consiste no desgaste intencional do botão, de forma a recuperar a sua forma original (Ferreira, 1999), sendo evidente que quanto maior for o intervalo de afiação, maior será o desgaste no botão (maior largura do plano de desgaste) e como tal, menor será o número de vezes que será possível efetuar esta operação e também maior será o tempo necessário para a realizar, aumentando o volume de metal duro necessário a desgastar durante a afiação, assim como o número de fresas necessárias para a sua realização, conforme evidenciado na figura 67.

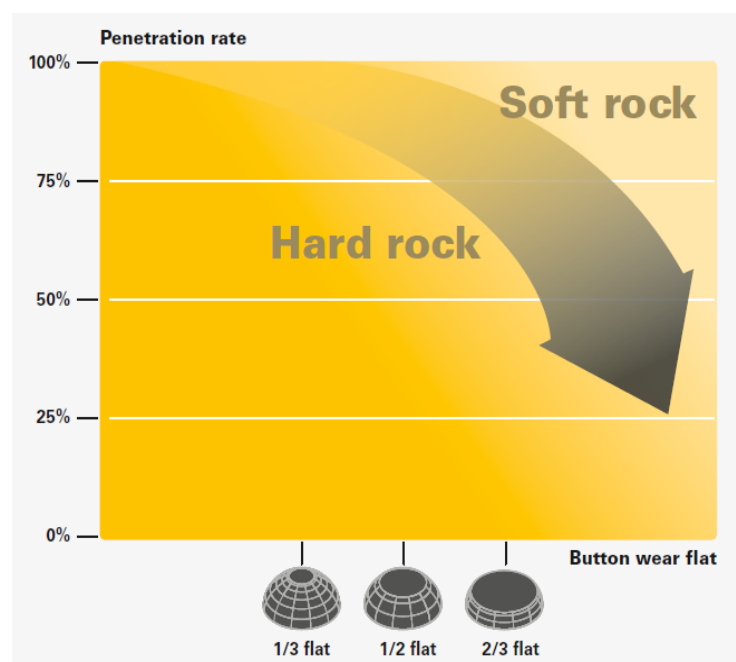


**Figura 67** – Volume a desgastar durante afiação botão (adaptado de Ferreira, 1999).

Importa salientar que o objetivo de qualquer *bit* utilizado em trabalhos de perfuração, passará por utilizar o mesmo até este ser rejeitado devido ao seu diâmetro ou outros danos entretanto causados, por outras palavras, o motivo que o leva a sair da coluna de furação deverá ser o reduzido diâmetro que este passa a ter devido ao seu desgaste (causado pelos metros furados) ou a perda de botões, quebras ou outro tipo de incidente.

Não sendo novidade que a afiação dos botões de um *bit* é fundamental para a sua produtividade, esta tarefa continua a ser menosprezada por uma boa parte dos utilizadores destas ferramentas de perfuração.

Ao desgastar o botão com a sua normal utilização em 1/3 do seu diâmetro, a sua capacidade de penetração é também reduzida em aproximadamente 30% (figura 68), mas mais importante, os custos operativos aumentam em pelo menos 40% (o tempo de furação ao aumentar, aumenta também o tempo de utilização do equipamento).



**Figura 68** – Evolução da taxa de penetração em um *bit* com o desgaste dos botões (Epiroc, 2019).

Ao afiar os botões, estamos a devolver a capacidade de penetração do *bit*, e ainda que hajam custos associados a esta tarefa, os benefícios são mais do que evidentes. De uma forma simples, o intervalo de afiação deverá corresponder ao numero de metros

perfurados até o *bit* perder o seu rendimento de furação, sendo certo que este ponto nem sempre é constante ou fácil de respeitar.

No entanto, o excesso de furação com um botão demasiado desgastado tem como consequência o esforço da coluna de furação (desgaste prematuro dos restantes elementos da coluna de furação, assim como do martelo), desvios de furação e aumento dos custos operacionais.

Todas estas opções e condicionantes a ter em conta na escolha de uma coluna de furação, por desconhecimento ou até alguma desvalorização da sua afetação no processo de furação e restantes operação do ciclo produtivo, é efetuada muitas vezes de um modo supérfluo, sendo também os cuidados e mais-valias possíveis de obter com a correta seleção e utilização destes elementos da coluna de furação, algo que nem sempre é valorizado pelos utilizadores. Feita esta abordagem dos principais temas a analisar nesta tese, compete agora entrar no campo do estudo desenvolvido ao longo desta investigação, onde esta informação até agora teórica, foi colocada em pratica nos diferentes cenários estudados.

## **Parte II - Estudo desenvolvido**





## Revisão bibliográfica

Porque para melhor conhecermos o presente, o passado devemos estudar, esta tese aborda temáticas já publicadas por outros autores, ainda que sem o seu enquadramento ou composição específica. Dada a quantidade de obras existente, que serviram e servem de base ao conhecimento atual nesta área e, por consequência, à realização deste trabalho, foi adotada uma estratégia de pesquisa conforme as recomendações PRISMA<sup>2</sup> (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), fundamentada nas bases de dados disponíveis na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), na recolha e pesquisa de documentos junto dos principais autores de documentos académicos (teses de mestrado, doutoramento, artigos, entre outros) e produtores de ferramentas de perfuração para a indústria mineira (Sandvik, Secoroc, Mitsubishi Rock Tools, Padley & Venables, Rockmore, entre outros).

Durante esta revisão bibliográfica, foram pesquisadas as seguintes palavras-chave (por título e resumo):

(PT) Aço de furação, coluna de furação, ferramentas de perfuração;

(EN) *Rock drilling tools, top-hammer, drill string*;

(SP) *Voladuras, boca botones, perforación de rocas*;

Inicialmente foram utilizadas todas as bases de dados disponíveis, sendo as mesmas posteriormente reduzidas e restritas aos recursos efetivamente relevantes e de interesse, ficando os seus resultados divididos em três grupos:

**Exclusão** (toda a informação que fosse anterior a 1970, fora do âmbito das ferramentas de perfuração aplicadas à indústria mineira e que estivesse redigida noutra língua diferente do Português, Inglês e Espanhol);

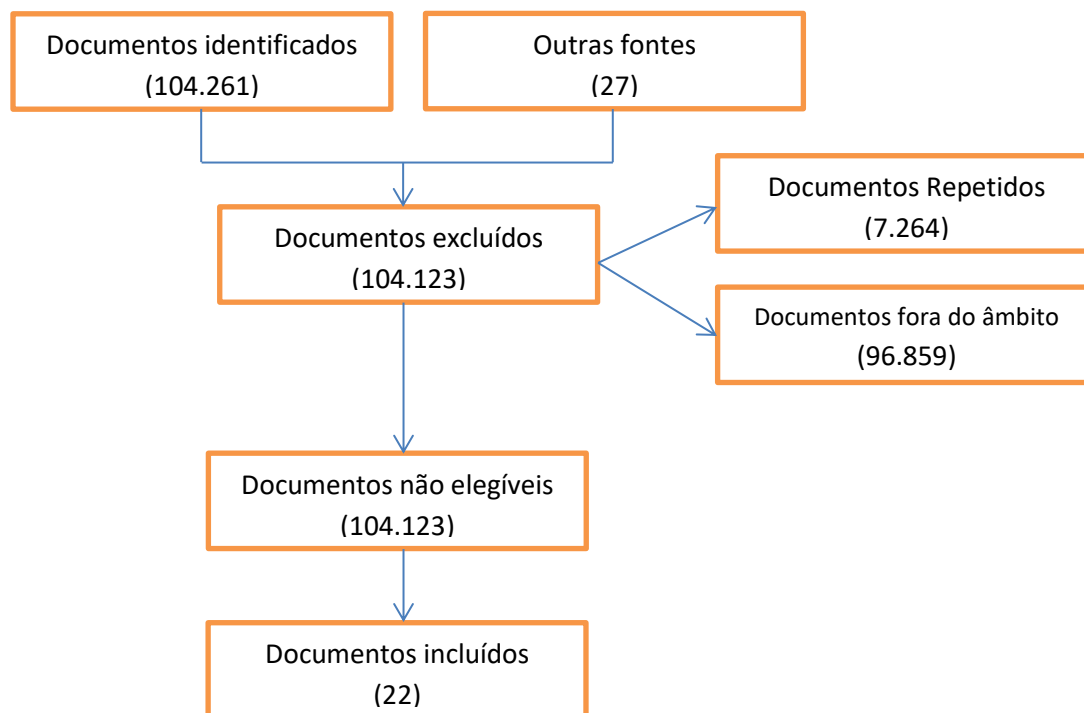
---

<sup>2</sup> PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis

**Elegibilidade** (foram excluídos todos os documentos que não têm a perfuração de rochas com recurso à rotopercussão utilizando martelos *top-hammer* como tema central);

**Inclusão** (apenas os documentos que abordam a perfuração de rochas com recurso à rotopercussão utilizando martelos *top-hammer* como tema central).

Foram identificados 104.261 documentos, onde após a remoção dos artigos repetidos (7.264) e de acordo com os critérios de exclusão, foram analisados (138) artigos. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram reduzidos para 22 documentos no estudo final, consoante o resumido na figura 69 sobre a forma de um fluxograma desta estratégia de pesquisa utilizada.



**Figura 69** - Fluxograma da estratégia de pesquisa.

Após esta metodologia de pesquisa e analisadas as obras relevantes, não esquecendo toda a base introdutória já efetuada nesta tese, importou avançar para um caminho mais concreto e centrado no tema que originou este trabalho, sendo por isso importante definir o seu enquadramento prático.

## 1. Metodologia

De entre um conjunto de processos inerentes à elaboração desta tese e após a revisão da literatura existente sobre esta temática, urge destacar alguns destes, quer para melhor contextualizar as experiências efetuadas no decorrer do processo de investigação, quer também para permitir identificar claramente a importância e ligação desta temática com a realidade mineira estudada.

### 1.1. Objetivos

Efetuada o enquadramento desta tese à temática das ferramentas de perfuração utilizadas na indústria mineira, torna-se agora necessário focar o seu conteúdo no objetivo que orienta o seu desenvolvimento, a criação de um modelo multidisciplinar que permita efetuar a escolha, utilização e otimização das ferramentas de perfuração utilizadas na indústria mineira em Portugal.

Tendo em vista este objetivo geral, e sabendo de antemão as limitações existentes que um estudo abrangente a todo o seu espectro obrigaria, foi definido um campo de aplicação restrito à realidade nacional, em ambiente subterrâneo e utilizando apenas equipamentos de perfuração do tipo *top-hammer*, pretendendo-se no entanto que este trabalho identifique as variáveis associadas à escolha do aço de furação, os condicionantes mais relevantes existentes na execução deste trabalho no ciclo mineiro, os meios disponíveis (técnicos e humanos) e, como consequência, uma análise aos rendimentos obtidos e sua otimização, de forma a permitir obter um conjunto de mais-valias, manifestadas na redução do custo-por-metro (CPM) de furação.

Pretende-se assim pois, criar um sistema (ou metodologia) que espelhe as consequências das escolhas efetuadas no dimensionamento e na utilização das diversas ferramentas de perfuração nesta atividade, através da aplicação de uma série de técnicas nos domínios da matemática e da estatística, assinalar tendências e confirmar de um ponto de vista científico o que até aqui era conhecido empiricamente ou até mesmo, com algum misticismo à mistura, passado de operador para operador sem grande detalhe explicativo ou conhecimento científico suportado. O objetivo último deste sistema passará sempre

por criar um protocolo (ou até mesmo uma ferramenta) que permita otimizar um custo operacional dos trabalhos de perfuração com base nos metros perfurados por cada elemento constituinte da coluna de furação, ou na linguagem presente nos ambientes estudados, CPM furado, deixando em aberto uma gama de sugestões de melhoria a efetuar nas condições investigadas.

## **1.2. Questões levantadas**

Centrada na necessidade de constante evolução, aprofundamento e desenvolvimento dos conhecimentos técnico-teóricos adquiridos ao longo da vida profissional do autor, esta tese de doutoramento espelha a motivação maior encontrada na janela temporal de oportunidade existente no contacto íntimo (e privilegiado) com atividades e protagonistas da atividade mineira em Portugal e no estrangeiro, que levaram a escolher o tema do aço de perfuração (com especial enfoque nas ferramentas de perfuração) para recolher e desenhar novas aproximações à gestão e otimização destas ferramentas.

Ao longo dos últimos seis anos, houve uma análise das muitas metodologias usadas na gestão do aço de perfuração em diversos ambientes da indústria extrativa (inclusivamente na vertente de obra pública e trabalhos de geotecnia), tendo recentemente sido direcionada a atividade de pesquisa e análise para o campo das perfurações subterrâneas em ambientes mineiros.

O principal problema identificado passou pela correta seleção e gestão na utilização do aço de perfuração/ferramentas de perfuração na Indústria Mineira, possuindo por isso mesmo esta tese um conceito original baseado na:

- Utilização de material já conhecido, mas com uma nova interpretação (conjugação dos registos de perfuração já existentes com a seleção dos elementos constituintes da coluna de furação, e. g.);

- Recolha de novas provas para sustentar um assunto já conhecido (análise dos resultados obtidos em diferentes configurações da coluna de furação no mesmo ambiente, e. g.);
- Investigação de áreas nunca antes analisadas por outros estudiosos nesta temática (conjugação da seleção, correta utilização e interpretação dos resultados obtidos num único modelo de simulação, e. g.).

Ao longo destes últimos anos, foi feita uma recolha exaustiva de rendimentos obtidos, custos associados, tempos de furação, escolhas nas configurações dos elementos de uma coluna de furação e metodologias utilizadas no controle e apuramento dos resultados (registos dos rendimentos obtidos nas ferramentas de perfuração, e. g.).

Desenvolveu-se, junto dos principais fabricantes destas ferramentas, contactos no sentido de visitar e conhecer pormenorizadamente o processo produtivo do aço de perfuração, assim como, perceber a influência das diferentes configurações produtivas no seu desempenho, custos e características das diversas ferramentas de perfuração.

Tem sido visível a dificuldade (inicialmente prevista no problema primário desta tese) por parte dos utilizadores destas ferramentas, em perceber as condicionantes existentes e em escolher a melhor configuração dos elementos de uma coluna de furação, de acordo com os objetivos pretendidos, o que vem balizar e sublinhar a mais-valia desta “ferramenta” que se pretende criar e desenvolver para ser utilizada na seleção, utilização, controle e otimização no uso do aço de perfuração.

Urge no entanto sublinhar as seguintes questões de fundo:

- Existe uma correta identificação dos condicionantes em cada local de trabalho?
- O utilizador é conhecedor das alternativas, relevantes, existentes no mercado?
- A tecnologia existente permite aferir com precisão como deverá ser efetuado o trabalho de perfuração?

- Existe capacidade, nos destinatários destas ferramentas, para a sua correta utilização?

- Existe nos destinatários a necessidade de melhorar os rendimentos obtidos num determinado projeto?

- Poderá a correta seleção, utilização e controle, apuramento dos resultados obtidos e sugestão de melhoria, ser implementado no contexto nacional da indústria extrativa?

Pretende-se por isso desenvolver um modelo de análise que permita simplificar o processo de seleção e otimização das ferramentas de perfuração, consubstanciado na realidade mineira nacional e centrado em todos os trabalhos que utilizam o sistema de perfuração do tipo *top-hammer* com recurso a equipamentos hidráulicos em furação subterrânea.

### **1.3. Caracterização dos cenários estudados**

Porque tudo é relevante e ao mesmo tempo a sua importância pode ser relativizada, carece de perceber, ainda que com alguma superficialidade, a realidade observada nas explorações onde os ensaios que servem de base a este trabalho foram efetuados, sendo por isso as explorações mineiras estudadas descritas quanto aos métodos de perfuração, o tipo de equipamentos, os esquemas de furação e as características geológicas encontradas.

Ainda que não existam dois projetos mineiros idênticos, e focados na realidade mineira nacional, as suas parecenças acabam por ser muitas, tendo-se por isso efetuado uma descrição de carácter genérico, mas que no nosso entender, se enquadra com todas as explorações onde foram recolhidos os dados de análise ao desempenho das ferramentas de perfuração (ver anexo 3).

#### **1.3.1. Caracterização da tecnologia disponível**

Sabendo de antemão que nem sempre é possível conciliar a utilização da tecnologia mais recente com os investimentos necessários a ela associados, a realidade mineira de subterrâneo em Portugal continua a apostar em equipamentos, de um ponto de vista tecnológico, pouco evoluído, sobrevalorizando a sua manutenção e utilização simplificadas (a maioria de funcionamento hidráulico direto, por válvulas direccionais), face à digitalização e telemática hoje em dia bem presentes nos equipamentos de última geração (automatismos, registo em tempo real). Tal opção caracteriza-se muitas vezes pela dificuldade operacional de conjugar capacidade da mão-de-obra (onde a falta de formação técnica é reconhecidamente um *handicap*) com disponibilidade financeira para preparar e aplicar a mais recente tecnologia disponível no mercado.

Ainda que a tecnologia utilizada na preparação das frentes de desmonte (utilização de perfil laser para marcação do eixo da galeria, e.g.), assim como na execução dos trabalhos de perfuração (utilização de inclinómetros digitais, e.g.) tenha vindo a ser atualizada, no entanto e por inerência ao tipo de equipamentos disponíveis, o seu melhoramento torna-se limitado, criando desta forma um paradigma para o normal evoluir tecnológico nesta indústria.

Não sendo objetivo deste trabalho fazer uma caracterização profunda do nível tecnológico de cada projeto estudado importa, no entanto, particularizar alguns aspectos que, supomos, influenciam diretamente o desempenho dos trabalhos de perfuração, e mais concretamente, o rendimento das ferramentas de perfuração utilizadas. Com este foco, importa descrever os equipamentos utilizados, as frentes de trabalho, as colunas de furação e, claro está, a metodologia existente nos projetos relativa ao registo, controlo e análise das ferramentas de perfuração.

### **1.3.1.1. Equipamentos**

Conhecedores da grande variedade de equipamentos de perfuração de rocha que são utilizados na indústria mineira, em especial no ambiente subterrâneo, optou-se por cingir este trabalho aos equipamentos de furação do tipo *top-hammer* com recurso a martelo hidráulico. Esta limitação no campo de estudo visa o aprofundar da informação recolhida, quer por questões de representatividade (nos projetos ensaiados são estes os equipamentos que mais utilização têm, e como tal, mais dados produzem) quer por questões de operacionalidade (equipamentos associados a trabalhos de perfuração com grande variedade de frentes, possibilitando a recolha de dados nos mais variados cenários dentro de cada projeto).

Face à realidade nacional estudada, os cenários disponíveis e as possibilidades de recolha de dados por parte dos diversos intervenientes nesta atividade, este estudo centrou-se nas três principais minas subterrâneas em laboração no território nacional, tendo também (graças à coincidência temporal da obra com a elaboração desta tese) sido recolhida informação nos trabalhos de perfuração do novo Túnel de Águas Santas (TAS).

Os equipamentos de perfuração disponíveis em cada um destes cenários acabam por ser bastante semelhantes nas suas características base, havendo apenas algumas modificações/configurações diferenciadoras para cada um dos projetos estudados, sendo por isso efetuada uma descrição mais pormenorizada de cada um destes. Como base geral, todos os equipamentos de perfuração utilizados neste estudo são de controle hidráulico, adaptados à realidade adversa do subterrâneo, onde esta simplicidade técnica facilita a sua operacionalidade e rápida reparação.



Convém, no entanto, detalhar cada um dos modelos utilizados nos ensaios realizados, assim como as suas principais características, de forma a poder ser balizado o campo de aplicação dos ensaios e a semelhança entre os diferentes equipamentos de perfuração.

Optamos desta forma por classificar os equipamentos de perfuração utilizados ao longo destes ensaios segundo os trabalhos/tarefas envolvidos, nomeadamente:

- **Furação de avanço** (*drift-cut*) – Perfuração de cariz horizontal, efetuada nos trabalhos de desenvolvimento de galerias, quer para acessos a minério e demais infraestruturas de uma mina, quer para exploração do minério;
  
- **Furação de sustimento** – Perfuração de cariz vertical ascendente, subdividida em duas realidades distintas entre elas, a furação longa para a realização de ancoragens definitivas (vulgos “cabos”) e a furação para sustimento temporário (parafusos do tipo *rockbolts* ou *swellex*).

Com esta divisão em mente, caracterizamos de seguida os equipamentos envolvidos nestes trabalhos de perfuração:

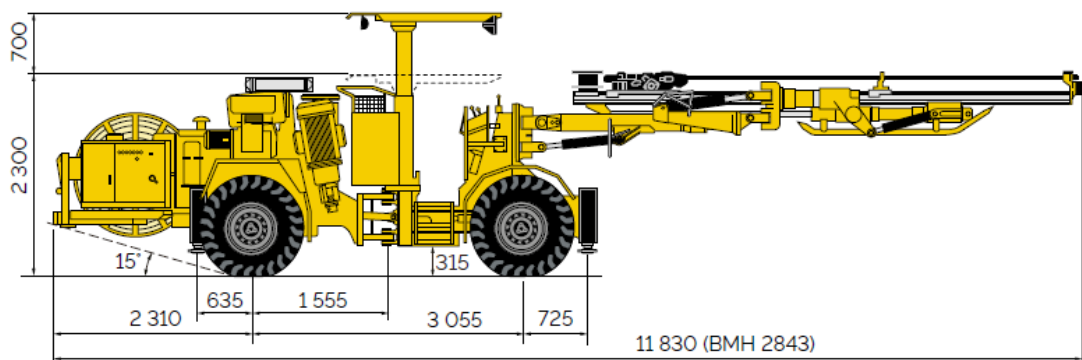
#### **1.3.1.1.1. Furação de avanço (*drift-cut*)**

Os equipamentos utilizados nestes trabalhos de perfuração são designados por jumbos, unidades de perfuração electro-hidráulicas equipadas com martelos perfuradores hidráulicos, de desenho modular, constituídos de uma forma genérica pelo chassi apoiado em rodas, cabine de comandos, motor diesel para deslocamentos entre frentes, conjunto elétrico para acionamento de bombas hidráulicas e restantes componentes necessários à realização dos trabalhos de furação, nomeadamente braços telescópicos e respetivas colunas de furação (Jimeno, 2017).

- **Atlas Copco Boomer 282**

Equipamento de perfuração com dois braços telescópicos (figura 70), cada um com três eixos direcionais, colunas de furação em alumínio com 6.507 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1838HD de 18 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência (ver anexo 4). Sistema elétrico trifásico constituído por dois motores de 55 kW cada, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 3,9 kVA. O seu sistema de comando hidráulico direto DCS (Direct hydraulic Control System) é constituído por duas bombas (uma para cada braço) com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 55,4 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, estas bombas em casos muito específicos).

Equipado com compressor Atlas Copco LE7 de 12,5 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 100 l/min @ 13,5 bar, este equipamento apresenta uma grande versatilidade na sua aplicação, ideal para a realidade dos projetos estudados onde as frentes variam na sua localização, no seu perfil até mesmo nas suas litologias, estando este equipamento adaptado para trabalhos de perfuração em secções de tamanho médio, com um máximo de 45 m<sup>2</sup>.



**Figura 70** – Esquema Jumbo Atlas Copco Boomer 282

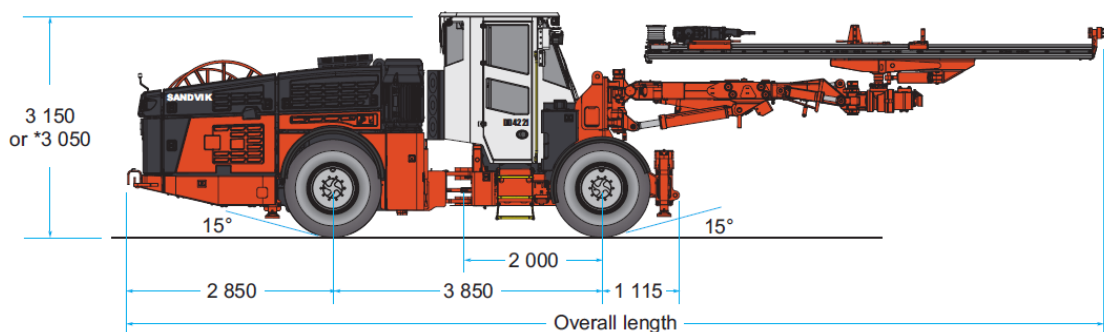
(ver anexo 5 – Especificações Boomer 282).

Nos projetos estudados, estes equipamentos estão equipados com encabadouro em rosca T38, varas *drift* T38 H35 R35 com 4.920 mm e *bits* R35 diâmetro 48 ou 51 mm.

- **Sandvik DS422**

Equipamento de perfuração muito semelhante ao anteriormente descrito, com dois braços telescópicos (figura 71), cada um com 3 eixos direcionais, colunas de furação em alumínio com 6.575 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico HLX5 de 20 kW de potência de impacto e 67 Hz de frequência. Sistema elétrico trifásico constituído por dois motores de 55 kW cada, 380 a 690 V, no entanto de arranque direto. O seu sistema de comando hidráulico direto é constituído por duas bombas (uma para cada braço) com pressão entre os 150 bar e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto e tal como já anteriormente descrito, este equipamento, graças ao seu motor diesel de 74 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, estas bombas em casos muito específicos).

Equipado com compressor Gardner Denver CTN10 de 16,7 l/s @ 7 bar (ver anexo 6) e uma bomba de água de 185 l/min @ 15 bar, este equipamento apresenta também ele uma grande versatilidade na sua aplicação, estando adaptado para trabalhos de perfuração em secções de tamanho médio, com um máximo de 48 m<sup>2</sup>.



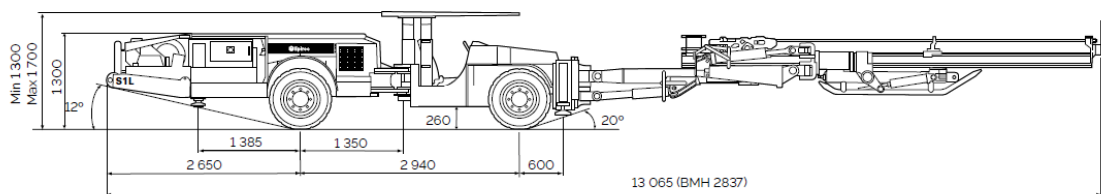
**Figura 71** – Esquema Jumbo Sandvik DS422 (ver anexo 7 – Especificações DS422).

Nos projetos estudados, estes equipamentos estão equipados com encabadouro em rosca T38, varas *drift* T38 H35 R35 com 4.920 mm e *bits* R35 diâmetro 48 ou 51 mm.

- **Atlas Copco Boomer S1L**

Equipamento de perfuração com um braço telescópico de três eixos direcionais (figura 72), coluna de furação em alumínio com 4.677 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1838HD de 18 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência. Sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 55 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 3,9 kVA. O seu sistema de comando hidráulico direto DCS (Direct hydraulic Control System) é constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 55,4 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar as mesmas em caso de necessidade).

Equipado com compressor Atlas Copco LE7 de 12,5 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 66 l/min @ 12 bar, este equipamento é ideal para trabalhos de perfuração horizontal em secções com baixo perfil, podendo ser utilizado, em situações extremas, em galerias com um mínimo de 1,3 m de altura. Equipamento de rápida mobilidade, o que lhe permite trocar de frente de trabalho com grande autonomia e conforto para o operador, adaptado para trabalhos em galerias até 29 m<sup>2</sup> de secção.



**Figura 72** – Esquema Jumbo baixo perfil Atlas Copco Boomer S1L

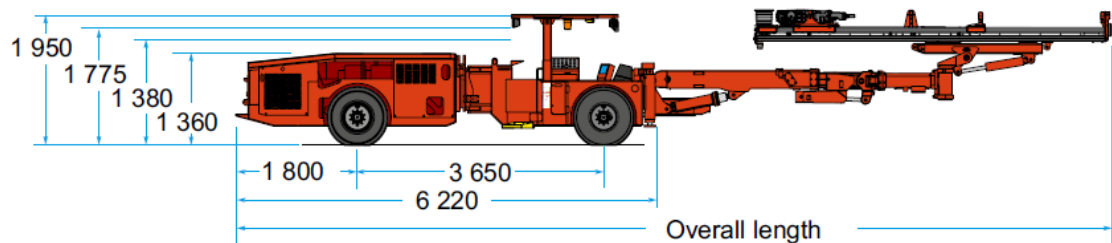
(ver anexo 8 – Especificações Boomer S1L).

Nos projetos estudados, estes equipamentos estão equipados com encabadouro em rosca T38, varas *drift* T38 H35 R32 com 3.090 mm e *bits* R32 diâmetro 43 mm.

- **Sandvik DD211L**

Equipamento de perfuração semelhante ao anteriormente descrito, com um braço telescópico de três eixos direcionais (figura 73), coluna de furação em alumínio com 4.660 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico HLX5 de 20 kW de potência de impacto e 67 Hz de frequência. Sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 70 kW, 380 a 575 V, de arranque estrela-triângulo. O seu sistema de comando hidráulico direto é constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 74 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar as mesmas em caso de necessidade).

Equipado com compressor Gardner Denver CTN16 de 26,7 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 33 l/min @ 15 bar, este equipamento é ideal para trabalhos de perfuração horizontal em secções com baixo perfil, podendo ser utilizado, em situações extremas, em galerias com um mínimo de 1,7 m de altura. Equipamento de rápida mobilidade, o que lhe permite trocar de frente de trabalho com grande autonomia e conforto para o operador, adaptado para trabalhos em galerias até 29 m<sup>2</sup> de secção.



**Figura 73** – Detalhe Jumbo baixo perfil Sandvik DD211L

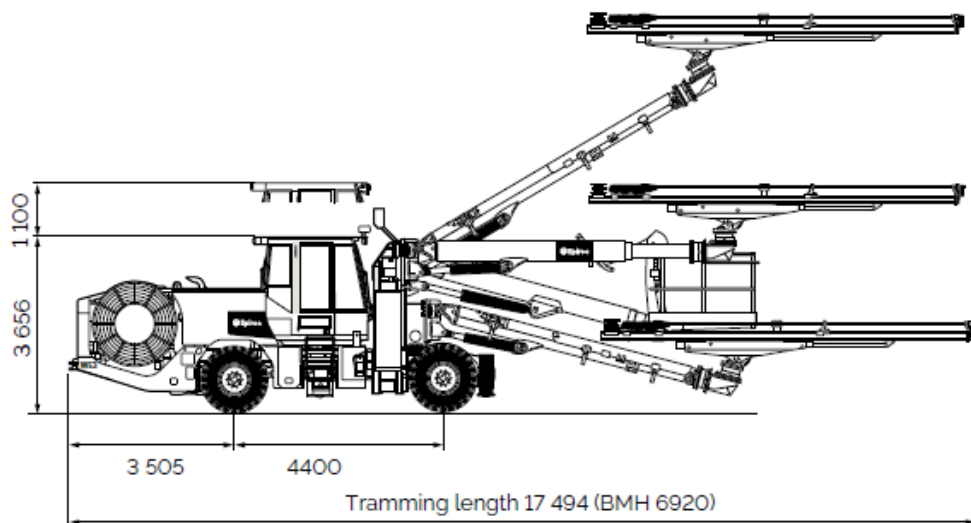
(ver anexo 9 – Especificações DD211L).

Nos projetos estudados, estes equipamentos estão equipados com encabadouro em rosca T38, varas *drift* T38 H35 R32 com 3.090 mm e *bits* R32 diâmetro 43 mm.

- **Atlas Copco Boomer E3**

Equipamento de perfuração com três braços telescópicos (figura 74), cada um com três eixos direcionais, colunas de furação em alumínio com 6.507 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1838HD de 18 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência. Sistema elétrico trifásico constituído por três motores de 75 kW cada, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 12 kVA. O seu sistema eletrónico de controlo CAN-bus RCS (Rig Control System) é constituído por três bombas (uma para cada braço) com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 175 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, estas bombas em casos muito específicos).

Equipado com compressor Atlas Copco GAR5 de 9,0 l/s @ 7 bar (ver anexo 10) e uma bomba de água de 300 l/min @ 15 bar, este equipamento tem uma aplicação muito ampla em obras de engenharia, nomeadamente em túneis com secções até 205 m<sup>2</sup>, podendo ser utilizado em trabalhos de furação horizontal (de avanço da galeria) como também na furação vertical (para aplicação do sustimento ou execução de drenos).



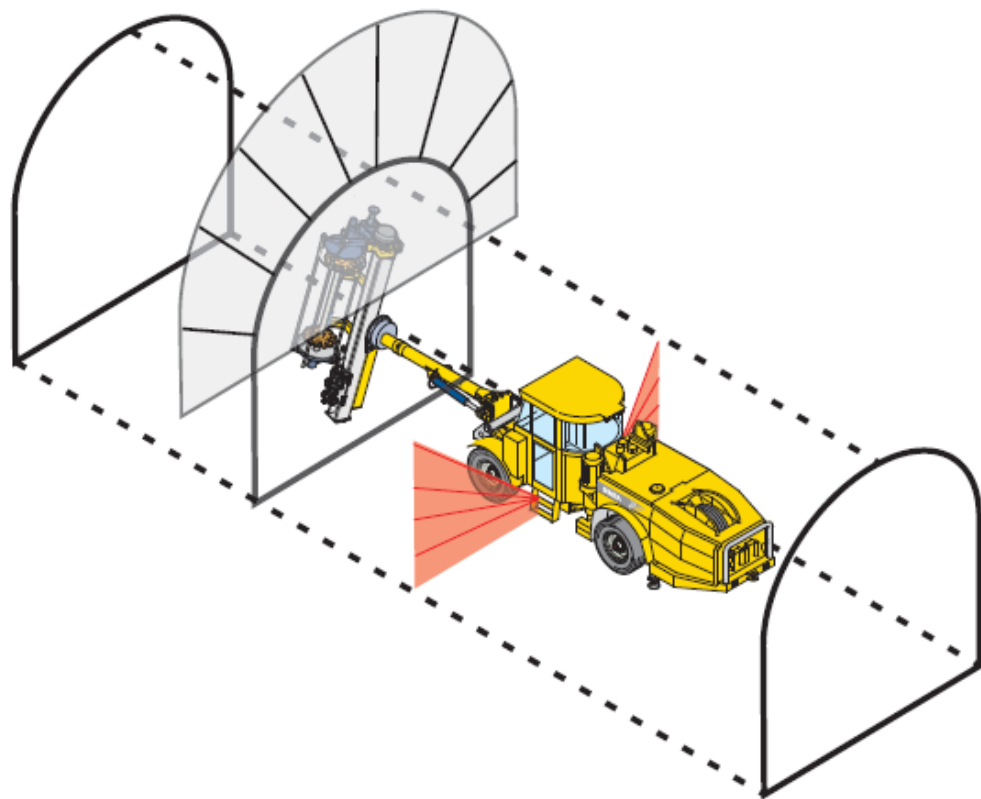
**Figura 74** – Detalhe Jumbo de túnel Atlas Copco E3  
(ver anexo 11 – Especificações Boomer E3).

Equipado com três martelos COP 1838HE, este jumbo utiliza varas de *drift* T38 H35 R35 com 4.950 mm, estando preparado para executar furos até 64 mm.

### 1.3.1.1.2. – Furação de sustimento

Esta atividade do ciclo mineiro, anteriormente descrito na primeira parte desta tese, reforça a cada vez maior preocupação das operações mineiras com os trabalhos de sustimento das galerias/cavernas nos trabalhos subterrâneos de escavação de rocha (figura 75), o que dada a natureza cíclica e laboração contínua dos projetos estudados, torna esta atividade, no que à perfuração de rocha diz respeito, uma das principais atividades do ciclo produtivo com maior expressão no número de metros perfurados.

Ainda que com o melhoramento ao longo dos últimos anos na qualidade dos desmontes de avanço, e conseqüentemente uma maior proteção ao maciço rochoso, o trabalho de sustimento numa mina acaba por ter uma importância vital para o normal desenrolar dos trabalhos, isto porque as perdas de tempo causadas por abatimentos ou desmoronamentos de material nas galerias afeta todo o restante ciclo, coloca em causa a segurança dos mineiros e provoca danos avultados nos equipamentos e infraestruturas presentes no subterrâneo.

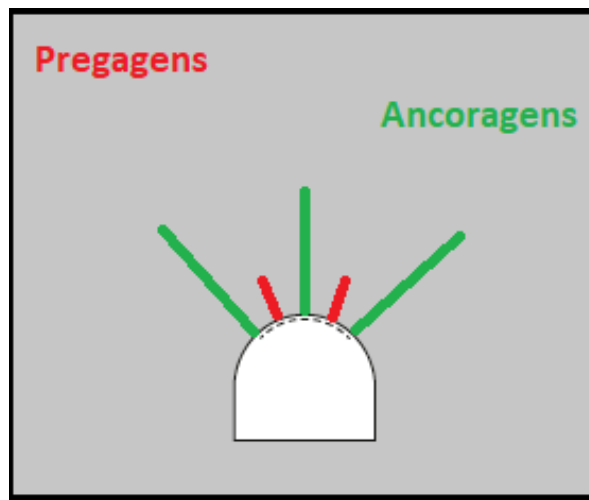


**Figura 75** – Esquema exemplificativo dos trabalhos de furação para aplicação de elementos de sustimento numa galeria (Atlas Copco, 2015).

Nos projetos estudados no âmbito desta tese, os trabalhos de perfuração para aplicação de elementos de sustimento estão divididos em dois tipos:

### 1.3.1.1.2.1. Sustimento de longa duração

**Sustimento** definitivo, onde após a perfuração de rocha são aplicadas ancoragens para mais tarde serem tensionadas, conforme detalhe na figura 76 e 77.



**Figura 76** – Esquema típico de sustimento numa galeria mineira com elementos de sustimento de curta duração e de longa duração.

(adaptado de Atlas Copco, 2015).

Estas ancoragens (também apelidadas de “cabos” nos cenários estudados) são constituídas por um cabo de malha de aço que é envolvido em calda de cimento para, após a sua presa, ser tensionado e criar um suporte ativo à caverna escavada. Na figura 77 encontra-se um corte de uma ancoragem típica.



**Figura 77** – Esquema de uma ancoragem por cabo típica dos projetos estudados

(adaptado de Soluções Geotécnicas Dywidag, 2009).



Os equipamentos de perfuração utilizados nestes trabalhos são todos eles adaptados a cada projeto em específico (alguns mesmo tratam-se de adaptações de antigos equipamentos de perfuração em fim de vida que foram reabilitados para esta função), podendo, no entanto, também serem encontradas semelhanças entre todos eles, conforme descrito em seguida.

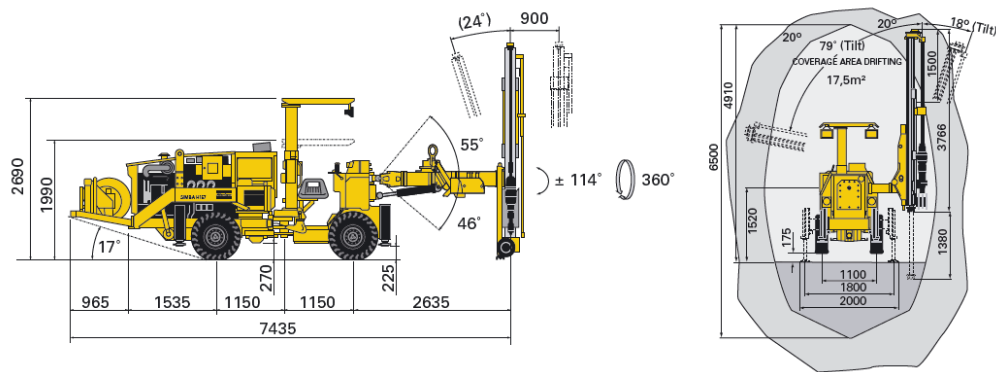
- **Atlas Copco Simba 157**

Equipamento de perfuração com um braço telescópico (figura 78), com dois eixos direcionais, coluna de furação em alumínio com 3.756 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1440 de 20 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência.

Foram os primeiros jumbos de perfuração utilizados nos desmontes de bancada, que com o evoluir das explorações, foram adaptados para a furação de cabos (com aço extensível).

Equipados com um sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 55 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 3,9 kVA. O seu sistema de comando hidráulico direto DCS (Direct hydraulic Control System) é constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 42 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, esta bomba em casos muito específicos).

Equipado com compressor Atlas Copco LE3 de 4,4 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 66 l/min @ 8 bar, este equipamento encontra-se preparado para diâmetros de furação entre 51 e 76 mm, o seu braço telescópico está otimizado para ter o máximo alcance e flexibilidade em galerias limitadas, estando também equipado com um carrocel de sete varas *speedrod* T35 com 1.830 mm, permitindo desta forma a execução de furos ascendentes em leque até aos 14 m.



**Figura 78** – Esquema Jumbo de sustimento Atlas Copco Simba 157  
(ver anexo 12 – Especificações Simba 157).

Equipamento descabinado (com canóvia apenas), acaba por se destacar pela facilidade na sua operação, não tendo, no entanto, sistemas de ajuda ao operador que lhe permitam garantir a direção e ângulos pretendidos durante a furação.

- **Atlas Copco Boomer 281**

Equipamento de perfuração com um braço telescópico (figura 79), com dois eixos direcionais, coluna de furação em alumínio com 3.756 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1440 de 20 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência.

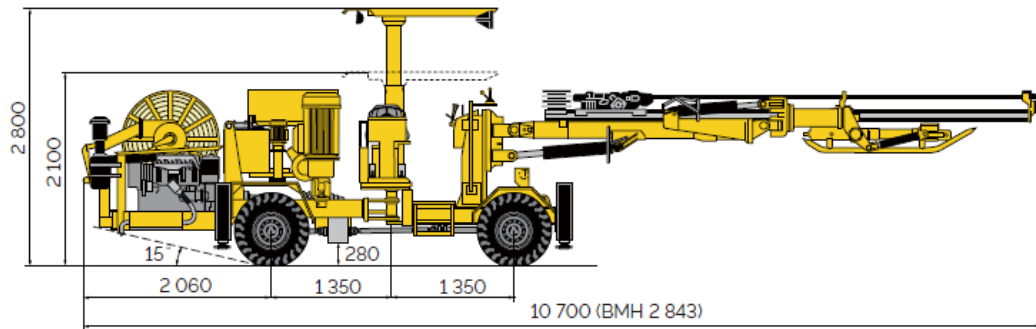
Alteração de um antigo jumbo de furação de avanço (Boomer 282 já anteriormente descrito), encontra-se equipado com um sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 55 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 3,9 kVA.

O seu sistema de comando hidráulico direto DCS (Direct hydraulic Control System) é constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 55,4 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, esta bomba em casos muito específicos).

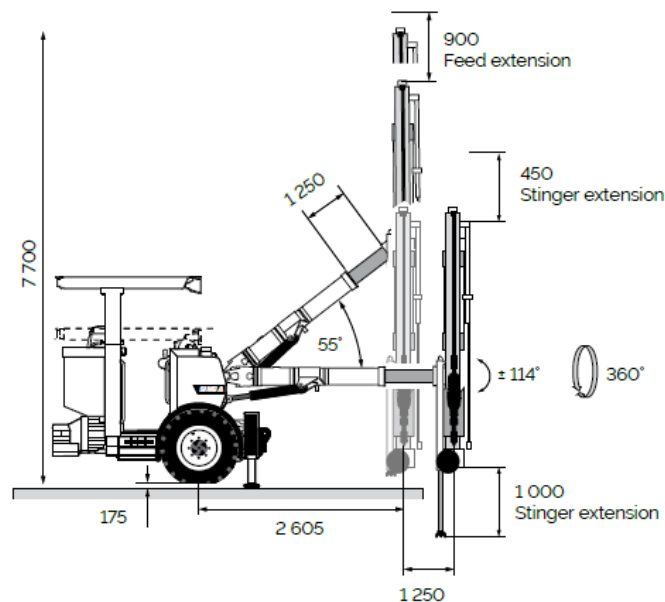
Equipado com compressor Atlas Copco LE7 de 12,5 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 100 l/min @ 13,5 bar, este equipamento encontra-se também ele preparado para diâmetros de furação entre 51 e 76 mm, o seu braço telescópico está otimizado para ter o máximo alcance e flexibilidade em galerias limitadas, estando também equipado com um

carrocel de sete varas *speedrod* T35 com 1.830 mm, permitindo desta forma a execução de furos ascendentes em leque até aos 14 m.

Equipamento cabinado, de design robusto e com um sistema de controle de simples operação, também ele sem sistemas auxiliares de ajuda ao operador durante a furação, nomeadamente inclinómetro.



**Figura 79** – Esquema Jumbo sustimento Atlas Copco Boomer 281  
(ver anexo 13 – Especificações Boomer 281).



**Figura 80** – Detalhe movimentos do braço extensível e coluna de furação do Jumbo Atlas Copco Boomer 281 (ver anexo 13 – Especificações Boomer 281).

- **Atlas Copco Simba S7**

Equipamento de perfuração com um braço telescópico (figura 81), com dois eixos direcionais, coluna de furação em alumínio com 3.847 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP 1440 de 20 kW de potência de impacto e 60 Hz de frequência.

Equipamento já pensado para esta aplicação na sua génese, encontra-se equipado com um sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 75 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo e transformador de 3,9 kVA. O seu sistema eletrónico de controlo CAN-bus RCS (Rig Control System) é constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar, de acionamento elétrico (no entanto o equipamento, graças ao seu motor diesel de 55 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, esta bomba em casos muito específicos).

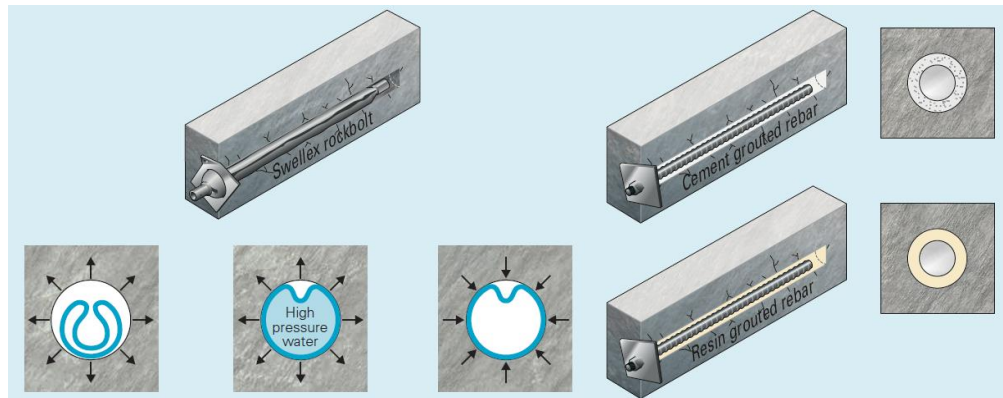
Equipado com compressor Atlas Copco LE7 de 12,5 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 60 l/min @ 12 bar, este equipamento encontra-se preparado para diâmetros de furação entre 51 e 76 mm, o seu braço telescópico está otimizado para ter o máximo alcance e flexibilidade em galerias limitadas, estando também equipado com um carrocel de sete varas *speedrod* T35 com 1.830 mm, permitindo desta forma a execução de furos ascendentes em leque até aos 14 m.



**Figura 81** – Exemplo de um Jumbo de furação Atlas Copco Simba S7  
(ver anexo 14 – Especificações Simba S7).

### 1.3.1.1.2 Sustimento de curta duração

Sustimento provisórios, onde após a perfuração de rocha são instaladas pregagens do tipo *Swellex* ou *Rockbolts*, conforme detalhado na figura 76 e 82);



**Figura 82** – Esquema de uma pregagem tipo *Swellex* (esquerda) e de uma pregagem tipo *Rockbolt* (direita) (adaptado de Atlas Copco, 2014).

Estes elementos de sustimento de curta duração são caracterizados por terem um papel passivo no sustimento da galeria, sendo comum a sua aplicação imediatamente após o saneamento das galerias após as pegas de fogo, permitindo um acesso às novas frentes de trabalho em condições de maior segurança (a figura 83 exemplifica esta aplicação do sustimento de curta duração).



**Figura 83** – Exemplo de furação vertical ascendente para posterior aplicação de pregagem do tipo *Swellex* (Epiroc, 2019).

- **Sandvik DS411**

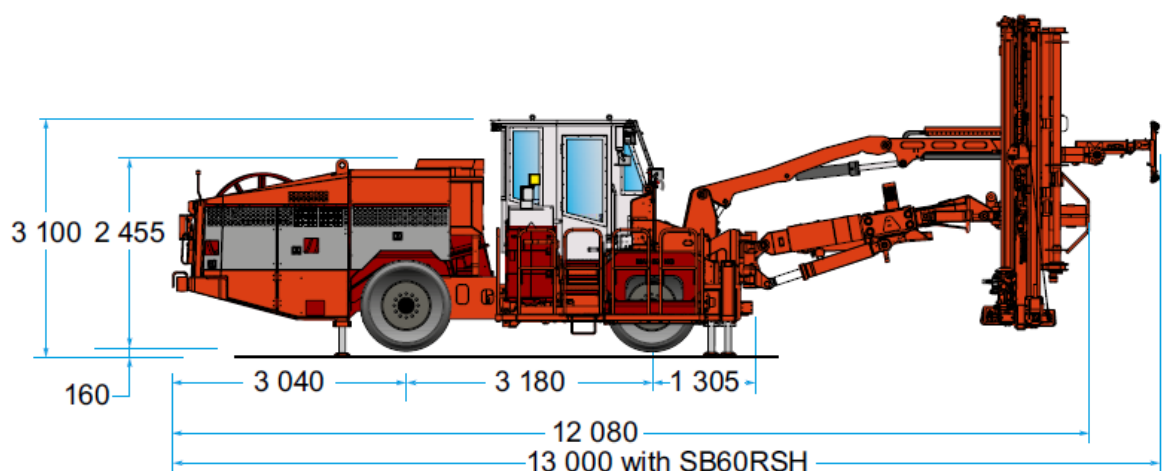
Equipamento de perfuração com um braço telescópico (figura 84), com dois eixos direcionais, coluna de furação em alumínio com 3.100 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico HLX3 de 14 kW de potência de impacto e 110 Hz de frequência.

Sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 70 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo, sendo o seu sistema de comando hidráulico eletrónico do tipo CAN-bus, constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar de acionamento elétrico (no entanto e tal como já anteriormente descrito, graças ao seu motor diesel de 110 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, esta bomba em casos muito específicos).

Equipado com compressor Gardner Denver CTN10 de 16,7 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 50 l/min @ 15 bar, um carrocel para *Swellex* ou *Rockbolts*, utiliza uma vara R32 H32 R28 com 2.650 mm e encabadouro fêmea, reduzindo por isso o seu comprimento de coluna e aumentando a sua aplicabilidade em secções mais pequenas.

Encontra-se preparado para executar furos a 38 mm, sendo o seu processo de furação e instalação do sustimento em galeria totalmente mecânico e controlado por apenas um operador.

Adaptado para a utilização de resinas de presa rápida (aquando da aplicação dos *Rockbolts*) ou para a injeção de água (no caso dos parafusos tipo *swellex*), este equipamento versátil é de utilização comum na rotina diária das minas.



**Figura 84** – Detalhe de Jumbo de sustimento Sandvik DS411

(ver anexo 15 – Especificações DS411).



- **Atlas Copco Boltec S**

Equipamento de perfuração com um braço telescópico (figura 85), com dois eixos direcionais, coluna de furação em alumínio com 3.900 mm de comprimento e martelo perfurador hidráulico COP1132 de 11 kW de potência de impacto e 110 Hz de frequência.

Sistema elétrico trifásico constituído por um motor de 75 kW, 380 a 690 V, de arranque estrela-triângulo, sendo o seu sistema de comando hidráulico eletrónico do tipo CAN-bus, constituído por uma bomba com pressão entre os 150 e os 230 bar de acionamento elétrico (no entanto e tal como já anteriormente descrito, graças ao seu motor diesel de 55 kW utilizado na deslocação e posicionamento entre frentes de trabalho, consegue acionar, ainda que de forma limitada, esta bomba em casos muito específicos).

Equipado com compressor Atlas Copco GA5 de 9,0 l/s @ 7 bar e uma bomba de água de 66 l/min @ 12 bar, um carrocel para *swellex* ou *Rockbolts*, utiliza uma vara R32 H32 R28 com 2.650 mm e encabadouro macho. Encontra-se preparado para executar furos a 38 mm, sendo o seu processo de furação e instalação do sustimento em galeria totalmente mecânico e controlado por apenas um operador.

Adaptado para a utilização de resinas de presa rápida (aquando da aplicação dos *Rockbolts*) ou para a injeção de água (no caso dos parafusos tipo *Swellex*), este equipamento versátil é de utilização comum na rotina diária das minas.



**Figura 85** – Exemplo de Jumbo de sustimento Atlas Copco Boltec S (ver anexo 16 – Especificações Boltec S ).

### **1.3.2. Caracterização qualitativa (humana)**

Afigura-se como uma constatação óbvia que bons operadores e equipamentos em bom estado tornam uma operação de perfuração mais simples, rápida e acima de tudo, mais econômica. No entanto o que define um “bom” operador e um equipamento em “bom estado” deixa por si só de ser tão evidente, devendo, no entanto, ser realçado o elevado número de exemplos ao longo do trabalho experimental desta tese, que foram constatados onde ambos estes aspetos foram claramente negligenciados.

Esta realidade, infelizmente para o setor, não se confina aos projetos estudados, nem tão pouco à atividade de perfuração do ciclo mineiro, ela é bastante generalizada, sendo a falta de formação, quer nas técnicas de perfuração, mas também na metodologia de manutenção dos equipamentos de perfuração, um dos principais motivos que acarretam consequências gravosas para o normal desenvolvimento da operação.

Apesar da dificuldade existente no setor em recrutar operários qualificados para um trabalho muito específico (perfuração em ambiente subterrâneo), tem havido uma clara conjuntura nacional favorável o que levou a aumentar o número de interessados nesta função, quer ao nível da escolaridade que possuem, quer também no brio e consciência profissional, o que começa a permitir extrair um maior valor (traduzido de uma forma muito simples em qualidade) desta atividade fulcral no ciclo de produção mineiro.

O trabalho de perfuração é caracterizado por uma grande dose de imprevistos, não há, como em muitas outras atividades, a previsão praticamente exata, das diferentes operações que o operador de jumbo (ou barrenista) terá de realizar. As variações nas características do jazigo a desmontar (dureza, coesão, possança, inclinação, fracturação, mineralização, etc.) a natureza dos terrenos, entre tantas outras, obrigam a deixar ao operário especializado uma certa iniciativa na execução do seu trabalho. Esta necessidade é ainda reforçada pela dispersão dos trabalhadores na mina (diferentes frentes de trabalho) e na dificuldade que a sua supervisão ou contato com o seu superior ser por vezes difícil e morosa.

Não sendo o objetivo deste trabalho efetuar juízos de valor, ou de outra ordem, sobre os diversos intervenientes conhecidos ao longo dos últimos anos nos diversos ensaios realizados, existe uma evidente falha no nível de conhecimento desta atividade,



muitas vezes “endeusada” como se de um saber divino se tratasse. Por não haver uma aposta (séria) na formação dos conceitos que englobam os trabalhos de perfuração, a escala hierárquica de funções reflete por ela toda, um grande desconhecimento dos métodos adequados à realização desta tarefa, foi comum encontrar práticas erradas no manuseamento das ferramentas de perfuração e dos seus equipamentos (na sua maioria pelos operadores de jumbos), mas também uma grande falta de apoio na melhoria das frentes de trabalho e na qualidade dos equipamentos utilizados (supervisores, responsáveis pela manutenção, entre outros).

Tais práticas refletem a falta de conhecimento dos diferentes intervenientes nas implicações que o descuido na tarefa de perfuração acarreta à restante operação, continuando (de uma forma global) a centrar as atenções na carga e transporte, assim como na fragmentação do material desmontado (onde a maior percentagem dos custos operativos continua a estar localizada) deixando, na sua maioria, para as empresas fornecedoras dos equipamentos e aços de furação (claros interlocutores parciais...) a responsabilidade na formação e correta passagem destes conhecimentos específicos aos seus colaboradores.

Por esta falta de saber, todo o papel de análise e melhoramento desta operação do ciclo mineiro torna-se por vezes redundante, pois a capacidade de assimilação dos conceitos analisados, torna a sua assimilação quase impossível.

É por isso evidente que o fator humano continua a ter um peso muito grande na variabilidade dos rendimentos obtidos nos trabalhos de perfuração, sendo também clara no meio, a falta de conhecimento sobre quais deverão ser os reais objetivos pretendidos neste trabalho de perfuração.

Tal como o conceito da segurança tem vindo a evoluir constantemente nas operações mineiras subterrâneas, sendo comum o reconhecimento do facto que a segurança caminha lado-a-lado com a produtividade sustentável de uma mina, o nível de formação dos intervenientes nesta atividade, apesar de se encontrar em evolução, não o acompanhou, apesar do operador de perfuração estar hoje em dia melhor equipado do que nunca para a realização do seu trabalho, quer ao nível ergonómico dos equipamentos utilizados (cabines climatizadas, FOPS<sup>3</sup> e.g.) quer ao nível das ajudas tecnológicas

---

<sup>3</sup> FOPS – Falling Object Protective Structure

disponíveis nestes jumbos (função anti encravamento da coluna de furação, inclinômetros digitais e.g.).

É razoável assumir que ao longo dos próximos anos a automação será uma realidade consumada nesta atividade, sendo que os automatismos irão permitir aos operadores a manutenção de uma distância de segurança maior, ou em alguns casos, a sua presença no subterrâneo será mesmo desnecessária, a redução dos erros de perfuração (alinhamento, desvio e profundidade de cada furo, por exemplo) será cada vez maior, no entanto e ao mesmo tempo deverá ser enfatizado a previsível redução do elevado número de acidentes (ou “quase-acidentes”, usando uma terminologia bastante presente nos projetos estudados durante a elaboração desta tese) que continuam a ocorrer diariamente, sempre com uma ligação ao fator humano, quer por incúria, falta de comunicação ou simplesmente por falta de formação específica nas tarefas que se pretendem realizar, ficando mais uma vez expressa a importância da formação e qualidade dos diferentes intervenientes nos trabalhos de perfuração.

### **1.3.3 – Caracterização das técnicas usadas na perfuração**

Ao conjunto de métodos de análise científica dos fenómenos existentes numa organização, chama-se Investigação Operacional, este método, erradamente considerado novo por alguns intervenientes na indústria mineira, já Hierão II, tirano de Siracusa (Sicília 270-215 a.c.), pedia ao sábio grego Arquimedes uma melhor utilização e distribuição das armas disponíveis para combater o exército romano durante as guerras Púnicas. Mais tarde, Pascal, Fermat, Graunt, Bernoulli, DeMoivre e Laplace foram todos eles pioneiros na utilização da probabilidade para determinação do “caminho” correto ou de maior êxito/resultado numa determinada tarefa.

Já durante a II Guerra Mundial, foram muitos os avanços que este método permitiu, quer a aliados quer a alemães, obter no cálculo dos bombardeamentos aéreos, nas rotas dos navios transatlânticos, entre muitas outras, durante o conflito.

Na indústria mineira, e na perfuração de rocha em particular, este método tem sido utilizado cada vez mais, exemplo disso são as planificações dos esquemas de perfuração, das sequências de perfuração, da distribuição dos equipamentos pelas diferentes frentes, etc. A utilização de diagramas de Gantt é, hoje em dia, comum, sendo evidentes as

possibilidades de resolução que a investigação operacional traz para esta realidade, onde a mistura de variáveis altamente aleatórias e com grande número de relações entre si, torna este conceito cada vez mais aceite na resolução de dilemas.

No âmbito desta tese, ainda que com particularidades de cada uma das realidades estudadas, o método de escavação do maciço rochoso é comum a todas elas, passa pela perfuração e desmonte com recurso a explosivos, sendo claro está o diâmetro de furação, a profundidade, direção e inclinação de cada furo diferentes consoante a tarefa a desempenhar. Para além disso, existem também os trabalhos de perfuração de rocha relacionados com a aplicação dos elementos de sustimento das galerias, que embora diferentes na sua finalidade, têm em comum com os anteriores, o método de perfuração.

Todos os projetos estudados, graças principalmente à sua realidade geológica de maciços bem consolidados e de elevada dureza, utilizam a rotopercussão com martelo de coluna (também designado por *top-hammer*) como metodologia de perfuração da rocha. Este método, como já descrito nos capítulos anteriores desta tese, é caracterizado por um alto nível de penetração no terreno, fragmentando a rocha graças à transmissão da onda de percussão, produzida no interior do martelo, ao terreno. Para além disso, os equipamentos necessários à sua aplicação, permitem o acesso rápido e autónomo às diferentes frentes de trabalho, o que conjugado com a utilização de uma mistura de ar e água como fluido de limpeza dos detritos de furação, torna a sua utilização óbvia, dado o ambiente subterrâneo destes projetos.

Pretende-se com esta caracterização técnica da metodologia utilizada nos trabalhos de perfuração de cada um dos projetos estudados, obter uma explicação de carácter simplista (não é nossa pretensão aprofundar as metodologias aplicadas ou os métodos de exploração de cada um dos jazigos) de forma a poder enquadrar o estudo e as suas variáveis, permitindo a validação das conclusões que se pretendem formar com a respetiva análise dos dados recolhidos ao longo de toda a experimentação realizada.

Qualquer dos trabalhos de perfuração estudados, começa pela definição da frente disponível na mina com base num critério de prioridade (produtiva) vs disponibilidade (operacional), o que acaba por definir qual dos equipamentos anteriormente descritos deverá ser utilizado. Com isso em mente, a respetiva marcação da furação (baseada nas

marcações efetuadas pela topografia) é efetuada e os trabalhos preparatórios da frente de trabalho definidos (necessidades de ventilação, rede elétrica, água e acesso/limpeza da frente de furação).

A distribuição das ferramentas de perfuração é feita, usando processos muito característicos (e personalizados) em cada um dos projetos estudados, sendo, no entanto, todos eles de coresponsabilidade do jumbista e do responsável pelo registo de entregas do aço de furação (ver anexo 17).

Esta logística carece de um controlo e gestão mais aprimorados, sendo comum em todos os projetos, uma enorme quantidade de elementos da coluna de furação que são perdidos ou a que se perde o controlo. Para além disso, e dada a diferente natureza de cada uma destas ferramentas de perfuração, a sua duração varia, o que aumenta a dificuldade na sua correta gestão. Entra aqui, mais uma vez, o fator humano, inerente á necessária avaliação caso-a-caso do estado de desgaste de cada ferramenta, da sua aplicabilidade ao trabalho pretendido efetuar, ao estado de conservação do equipamento de perfuração, entre tantas outras notas.

Consequência da caracterização já efetuada a estas realidades mineiras estudadas, a técnica de perfuração é por si só afetada pelo grau de formação do jumbista, a preparação da frente a perfurar e claro está, o estado do equipamento a utilizar, sendo depois a recolha e registo de todas estas variáveis uma tarefa, dada a sua morosidade, menosprezada pelos envolvidos nesta atividade. Assim, foi visível uma metodologia de controlo e análise dos rendimentos obtidos nos trabalhos de perfuração bastante heterogénea, por vezes até no mesmo projeto mineiro, sendo apenas registado em todos eles as saídas de material de perfuração do armazém central e o número de metros perfurados pelos equipamentos. Toda a restante informação, fulcral como é nossa pretensão comprovar neste trabalho, acaba por ser esquecida, o que permite, paralelamente a este estudo detalhado e normalmente relacionados com desgastes prematuros das ferramentas de perfuração, concluir que a atividade de perfuração continua a não ser tida em conta com a devida importância que lhe apraz.

Como tudo o que não é medido não é controlado (Kaplan e Norton, 1992) também aqui se pode aplicar esta máxima, o que juntamente com o baixo grau de conhecimento dos intervenientes nestes trabalhos de perfuração, faz com que as conclusões retiradas da aplicação de uma qualquer escolha de ferramentas de perfuração num dado projeto não

seja mais do que o espelho da percepção (na maioria das vezes errada) que o operador passa a um seu superior, muitas vezes pressionado por uma explicação que não consegue dar a perguntas sobre o porquê de determinado rendimento face ao “normal” de outros projetos semelhantes.

Esta caracterização das técnicas utilizadas na perfuração e seu registo de informação, é nos dias de hoje, uma importante fonte de aprendizagem, principalmente com o evoluir da tecnologia envolvida nesta atividade, e mais recentemente, na capacidade de registo e transmissão em tempo real (telemática) dos equipamentos de perfuração de última geração, de todos os parâmetros envolvidos na perfuração de rocha.

Os projetos estudados, fruto de vários fatores distantes do cerne desta tese, não possuem um sistema de registo e controlo das ferramentas de perfuração que traduza todos os detalhes já descritos como passíveis de afetar, direta ou indiretamente, o rendimento dos trabalhos de perfuração de rocha, o que dificultou em grande escala a recolha da informação pretendida ao longo desta investigação, e mais particularmente, na análise comparativa e coerente, necessária de ser efetuada, com projetos semelhantes mas com diferentes realidades operacionais.

Importa, pois, clarificar que dadas estas limitações, a informação que serve de base a este estudo teve de ser adequada às realidades encontradas, definindo as variáveis mais adaptativas e representativas dos mesmos, parecendo, no entanto, cada vez mais evidente que num futuro breve (é pelo menos essa a nossa percepção) todo este trabalho de investigação será passível de ser revisto e atualizado, com dados cada vez mais reais e com menor erro causado pela intervenção humana em todo o processo de perfuração (passando a realidade deste estudo para uma análise de meta-dados fornecidos por um conjunto de equipamentos de perfuração em tempo real).

## 1.4. Definição das variáveis

Sabendo de antemão a multiplicidade das grandezas que podem implicar na variabilidade dos fenómenos desta atividade do ciclo mineiro, e atendendo ao quase irrelevante custo dos modelos “personalizados” por cada um dos intervenientes, acaba por existir em cada cenário estudado uma tendência para multiplicar (por vezes até de uma forma algo descontrolada...) o número de variáveis e parâmetros a controlar, na esperança de certos aspetos insuspeitos desta realidade complexa e multifacetada que pretendemos estudar serem “descobertos”. Esta atitude, ainda que permita por um lado alargar o domínio dos conhecimentos empíricos de um dado cenário específico apresenta, no entanto, o perigo de diluir a capacidade de penetração no próprio objetivo deste trabalho, criando caminhos paralelos e variáveis laterais incontroláveis (Pereira, 1987).

Importa por isso e após a análise detalhada das explorações em estudo, considerar quais as variáveis que lhes são comuns e definir um conjunto de famílias para todas elas.

De facto, o carácter multidimensional destes fenómenos, exige-se que a realidade seja apreendida segundo diferentes ângulos, permitindo assim tirar partido da massa de dados colhida nos diversos ensaios realizados, como se verá mais à frente neste trabalho. É necessário, no entanto, efetuar uma retroação permanente entre os dados, a sua codificação, as técnicas de tratamento e a sua conceptualização no modelo de interpretação, o que obriga ao abandono do esquema linear de interpretação *dados* › *processamento* › *interpretação*, usando neste caso um sistema interativo com retro análise que vai permitir, sem recomeçar o processo do início, retomar a cadeia de processamento em qualquer ponto, ensaiando diferentes hipóteses e alternando determinados passos da análise.

Este sistema inscreve-se no ponto de vista da área da estatística multidimensional, designada genericamente por análise de dados (Benzecri, 1973). Trata-se de uma metodologia rigorosa e coerente, dispondo de um conjunto de regras claras de codificação e interpretação, articuladas entre si para permitir a obtenção de respostas em tempo útil aos diferentes ensaios de tratamento sugeridos neste trabalho, permitindo desta forma evidenciar a mais-valia obtida face ao tratamento de dados clássico de percentagens e tabulações.

### **1.4.1. Famílias e variáveis estudadas**

Dado o grande número de variáveis disponível para estudo, e a quantidade de ensaios possíveis de realizar, optou-se por definir um grupo de 19 variáveis, cada uma suscetível de ser subdividida em distintas classes, num total de 71 modalidades (leia-se classes)

#### **1.4.1.1. Custo Por Metro (CPM) de furação**

Espelha o valor (em €) por metros perfurados da coluna de furação. Nesta família engloba-se como elementos da coluna de furação o encabadouro, união, vara e *bit*.

Dadas as realidades em estudo, foram definidos três tipos de furação distintos, cada um com um intervalo característico de custos:

- horizontal (*drift*) de avanço em galeria;
- ascendente para sustimento temporário (*Swellex* ou *Rockbolts*);
- ascendente para sustimento permanente (cabos), usando aço extensível.

#### **1.4.1.2. Número de afiações por *bit* (NAB)**

Traduz o número médio de afiações realizadas no total dos *bits* ensaiados. Considera-se que cada *bit* afiado continua a ser utilizado até à sua rejeição.

#### **1.4.1.3. Diâmetro de furação (DF)**

Tendo em conta os três tipos de furação descritos anteriormente (ponto 1.4.1.), o diâmetro de furação utilizado permite também associar a atividade em causa, pelo que foi considerado:

- furação de sustimento utiliza 38 mm como diâmetro de furação;

- furação de drift utiliza diâmetros de furação entre os 43 e os 51 mm;
- furação de cabos utiliza diâmetros de furação entre os 54 e os 57 mm.

#### **1.4.1.4. Sentido de furação (SF)**

Nos cenários estudados, e tal como já mencionado, o sentido de furação varia consoante a atividade de furação, pelo que foram agrupados os resultados em duas variáveis nesta família:

- furação horizontal;
- furação vertical ascendente.

#### **1.4.1.5. Metros furados (MF)**

Dadas as diferenças na quantidade de metros perfurados durante os diferentes ensaios realizados, a vertente quantitativa metro furado (m) permite aferir o tamanho da amostragem estudada.

#### **1.4.1.6. Rendimento do *bit* (RB)**

Nesta família ficaram consideradas como variáveis os diferentes rendimentos associados a cada diâmetro de *bit*, e por inerência, a cada tipo de furação.

#### **1.4.1.7. Rendimento da vara (RV)**

Idêntico ao ponto anterior, no entanto e dada a característica específica da furação para cabos (usando aço extensível ao contrário de todos os outros tipos de furação estudados), foi utilizada uma matriz de atualização dos valores metros perfurados/vara para metros perfurados\* vara (ver anexo 18 com explicação do conceito metros\*vara).



#### 1.4.1.8. Rendimento da união (RU)

Neste caso, o conceito da família é idêntico aos dois pontos anteriores, sendo que para o caso da furação de sustimento e cabos, dada a natureza da coluna de furação usada nos cenários testados (encabadouro fêmea no sustimento e varas macho/fêmea nos cabos) este elemento da coluna de furação não foi considerado no rendimento obtido.

#### 1.4.1.9. Rendimento do encabadouro (RS)

Tal como as famílias relacionadas com o rendimento de um elemento da coluna de furação, os encabadouros têm as suas variáveis relacionadas com o tipo de furação em causa.

#### 1.4.1.10. Configuração do *bit* de botões (CB)

Neste caso, esta família agrupa-se em quatro variáveis distintas e de acordo com as versões ensaiadas e utilizadas nos diferentes cenários estudados, estando claro está todas as outras inúmeras configurações existentes no mercado dos *bits* de botões excluídas.

#### 1.4.1.11. Furos de limpeza no *bit* de botões (FL)

Dada a importância relacionada com a capacidade de limpeza dos detritos de furação aquando da furação, foram definidas seis variáveis com base nas configurações existentes nos cenários estudados, nomeadamente:

**Tabela 8** – Distribuição das diferentes configurações dos furos de limpeza nos *bits* de botões.

	<b>FL1</b>	<b>FL2</b>	<b>FL3</b>	<b>FL4</b>	<b>FL5</b>	<b>FL6</b>
<b>FL na face do <i>bit</i></b>	1	1	2	3	3	3
<b>FL na lateral do <i>bit</i></b>	1	2	2	1	2	3
<b>Total de FL no <i>bit</i></b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

FL = Furos de Limpeza

#### 1.4.1.12. Secção de varas (SV)

Agrupadas em dois tipos distintos (secção hexagonal ou secção redonda), esta família foi dividida em variáveis relativas ao diâmetro da secção da vara, nomeadamente:

**Tabela 9** – Distribuição dos diferentes tipos de varas.

Secção da vara	SV1	SV2	SV3	SV4
Hexagonal	28	32	35	-
Redonda	-	-	-	35

#### 1.4.1.13. Tipo de rocha (TR)

Dada a natureza geológica dos locais onde decorreram os ensaios ser bem conhecida, e sabendo da relevância que este parâmetro tem no rendimento da operação de perfuração, optou-se por dividir esta família em duas variáveis relacionadas com a resistência da rocha à compressão.

#### 1.4.1.14. Abrasividade (ABR)

De igual modo ao explicado no ponto anterior, a quantidade de SiO<sub>2</sub> presente na rocha a perfurar foi usada na classificação de variáveis dentro desta família, permitindo relacionar o seu impacto na atividade de perfuração.

#### 1.4.1.15. Condição da rocha (CR)

Dada a necessidade de quantificar o estado do terreno em que a perfuração foi realizada, a condição da rocha foi dividida em sólida ou fraturada.

#### **1.4.1.16. Perda de diâmetro do *bit* de botões (PDB)**

Entrando numa vertente mais ligada ao objetivo deste trabalho, a perda de diâmetro de um *bit* acaba por ser um dos critérios para a sua rejeição no circuito de trabalho, daí esta família ter sido dividida tendo em conta a realidade dos trabalhos de perfuração (*drift*, sustimento ou cabos).

#### **1.4.1.17. Perda de botões no *bit* (PBB)**

Idêntico ao ponto anterior, no entanto esta família é comum às diferentes realidades dos trabalhos de perfuração, sendo por isso as suas variáveis ligadas à quantidade de botões perdidos (levando à rejeição do *bit*).

#### **1.4.1.18. Perda do aço de furação (PM)**

Dada a realidade de distribuição do aço de furação pelos diversos equipamentos, o custo e tamanho de cada elemento da coluna de furação e a sua durabilidade, esta família pode ser agrupada em variáveis ligadas à aplicação em causa (furação de avanço ou de sustimento).

#### **1.4.1.19. Quebras nos elementos da coluna de furação (QC)**

Não sendo evidente a relação entre casualidade e má operação, muitas vezes este parâmetro de análise permite identificar pontos relevantes no rendimento da operação da furação. Para tal, as variáveis definidas nesta família foram também elas relacionadas com a natureza dos trabalhos de furação.



## 2. Os dados e a sua análise

Ao longo dos últimos seis anos, como já anteriormente enunciado, foi efetuada uma recolha de diferentes dados relacionados com a perfuração de rocha em ambiente subterrâneo. Rapidamente concluímos a dificuldade existente na padronização desta informação, face ao objetivo inicial desta tese, onde a criação de um modelo que permita selecionar e otimizar a utilização das ferramentas de perfuração tem a sua base. Face a esta evidência, e não havendo uma matriz comum na análise do desempenho das ferramentas de perfuração nos projetos estudados, rapidamente nos propusemos a criar uma “nova” matriz de recolha de dados que, de alguma forma, permitisse a estandardização dos registos obtidos nas diferentes realidades presenciadas e que pudesse servir como base comparativa para futuros projetos a analisar.

Sabendo desde logo as limitações existentes de diferentes índoles, desde logo temporais, mas também físicas (relacionadas com as localizações dos diferentes projetos estudados) durante a elaboração deste documento e da respetiva base de dados a ele associada, foi necessário definir algumas estratégias que permitissem, por um lado obter a maior quantidade de dados representativos da temática em estudo, mas por outro, a sua variação espacial (ou dito de outra forma, a sua variação entre projetos mineiros) fosse a mais representativa possível. Foram por isso, ao abrigo da realidade profissional do autor, mas também graças à abertura das empresas onde a investigação foi efetuada, propostos a realização de inúmeros ensaios ao aço de perfuração, usando, claro está, a evidência anteriormente descrita relativa à incúria existente na análise desta temática e das suas influências a jusante do ciclo produtivo desta indústria, permitindo desta forma obter a informação necessária à recolha dos dados para análise.

De salientar que estes ensaios que serviram de base para o campo experimental desta tese, são por si só, contaminadas com o objetivo específico de cada um deles, por um lado comercial, da parte do fornecedor das ferramentas de perfuração (óbvia em vender a solução que mais valor lhe acarreta) e da parte do cliente (não tão óbvia na compra da solução mais económica para as suas necessidades), mas por outro lado, centradas num objetivo técnico (problema definido à partida pelos utilizadores do aço de perfuração nestes projetos), que nem sempre permitiu alargar o campo de estudo a outros domínios, quiçá com resultados interessantes de serem estudados (referimo-nos a outras

áreas nos projetos mineiros onde o trabalho de perfuração de rocha está presente). Independentemente destas condicionantes, a mais-valia deste estudo não é ferida no seu conteúdo.

## 2.1. Matriz de dados e registo dos ensaios efetuados

Definidas as variáveis em estudo, que tradicionalmente são consideradas como as mais relevantes, quer pelos utilizadores das ferramentas de perfuração, quer pelos fornecedores das mesmas, e criada a matriz base para a recolha das suas variações ao longo dos diferentes ensaios *in-loco* efetuados, torna-se necessário detalhar o método em si destes registos, não sendo, à partida, nossa pretensão a descrição exaustiva do mesmo.

Com isto em mente, convém, no entanto, salientar algumas regras adotadas, nomeadamente:

- Os diferentes cenários (ensaios realizados) foram numerados com base na sua localização (projeto mineiro) e data de realização;
- Os valores referentes a CPM (em €/m) foram calculados com os valores fornecidos por cada projeto, no que ao valor unitário de cada elemento da coluna de furação diz respeito;
- Rendimentos de cada elemento da coluna de furação (m/und), foram obtidos com base nos registos oficiais de cada projeto dos metros perfurados e das quantidades de aço de furação consumidos (saídas de armazém) durante o período do ensaio;
- Número de afiações por *bit* consiste numa média aritmética entre o número de afiações efetuadas a *bits* de botões pelo número de *bits* utilizados durante o período de ensaio;
- Descrição das configurações do aço de furação foi efetuada com base nos catálogos e restante informação técnica dos fornecedores de cada ensaio realizado;
- Parâmetros de furação registados por ensaio com base nas afinações presenciadas nos manómetros dos equipamentos de perfuração, tendo por base a sua validação

enquanto equipamentos de perfuração devidamente calibrados pelas equipas de manutenção;

- Características geológicas foram divididas em classes, simplificando o registo de informação recolhida nos diferentes responsáveis pela sua classificação em cada um dos projetos estudados. Apesar da existente variedade de ferramentas para classificação de rocha, como são exemplo o Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, ou o Geological Strength Index (GSI) de Hoek, e não havendo uma regra pré-estabelecida na utilização de um método específico para classificar a rocha a perfurar, optamos por de uma forma prática, reunir as diferentes frentes de ensaio, no que à sua perfurabilidade dizem respeito, nas seguintes classificações:

**Classificação do tipo de rocha, com base na sua resistência à compressão uniaxial**

<b>Macia</b>	<b>Dura</b>	<b>Muito dura</b>
≤130 Mpa		≥220 Mpa

**Classificação da abrasividade da rocha, com base no seu teor em SiO<sub>2</sub>**

<b>Baixa</b>	<b>Intermédia</b>	<b>Alta</b>
≤20 %		≥40 %

**Classificação da condição da rocha, com base na sua estrutura**

<b>Sólida</b>	<b>Fraturada / partida</b>
Se a frente é consolidada e homogénea	Se a frente é fissurada e heterogénea

-Causas de rejeição baseadas nos registos efetuados em cada ensaio, tendo sido agrupadas as causas de rejeição do elemento da coluna de furação aos quatro tipos mais representativos de toda a amostragem recolhida nos ensaios.

Importa, no entanto, sublinhar que, para além desta recolha de dados ser sujeita a uma grande quantidade de imprevistos (avarias nos equipamentos, alteração nas condições de segurança na frente de perfuração, término do turno de trabalho para citar

apenas alguns exemplos), foi nossa pretensão obter a maior estabilidade possível nos processos de recolha desta informação, isto para que se possa afetar um eventual juízo de erro sistemático a toda a informação recolhida.

A par desta metodologia, e dada a natureza de laboração contínua nestes projetos estudados, houve necessidade de instruir os respetivos operadores no correto registo de dados em cada frente de perfuração, usando para o efeito os mapas presentes nos anexos 19, 20, 21 e 22, onde cada projeto em estudo os utilizava nas suas rotinas diárias, muitas vezes ligadas ao controlo de manutenção dos equipamentos de perfuração, onde para além da informação extra-temática da perfuração, nos foi possível obter um registo (mais ou menos) contínuo, por turno e por equipamento dos trabalhos de perfuração e das ferramentas de perfuração utilizadas.

Para além disso, a informação recolhida *in-situ* foi comparada regularmente com os registos de movimentos nos armazéns das ferramentas de perfuração dos diferentes projetos, permitindo desta forma reduzir alguns dos erros encontrados nos registos pedidos aos operadores, mas também confirmar os restantes.

Dada a natureza das variáveis estudadas, não foram necessários instrumentos mais ou menos complexos para o seu registo sendo, na grande maioria dos casos, a própria instrumentação dos equipamentos de perfuração a base de leitura dos parâmetros observados.

Todo este trabalho de investigação foi efetuado ao longo dos anos de 2013 e 2017, num total de 76 ensaios (designados por indivíduos) ao aço de perfuração realizados em 5 cenários intrinsecamente (geográfica e geologicamente) distintos entre si, dando origem à informação base desta tese, havendo posteriormente um processamento de toda esta informação de forma a realizar uma análise crítica e eliminar eventuais falhas ocorridas no processo de registo. Finalmente, todos estes dados, sujeita a uma prévia crítica e pré-processamento dos dados para a remoção de eventuais anomalias, foi armazenada na sua forma final de acordo com a tabela 10.



**Tabela 10** – Exemplo de mapa de registo de dados.

	Cenário	
	Data	
	Local	
	Equipamento	
	Martelo	
	Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	
	Número de afiações por <i>bit</i> (und)	
	Diâmetro de furação (mm)	
	Sentido furação (n/a)	
	Metros furados (m)	
Rendimento	<i>Bit</i> (m/und)	
	Vara (m/und)	
	União (m/und)	
	<i>Shank</i> (m/und)	
Configuração Aço de Furação	Configuração de <i>bit</i> (n/a)	
	Corpo do <i>bit</i> (n/a)	
	Furos de limpeza na face do <i>bit</i> (und)	
	Roscas (n/a)	
	Secção de varas (mm)	
Parâmetros furação	Pressão de percussão (bar)	
	Pressão de rotação (bar)	
	Pressão de avanço (bar)	
	Pressão de água (bar)	
	RPM (rpm)	
Geologia	Tipo de rocha	
	Abrasividade	
	Condição da rocha	
Causa rejeição	Perda diam. <i>bit</i>	
	Perda botões <i>bit</i>	
	Perda material (no circuito ou terreno)	
	Quebra na coluna de furação	
Configuração coluna de furação	Encabadouro	
	União	
	Vara	
	<i>Bit</i>	

Importa salientar que esta fase do trabalho foi importante para o desenvolvimento de algumas sensibilidades no autor, quer das características únicas de cada cenário estudado, quer dos conceitos em estudo, sempre com uma natureza empírica a eles associados, o que ajudou na orientação de alguns padrões comuns às diferentes explorações, no que aos rendimentos do aço de furação diz respeito.

Tal exercício, ainda que pouco científico, permitiu uma melhor interpretação das tendências observadas na fase de estudo seguinte, importando por isso sublinhar o quão pertinente continua a ser o feedback obtido por cada um dos operadores de perfuração, e em especial, os seus *inputs* relativos às características que o aço de furação deverá possuir, de forma a facilitar a realização da operação de perfuração nos seus contextos específicos.

Abdicando de exprimir nesta fase algumas conclusões, ainda que iniciais, sobre as tendências observadas entre os diversos ensaios ao aço de furação, cumpre, no entanto, confirmar que a pertinência das variáveis escolhidas é grande, quer seja pelo seu agrupamento em classes ter permitido resumir de uma forma mais legível as informações referentes aos 76 ensaios realizados, quer também pela sua aplicabilidade nos diferentes projetos mineiros onde os testes foram efetuados.

Algumas destas direções preliminares no estudo, acabam por ser analisadas e validadas, com detalhe científico, nos capítulos seguintes.

## **2.2. Metodologia da otimização**

A dimensão da informação recolhida, como resultado das diversas metodologias já existentes no controle dos trabalhos de perfuração na indústria mineira, faz com que o seu tratamento em tempo útil seja uma tarefa hercúlea, muitas vezes menosprezada pela evidente falta de disponibilidade temporal dos intervenientes. No entanto, as valências obtidas pelo seu estudo detalhado são indubitáveis.

Procura-se neste capítulo explicar a metodologia de análise de toda a informação anteriormente descrita após a realização dos ensaios nos diferentes projetos mineiros estudados, nomeadamente na aplicação de técnicas do âmbito da estatística. Obedecendo a uma metodologia crítica sobre a forma e conteúdo da informação analisada, procurou-se em simultâneo esclarecer algumas incoerências observadas no ponto 2.1., nomeadamente na consistência dos rendimentos obtidos em ensaios diferentes, mas realizados no mesmo projeto (condicionantes físicas semelhantes).

### **2.2.1 Estatística Multivariada - Análise Fatorial**

A obtenção e o acesso a grandes quantidades de informação, da mais variada natureza, constitui atualmente, com a emergência da “internet das coisas” (IoT) e dos *big data* que lhe estão associados, um dos paradigmas da nova era digital. Também na área das geociências esta facticidade tem vindo, cada vez mais, a impor-se como uma realidade incontornável. São disso exemplos as entrevistas publicadas por Lee e Prowse (Lee e Prowse, 2014), onde estes analistas industriais compilam algumas reflexões sobre o futuro da indústria mineira associada à IoT, ou ainda Zhang (Zhang et al., 2012) e Dong (Dong et al., 2017), a propósito da aplicação de novos sistemas e tecnologias em minas de carvão.

A profusão de registos e variáveis impossibilita um claro e imediato discernimento sobre o que é importante ou acessório, sobre o que é consequente ou espúrio, ou mesmo quais as estruturas relacionais que estão alicerçadas em fenomenologias interpretáveis e aquelas que resultam de efeitos meramente colaterais sem significado interpretativo. Importa, portanto, verificar, não só a consistência e validade da informação, mas também impor novas abordagens metodológicas no processamento e tratamento dos dados que

consigam revelar, na imensidão de informação disponível, a(s) arquitetura(s) relacionais existentes nos dados.

O recurso a métodos computacionais aliado a modernas metodologias estatísticas no âmbito da estatística multivariada possibilitou, nos últimos anos, avanços significativos no tratamento consequente de grandes volumes de informação, nos quais se procura reter os aspetos essenciais (por vezes insuspeitos) de uma realidade multidimensional e complexa. Embora conhecida desde 1900, com os trabalhos pioneiros de Pearson e Spearman, é somente no início dos anos 70 do século passado (facto a que não é alheio o aumento exponencial da capacidade de cálculo que se verifica na altura) que a Análise Fatorial das Correspondências (AFC) emerge, como uma das técnicas da estatística multivariada eleita para concatenar e interpretar as grandes massas de dados disponíveis.

Os primeiros desenvolvimentos da Análise de Correspondências são difíceis de descrever. Desde o seu aparecimento, o método foi desenvolvido e reformulado por diversos cientistas independentemente (Nishisato, 1980, ou Benzécri, 1982). A Análise de Correspondências insere-se no conjunto de métodos que surgiram após os inovadores artigos de Karl Pearson (1901 e 1906) e, posteriormente ao desenvolvimento da Análise em Componentes Principais por Hotelling (1933) e, ao aparecimento da Análise Factorial Clássica de Spearman (1904) seguida de Thurstone (1935). Presentemente, Hirschfeld (1935) é reconhecido como o fundador do método, embora existam trabalhos pioneiros publicados por Fisher (1940) no campo da Biometria e por Horst (1935) e Gitana (1941) em Psicometria. Foi este conjunto de artigos que permitiu o desenvolvimento de diversos métodos semelhantes por escolas distintas. Os seguidores de Fisher, na área da Biometria, desenvolveram o método conhecido como Reciprocal Averages (curiosamente, nome sugerido pelo Psicologista Horst, 1935) e os seguidores de Guttman, no campo da Psicometria, o método Dual Scaling (ou Optimal Scaling). Contudo, foi apenas na década de 60 do século passado, numa área totalmente diferente (em Linguística), pelo génio de Benzécri, que teve origem a forma geométrica dos métodos anteriormente mencionados, ao qual o próprio deu o nome de Análise de Correspondências, finalizando a sua investigação com uma excelente obra em 1973.

Esta importante obra de Benzécri proporcionou a toda a comunidade científica uma perspetiva totalmente diferente da metodologia estatística de análise de dados, com

uma filosofia muito própria (Bénzecri, 1969). Todavia, devido à sua linguagem matemática muito particular, a uma filosofia algo controversa, além da pouca difusão da língua Francesa, na qual a obra foi redigida, o método não obteve grande projeção na década de 1970. É nesta fase que surgem escolas de referência na área da Análise de Correspondências e seus métodos relacionados, como em França, com os sucessores de Bénzecri, Lebart (1975, 1984) e Escofier (1978), a escola Inglesa de Hill (1973, 1974), a escola americana de Nishisato (1980), e a escola Holandesa liderada por De Leeuw (1973, 1983). Todavia, estes métodos não obtiveram o impacto desejado devido à sua fraca difusão e também por continuarem presos às suas ciências de origem (por exemplo, a escola Francesa muito concentrada nas suas aplicações Linguísticas, a escola Inglesa com a Biometria, e a escola Americana com a Psicometria), mesmo apesar dos ensaios realizados na tentativa de unificar os diversos métodos por Gifi (1981), pseudónimo da escola de De Leeuw, e, Tenenhaus e Young (1985).

Dentro deste contexto, surge a obra de Greenacre em 1984, que originou o renascimento do método dentro da comunidade científica da Europa Ocidental e aumentou o seu horizonte à escala Mundial. Esta obra de referência de Greenacre determinou a afirmação internacional da Análise de Correspondências, e o aparecimento de numerosas publicações nesta área (ver Beh, 2004). A versatilidade da Análise de Correspondências permitiu a sua rápida integração e crescente popularidade como ferramenta indispensável na análise de dados nas mais diversas áreas, desde a Medicina, Geologia, Economia e muitas outras ciências que podemos consultar no trabalho de Beh (2004). O interesse crescente neste método permitiu a investigação, desenvolvimento e aperfeiçoamento do algoritmo tradicional, despontando inúmeras adaptações e variantes do mesmo, ajustando a sua aplicação ao campo em estudo dos diferentes autores destas variantes.

A abordagem metodológica preconizada neste trabalho e no que diz respeito ao tratamento da informação (utilização da AFC, no domínio da estatística multidimensional) insere-se na linha das reflexões anteriores e perspetiva a abordagem exploratória de dados, no sentido que lhe atribuí Benzécri (Benzécri, 1973, 1980).

Esta opção metodológica que encontra similitudes (embora referente a estudos estatísticos unidimensionais) à abordagem que Tukey propõe (Tukey, 1977, Murteira e Black, 1983), não segue a tradicional linha da estatística clássica, baseada no pressuposto

que os dados são provenientes de um qualquer tipo de função densidade de probabilidade e em relação à qual é possível fazer inferências sobre os parâmetros da distribuição, mas sim uma nova filosofia do tratamento de dados na qual, sem hipótese distribucionais à priori, procura-se identificar a estrutura inter-relacional entre todas as variáveis (de natureza qualitativa e/ou quantitativa) presentes na matriz inicial de dados.

As considerações epistemológicas e o estatuto de “verdade” que podem eventualmente ser colocados à utilização destas metodologias, podem ser ultrapassados não só pela aplicabilidade dos métodos e dos seus resultados, quando em confronto com a realidade, mas também pela validação pragmática que estes métodos evidenciam e pela eficácia que exibem. O perigo, na utilização acrítica destas metodologias, de um reducionismo utilitarista no sentido criticado por Rogado (Rogado, 1989), deve ser ponderado pelo sincretismo de uma metodologia baseada no “*data driven approach*” com uma suportada no “*model driven approach*”.

A AFC, enquanto método fatorial proposto para este trabalho, revelou ser a técnica de tratamento estatístico multivariado que melhor se adequa aos propósitos e natureza das variáveis em estudo. Como refere Vieira quando reflete sobre a validade teórica de questionários (Vieira, 2016), aqui passível de ser estendida para validar a informação extraída dos diferentes cenários estudados (fonte da informação utilizada nesta tese) “...é usual considerarem-se 3 tipos de validade teórica: a validade convergente, a validade discriminante e a validade fatorial. A validade fatorial foi avaliada com o recurso à análise fatorial das correspondências, na qual foram considerados os coeficientes de correlação das diferentes componentes (leia-se variáveis/modalidades dos cenários construídos) com os eixos fatoriais (entenda-se temática em análise). O coeficiente de validade é assim o coeficiente de correlação entre o eixo fatorial e a(s) variável(eis) medida pelo cenário em análise (Hill et al., 2012). Esta forma de validade teórica apresenta vantagens em relação às validades convergentes ou discriminantes, por permitir medidas mais sofisticadas e pormenorizadas das diferentes variáveis dos cenários criados em relação aos fenómenos em estudo...”.

A AFC, da qual a Análise Fatorial das Correspondências Binárias (AFGB) é uma variante, é um tratamento estatístico que permite estabelecer uma estrutura hierárquica das variáveis iniciais por ordem decrescente da sua importância para a explicação dos

problemas em estudo. Este outro “olhar” sobre a fenomenologia em análise, tem implícita a criação de novas variáveis compostas em relação linear com a primeiras (eixos fatoriais) e que explicitam as relações entre toda a informação relevante para o objeto de estudo.

Uma das inegáveis vantagens da aplicação da AFCB em relação a outros métodos estatísticos multivariados consiste na possibilidade que esta técnica estatística proporciona no tratamento estatístico conjunto e simultâneo de variáveis expressas em escalas nominais (por exemplo sentido da furação – horizontal ou vertical), variáveis expressas em escalas ordinais (por exemplo a abrasividade – baixa, intermédia ou alta) ou mesmo variáveis expressas em escalas intervalares (número de metros furados).

A propósito dos métodos fatoriais AFC, observam Garcia Pereira e Jorge de Sousa, (1988) “...*O objetivo dos métodos descritivos é encontrar, com um mínimo de hipóteses à priori, uma representação aproximada do quadro de partida que garanta o máximo de conformidade geométrica com os dados...*”.

O objetivo inicial na aplicação da AFC aos dados construídos a partir das diferentes configurações dos aços de perfuração, dos custos por metro de furação, do uso dos diferentes tipo de equipamentos, etc... consiste na possibilidade de se estudar, não só o sistema de relações entre as variáveis (modalidades – colunas da matriz de *input*) e os indivíduos (linhas da matriz de *input*), mas também a eventual construção de arquétipos (por exemplo uma situação de referência para um determinado cenário), definindo novos eixos fatoriais em relação aos quais se projetam em suplementar as variáveis originais.

Pretende-se, com esta estratégia, estabelecer uma espécie de regressão qualitativa das variáveis suplementares sobre as novas variáveis de referência. Conclui-se, no entanto que, face à acentuada variabilidade dos dados em torno das situações de referência, os resultados a extrair da estratégia acima referida não se traduzem em qualquer tipo de acréscimo significativo no entendimento da fenomenologia em causa.

### 2.2.1.1. Análise Fatorial das Correspondências Binárias

Na sequência do explanado anteriormente, concretiza-se e pormenoriza-se agora os tratamentos estatísticos efetuados no âmbito da estatística multivariada. Como já anteriormente referido a opção recaiu na AFC e em particular numa sua variante a AFCB.

O propósito primeiro dos Métodos Fatoriais de análise, consiste numa redução da dimensionalidade do espaço inicial de informação (na matriz de dados iniciais cada variável corresponde a uma dimensão), por forma a tornar compatível e viável a estrutura de relações entre as diferentes variáveis em estudo. Em AFC o propósito referido consegue-se com a projeção das variáveis (e das suas sub-variáveis, i.g., as modalidades) nos planos fatoriais.

Considerando a informação que, neste trabalho, foi objeto de tratamento estatístico, contata-se que existem variáveis de natureza e métrica muito distintas, variáveis quantitativas, variáveis qualitativas de métrica nominal, ordinal ou mesmo intervalar. Perante este fato existe a necessidade de atribuir a todas as variáveis o mesmo estatuto e, desta forma, permitir que o tratamento estatístico seja simultâneo e englobe a totalidade das variáveis em estudo. Um dos métodos que se utiliza para “igualar” as variáveis, independentemente da sua natureza, é a codificação dicotómica em “0” e “1” das variáveis previamente subdividas em categorias (neste estudo denominadas modalidades da variável). Considere-se uma matriz inicial de dados  $K$ , ver tabela 11, codificada em disjuntiva completa segundo o critério.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o indivíduo } i \text{ ocorre na modalidade } j \\ 0 & \text{no caso contrário} \end{cases}, \forall x_{ij} \in K \quad \text{[Equação 3]}$$



**Tabela 11** - Exemplo do quadro de descrição lógica (presença – ausência), matriz de *input* de dados codificada em disjuntiva completa e utilizada na AFCB.

modalidades (p=71)

Q – Variáveis	Custo por metro de furação - CMF			N.º de afiações por bit - NAB			....	Perda de material no circuito - PM			Quebra na coluna de furação - QC		
	CMF1	....	CMF6	NAB1	....	NAB4		....	PM1	....	PM3	Qc1	....
p - Modalidades (Código) → c - Indivíduos (cenários) ↓													
C <sub>1</sub>	1	....	0	1	....	0	....	0	....	0	1	....	0
C <sub>2</sub>	1	....	0	0	....	1	....	0	....	1	0	....	0
...	...	...	...	...	...	...	....	...	...	...	...	...	...
C <sub>75</sub>	1	....	0	0	....	0	....	0	....	0	1	....	0
C <sub>76</sub>	1	....	0	0	....	0	....	1	....	0	0	....	1

indivíduos (n = 76)

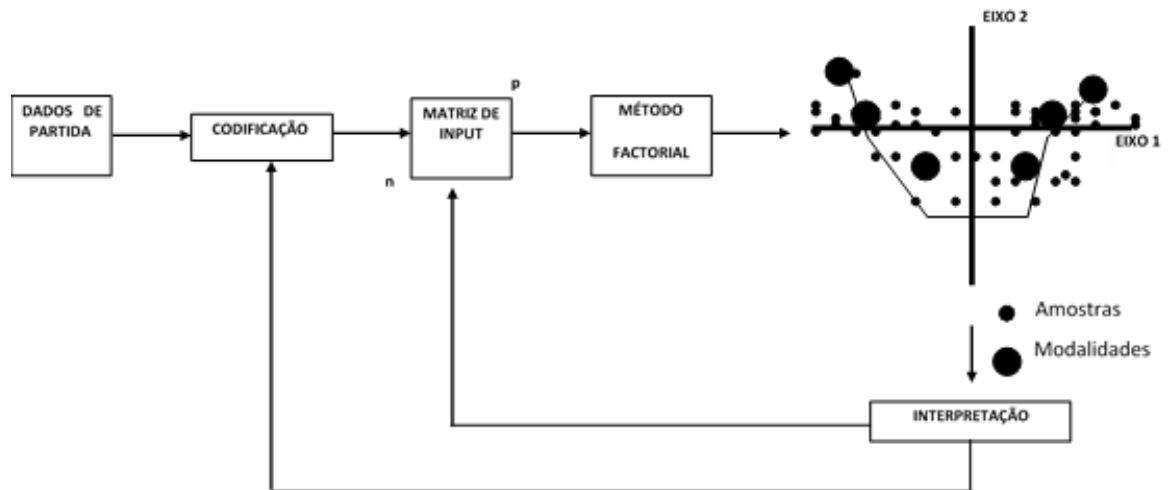
Inerente à aplicação prática dos métodos fatoriais, está a definição de uma estratégia regressiva, baseada na confrontação entre a codificação dos dados iniciais e a posterior interpretação dos resultados obtidos em função da codificação adotada.

Entende-se, neste trabalho, por codificação dos dados de partida, toda uma série de operações de transformação e rearranjo dos dados, até se obterem as matrizes de *input* que, submetidas à AFC, conduzem a resultados interpretáveis.

As codificações utilizadas foram:

- Consideração de códigos identificadores para os cenários e modalidades;
- Definição de limites de classes para as diferentes modalidades;
- Agregação (na mesma variável) de diferentes modalidades;
- Desdobramento da matriz inicial dos dados de partida em sub-matrizes;
- Eliminação de algumas variáveis e/ou amostras;
- Projecção de modalidades em suplementar.

A justeza dos resultados só pode ser avaliada e validada caso a caso, face à clareza das interpretações sugeridas pela projeção da nuvem de pontos, o que implica muitas vezes "voltar atrás" para que, numa perspetiva retroativa (ver figura 86) se possam ensaiar novas codificações, analisando-se em seguida as eventuais melhorias que essas modificações produziram no esclarecimento do fenómeno em estudo.



**Figura 86** – Retroação em AFC (adaptado de Garcia Pereira, 1990).

Em AFC, os fatores, hierarquizados por ordem decrescente da sua importância para a explicação da tabela de partida, constituem um sistema de eixos ortonormais (espaço de dimensão compatível com a interpretação) onde é possível visualizar, sob a forma gráfica, as projeções da matriz de dados. A interpretação das projeções baseia-se num conjunto de regras que pretendem evidenciar as relações mais importantes existentes nos dados de partida “...a interpretação dos gráficos faz apelo a conceitos topomorfológicos, ligados à posição relativa das projeções da nuvem inicial no espaço dos fatores retidos e à própria forma sugerida pelo conjunto dessas projeções...”, (Garcia Pereira, 1990).

A AFC permite-nos visualizar, através de gráficos bidimensionais (planos fatoriais), conseguidos à custa de uma redução na dimensionalidade espacial dos dados de partida, não só o sistema de relações no interior de cada um dos conjuntos formados pelas modalidades (colunas da matriz) ou pelos indivíduos (linhas da matriz), mas também os sistemas de relações conjuntas existentes entre modalidades e indivíduos.

Embora uma das vantagens na aplicação da AFC resida na possibilidade de se visualizarem simultaneamente as estruturas entre as modalidades e os indivíduos, o uso que dela faremos neste trabalho resumir-se-á à descrição da estrutura relacional entre modalidades. Este método, que privilegia as formulações dos dados de partida em quadros disjuntivos completos, considera simultaneamente um conjunto multidimensional de variáveis tendo em conta o sistema de interdependências entre as diferentes modalidades de todas as variáveis.

Considerando que a matriz de dados inicial continha variáveis de diferentes naturezas (face às métricas em que se exprimem, por exemplo, a variável metros furados, medida numa escala intervalar ou a variável configuração de *bit*, medida numa escala nominal), foi necessário assegurar a homogeneidade das variáveis através de uma prévia codificação dos dados de partida. Esta codificação (tabelas 12 e 13), que passou pela transformação de algumas variáveis mensuráveis em variáveis ordinais subdivididas em várias classes (aqui designadas por modalidades da variável), contou com a intervenção do autor deste trabalho e com a participação do Professor Doutor Joaquim Góis.

**Tabela 12** – Descrição e codificação das variáveis e das modalidades  
(frequência absoluta e percentagem).

Variável - Descrição	Código Variável	Modalidade	Código Modalidade	Freq. Absoluta	Percentagem
1 - Custo Por Metro de furação (€/m)	CMF	< 0,315	CMF1	29	38%
		]0,315 - 0,576]	CMF2	20	26%
		]0,576 - 1,020]	CMF3	12	16%
		]1,020 - 1,359]	CMF4	5	7%
		]1,359 - 1,701]	CMF5	6	8%
		> 1,701	CMF6	4	5%
2 - Numero de afiações por <i>bit</i> (und.)	NAB	0	NAB1	7	9%
		]0 - 2]	NAB2	23	30%
		]2 - 6]	NAB3	38	50%
		> 6	NAB4	8	11%
3 - Diâmetro de furação (mm)	DF	38	DF1	20	26%
		]43 - 51]	DF2	47	62%
		57	DF3	9	12%
4 - Sentido furação (n/a)	SF	Horizontal	SF1	47	62%
		Vertical ascendente	SF2	29	38%
5 - Metros furados (m)	MF	< 28.000	MF1	41	54%
		]28.000 - 76.000]	MF2	17	22%
		> 76.000	MF3	18	24%
6 - <i>BIT</i> (m/und)	RB	< 133	RB1	8	11%
		]133 - 188]	RB2	10	13%
		]188 - 212]	RB3	6	8%
		]212 - 287]	RB4	4	5%
		]287 - 541]	RB5	39	51%
		> 541	RB6	9	12%
7 - VARA (m/und)	RV	< 310	RV1	9	12%
		]310 - 430]	RV2	7	9%
		]430 - 664]	RV3	9	12%
		]664 - 899]	RV4	4	5%
		]899 - 2027]	RV5	18	24%
		> 2027	RV6	29	38%
8 - UNIÃO (m/und)	RU	< 3.000	RU1	7	9%
		> 3.000	RU2	42	55%
		n/a	RU3	27	36%
9 - <i>SHANK</i> (m/und)	RS	< 1.049	RS1	14	18%
		]1.049 - 1.559]	RS2	15	20%
		]1.559 - 2.110]	RS3	5	7%
		]2.110 - 6.530]	RS4	34	45%
		> 6.530	RS5	8	11%

**Tabela 13** – Descrição e codificação das variáveis e das modalidades (frequência absoluta e percentagem), continuação.

Variável - Descrição	Código Variável	Modalidade	Código Modalidade	Freq. Absoluta	Percentagem
10 - Configuração de <i>bit</i> (n/a)	CB	Face plana, botões R	CB1	17	22%
		Face plana, botões SB	CB2	10	13%
		Face convexa, botões R	CB3	27	36%
		Face convexa, botões SB	CB4	22	29%
11 - Furos de limpeza na face do <i>bit</i> (und)	FL	1 + 1	FL1	20	26%
		1 + 2	FL2	5	7%
		2 + 2	FL3	2	3%
		3 + 1	FL4	6	8%
		3 + 2	FL5	28	37%
		3 + 3	FL6	15	20%
12 - Secção de varas (mm)	SV	H28	SV1	10	13%
		H32	SV2	10	13%
		H35	SV3	47	62%
		R35	SV4	9	12%
13 - Tipo de rocha	TR	Dura	TR1	26	34%
		M. Dura > 220Mpa	TR2	50	66%
14 - Abrasividade	ABR	Baixa < 20% SiO <sub>2</sub>	ABR1	18	24%
		Intermédia	ABR2	37	49%
		Alta > 40% SiO <sub>2</sub>	ABR3	21	28%
15 - Condição da rocha	CR	Sólida	CR1	10	13%
		Fraturada / Partida	CR2	66	87%
16 - Perda diâmetro <i>bit</i>	PDB	< 18%	PDB1	34	45%
		]18% - 25%]	PDB2	12	16%
		> 25%	PDB3	30	39%
17 - Perda botões <i>bit</i>	PBB	< 9,5%	PBB1	39	51%
		]9,5% - 15,5%]	PBB2	7	9%
		> 15,5%	PBB3	30	39%
18 - Perda material (no circuito ou terreno)	PM	< 22%	PM1	34	45%
		]22% - 37%]	PM2	17	22%
		> 37%	PM3	25	33%
19 - Quebra na coluna de furação	QC	< 30%	QC1	35	46%
		]30% - 38%]	QC2	14	18%
		> 38%	QC3	27	36%

Como refere Garcia Pereira (1987), este sistema de codificação assegura que, seja qual for a natureza das variáveis, a soma em linha dos valores que surgem na tabela é constante e igual ao número de variáveis  $Q$ , o que se traduz numa homogeneidade estatística necessária para o processamento subsequente.

No caso dos dados em estudo, a tabela construída e codificada em disjuntiva completa para o primeiro ensaio (ver anexo 23) apresenta-se como uma matriz de 71 colunas (número de modalidades) cuja soma em linha é sempre igual a 19 (número de variáveis) e cuja soma em coluna dá a frequência absoluta de cada modalidade das diferentes variáveis. Para cada variável, a soma das frequências absolutas das suas modalidades é sempre igual ao número de indivíduos amostrados  $n$ , e, portanto, o total em linha e em coluna reproduz  $n*Q$ . Esta propriedade é importante, visto que, deste modo, a tabela de dados pode ser tomada como justaposição de tabelas de contingência.

As diferentes matrizes de informação utilizadas nos diferentes ensaios foram sujeitas a tratamento pelo *software* ANDAD<sup>4</sup>.

Para uma melhor compreensão da aplicação da AFCB, apresenta-se em seguida uma breve explicação acerca do algoritmo da AFC.

Admitamos, a título de exemplo e limitado ao número de 2 variáveis para uma mais fácil compreensão, um registo de acidentes/incidentes que considerasse as variáveis género e categoria profissional do envolvido num determinado acidente/incidente. A observação da tabela 14, válida, por exemplo a seguinte leitura:

- O registo do primeiro acidente/incidente (a1), ocorreu com um indivíduo do sexo masculino e médico;

- O registo do décimo acidente/incidente (a10), ocorreu com um indivíduo do sexo feminino e enfermeiro.

---

ANDAD<sup>4</sup> - Software utilizado neste trabalho e desenvolvido por Jorge Sousa e colaboradores, CVRM/ST, Versão 7.1 de 2000.

**Tabela 14**– Tabela de contingência identificando, em valor absoluto, as ocorrências das variáveis ilustradas.

		Cat. Profissional			
		Enf.	Méd.	Aux.	Téc.
Gênero	Mas.	2	1	2	2
	Fem.	3	2	1	0

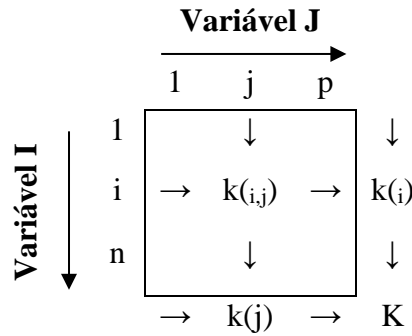
Uma outra forma de apresentar a informação da tabela anterior, recorre às designadas tabelas de contingência, onde é possível identificar (de forma já não individualizada) as frequências absolutas de coocorrências nas duas variáveis ilustradas.

A observação da tabela 14 legitima também a seguinte interpretação:

- O valor de “2” na célula do canto superior esquerdo da tabela 14, indica a ocorrência de dois acidentes/incidentes envolvendo enfermeiros do sexo masculino, isto é, a modalidade dos enfermeiros da variável “categoria profissional” verifica em conjunto com a modalidade masculino da variável “gênero”, ocorrerem em duas situações de acidentes/incidente;

- O valor de “0” na célula do canto inferior direito da tabela 14, indica a ocorrência de zero acidentes/incidentes envolvendo técnicos do sexo feminino, isto é, a modalidade dos técnicos da variável “categoria profissional” não verifica em conjunto com a modalidade feminino da variável “gênero”, a ocorrência de qualquer situação de acidentes/incidente;

Se genericamente representarmos uma qualquer tabela de contingência por “K”, a frequência absoluta da ocorrência conjunta da modalidade i da variável “I” com a modalidade j da variável “J”, pode ser representada por  $k_{(i,j)}$



Sendo:

$$K = \sum_i^n \sum_j^n k(i, j) \quad \text{o número total de ocorrências na matriz } K \quad \text{[Equação 4]}$$

e

$$f_{ij} = \frac{k(i, j)}{K} \quad \text{frequência de cada elemento da matriz } K \quad \text{[Equação 5]}$$

Segundo Garcia-Pereira (Pereira, 1990) o algoritmo da Análise das Correspondência pode ser descrito, em termos formais, através de:

1 - Dada uma matriz inicial de dimensão  $n \times p$  ( $n$  linhas)  $\times$  ( $p$  colunas) seleção do espaço de menor dimensão da matriz de termo geral  $k(i, j)$ ;

2 - Cálculo dos perfis das linhas e colunas da matriz;

$$\frac{f_{ij}}{f_i} = \frac{k(i, j)}{k(i)} \quad \text{onde} \quad k(i) = \sum_j k(i, j) \quad \text{e} \quad f_i = \frac{k(i)}{K} \quad \text{[Equação 6]}$$

$$\frac{f_{ij}}{f_j} = \frac{k(i, j)}{k(j)} \quad \text{onde} \quad k(j) = \sum_i k(i, j) \quad \text{e} \quad f_j = \frac{k(j)}{K} \quad \text{[Equação 7]}$$

3 - Cálculo da matriz de inércia T, cujo termo geral é  $t_{(j, j')}$ , diferentes modalidades  $j$  e  $j'$ ;

$$t_{jj} = \sum_i^n \frac{f_{ij} f_{ij'}}{f_i \sqrt{f_j f_{j'}}} \quad \text{[Equação 8]}$$

4 - Diagonalização da matriz T, com a consequente obtenção da matriz dos valores próprios  $\lambda_\alpha$  e matriz de vetores próprios  $U_\alpha$ ;



5 - Escolha da dimensão do espaço cuja inércia acumulada explique uma percentagem significativa da inércia da informação de partida (escolha dos eixos fatoriais a reter);

6 - Projeção das colunas (modalidades) da matriz no plano fatorial definido pelos eixos de inércia retidos;

$$f_{j\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_\alpha}} \sum_i \left( \frac{f_{ij}}{f_j} \right) f_{i\alpha} \quad \text{[Equação 9]}$$

7 - Determinação da projeção de eventuais elementos em suplementar;

8 - Cálculo das contribuições absolutas e relativas;

9 - Interpretação dos planos fatoriais considerando as diferentes possibilidades na combinatoria dos diferentes eixos retidos, levando em linha de conta a percentagens de explicação de cada eixo, a projeção das modalidades, as suas contribuições absolutas e relativas (figura 88);

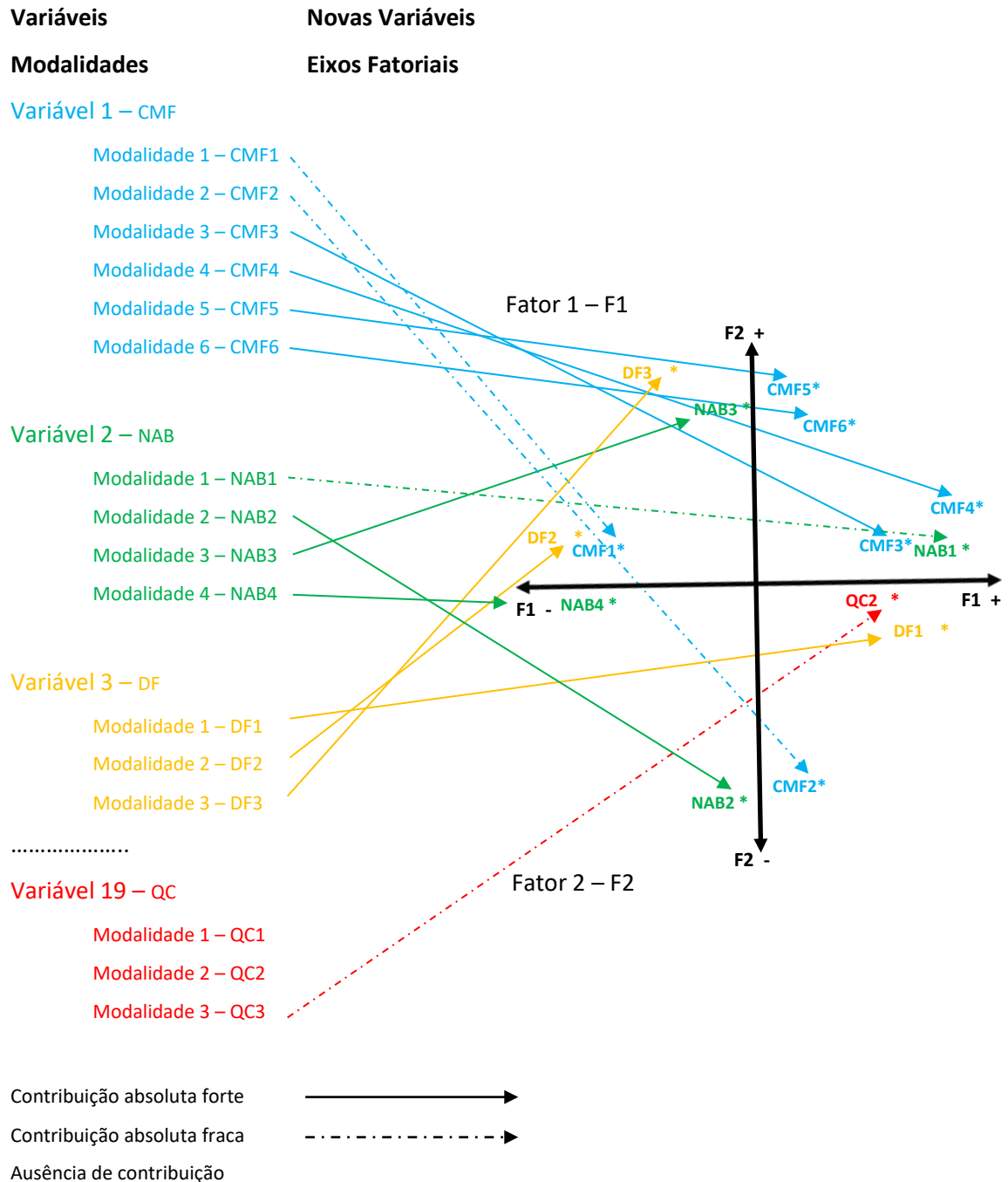
O algoritmo sobre a AFC apresentado procura representar, de forma muito sintética, os passos que conduzem aos resultados que serão objeto de interpretação no capítulo seguinte.

Para um melhor e mais completo entendimento da AFC (ou mesmo da AFCB) permitimo-nos referenciar os trabalhos de Cibois (Cibois, 1983), Escofier (Escofier e Pagés, 1988), Greenacre (Greenacre, 1993, 1984), López-Valcárcel (López-Valcárcel, 1991), Phillips (Phillips, 1995) ou de Lorenzi-Cioldi (Lorenzi-Cioldi, 1983).

Por forma a tentar estudar a estrutura relacional entre as variáveis das bases de dados e porque estas estavam expressas em diferentes métricas, optou-se por utilizar uma técnica no âmbito da estatística multivariada, designadamente a Análise Fatorial das Correspondências Binárias (AFCB), destinada a compatibilizar no mesmo tratamento variáveis quantitativas, variáveis qualitativas, variáveis medidas em escalas nominais, ordinais, intervalares, entre outras.

O objetivo deste estudo passa por efetuar uma análise exploratória de dados, procurando-se, na multidimensionalidade dos dados de partida, captar as associações entre as diferentes variáveis (em bom rigor, entre as modalidades e categorias que se subdividem as variáveis).

Na figura 87 encontra-se uma representação gráfica que resume toda esta explicação, onde se identificam as diferentes contribuições de cada modalidade ao longo de um plano fatorial, permitindo analisar a sua distribuição morfológica e associações entre as diferentes variáveis.



*nova variável F1 = função linear (das modalidades<sub>i</sub> e das respectivas contribuições absolutas no eixo F1)*  
*nova variável F2 = função linear (das modalidades<sub>i</sub> e das respectivas contribuições absolutas no eixo F2)*  
 ⋮  
*nova variável Fi = função linear (das modalidades<sub>i</sub> e das respectivas contribuições absolutas no eixo Fi)*

**Figura 87** – Esquema ilustrativo da construção dos eixos fatoriais, da projeção das Variáveis/Modalidades nos respectivos eixos e de acordo com a contribuição absoluta da modalidade na construção do eixo fatorial.

## **2.3. Ensaios, tendências e resultados obtidos**

Após esta breve explicação da metodologia que iremos utilizar na análise dos dados recolhidos nos diferentes ensaios efetuados ao aço de furação, entramos agora na representação dos resultados obtidos, tendo-se optado pela separação dos ensaios e seus resultados em duas partes distintas.

### **2.3.1. Ensaio 1**

Para a realização do primeiro ensaio aos dados anteriormente codificados, consideraram-se 76 linhas (cenários) x 19 variáveis (71 colunas – modalidades em que se subdividem as diferentes variáveis).

A consideração dos valores próprios e taxa de inércia transposta (% Exp – percentagem de explicação associada a cada eixo fatorial) quer a individual, quer a acumulada, são aspetos importantes nas fases posteriores da interpretação dos outputs da AFCB. A validade/abrangência dos resultados obtidos e a análise das projeções das modalidades e/ou indivíduos nos eixos fatoriais está condicionada ao número de eixos retidos. O número de eixos a investigar pode obedecer a vários critérios mais ou menos objetivos, por exemplo o critério empírico de Kaiser que estabelece que os eixos retidos devem ser aqueles cujos valores próprios são superiores à unidade (Kaiser, 1958, 1960), ou mesmo o critério de Pearson, onde o número de eixos a analisar deverá ser aquele, tal que a percentagem de inércia explicada deverá ser igual ou superior a 80%. Neste trabalho e face ao elevado número de modalidades, fato que dilui o valor dos valores próprios em cada eixo, optou-se por analisar os seis primeiros eixos fatoriais (tabela 15), por neles ser possível explicar as mais importantes inter-relações entre as modalidades.

**Tabela 15** – Valores próprios e taxa de inércia transportada (simples e acumulada) em cada eixo fatorial. Resultado obtido no Ensaio 1.

Eixos Fatoriais	Valor Próprios	% Exp	% Acum
1	0.54	19.89	19.89
2	0.30	10.94	30.83
3	0.26	9.54	40.36
4	0.17	6.33	46.69
5	0.15	5.53	52.22
6	0.13	4.84	57.06

A consideração dos seis primeiros eixos fatoriais permitiu, no seu conjunto, uma interpretação superior a 50% da variabilidade fenomenológica contida na matriz original dos dados.

O critério para reter as modalidades que importava considerar e interpretar nas projeções dessas modalidades nos planos fatoriais, obedeceu ao usual contributo (contribuições absolutas) das modalidades para a construção nos eixos fatoriais.

Estabeleceram-se como contribuições significativas aquelas que apresentavam um valor absoluto superior à razão  $100/n^\circ$  de modalidades (nestes primeiro ensaio teríamos  $100/71 = 1,41$ ), pelo que, todas as modalidades com contribuições absolutas superiores a 1,41 foram consideradas (conforme presente na tabela 16). Algumas das contribuições absolutas inferiores ao valor estabelecido (tabela 17), foram igualmente analisadas por constituírem as contribuições mais elevadas da modalidade e/ou por serem indispensáveis à interpretação fenomenológica do eixo fatorial.

**Tabela 16** – Registo das contribuições absolutas (> 1,41) de cada modalidade nos eixos fatoriais retidos. Resultado obtido no Ensaio 1.

Eixos Fatoriais → Modalidades ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
CMF1	3.21		3.04			
CMF2		1.91	5.71		1.83	
CMF3	1.50					2.09
CMF4	1.94			6.85		2.04
CMF5		8.78				
CMF6		2.72				3.81
NAB1	2.48			7.70		3.27
NAB2		2.36		8.97		
NAB3		1.53				
NAB4				1.41		2.76
DF1	5.16		1.48			
DF2	3.12					
DF3		12.65				
SF1	3.12					
SF2	5.06					
MF1	2.37					
MF2		1.46	6.82			
MF3	2.64		4.96		2.14	
RB1	2.80		1.47	6.86	1.92	2.24
RB2	1.68			1.82	1.44	3.41
RB3				3.25		
RB4				3.36		3.73
RB5	1.82				1.49	
RB6			1.76		5.27	4.90
RV1	2.70			5.50		3.44
RV2		1.46		1.72		
RV3						1.92
RV4				1.84	3.62	
RV5		2.53	5.19			1.87
RV6	3.23		1.88			
RU1					2.46	11.37
RU2	2.98					
RU3	4.51	1.41				
RS1	2.31	3.67			2.30	
RS2					7.97	
RS3				1.83		
RS4	1.55					
RS5	1.11					
CB1			8.86	2.78		
CB2				7.52	9.15	
CB3	2.44		2.85			
CB4		5.83				
FL1	4.62					
FL2				2.34	7.52	2.52
FL3				4.78	3.77	12.73
FL4		1.48	3.87		6.20	
FL5	2.13			1.79		
FL6		7.59				
SV1	2.09				2.70	
SV2	3.12			1.51		
SV3	3.12					
SV4		12.65				
TR1	2.76		3.66			2.32
TR2	1.44		1.91			
ABR1					2.07	
ABR2			1.89		2.81	
ABR3		4.14	4.42	1.72		
CR1			5.43	4.70	2.63	2.90
CR2			0.82			
PDB1			3.27	2.08		1.95
PDB2				2.36		
PDB3			4.45			2.94
PBB1	1.89					
PBB2					1.90	
PBB3	2.48		1.85			
PM1	2.20					
PM2					7.05	6.00
PM3	1.73	3.12			3.28	
QC1			2.36			
QC2	0.77					
QC3			4.02			2.47

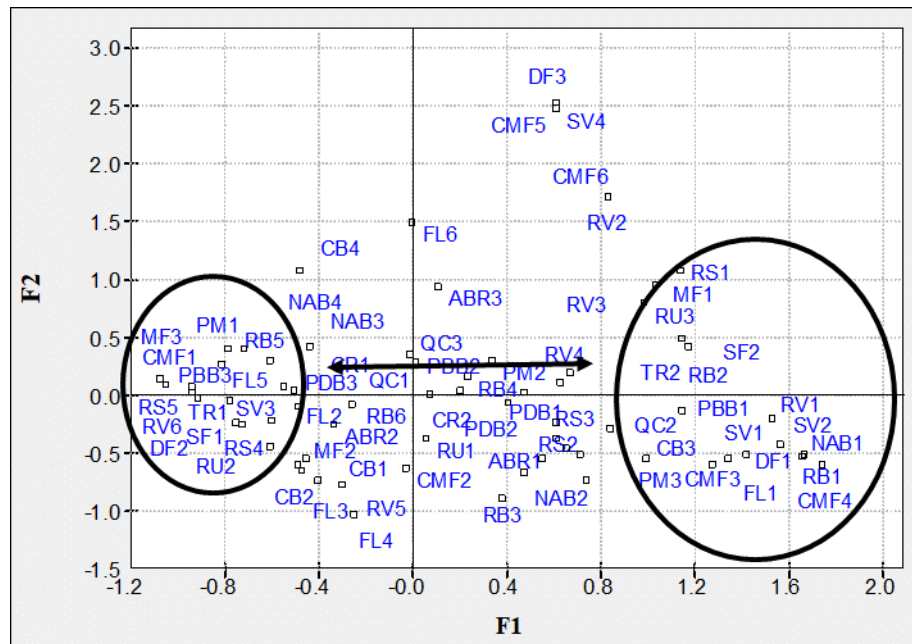
**Tabela 17** – Coordenadas das modalidades nos eixos fatoriais.

Resultado obtido no Ensaio 1.

Eixos Fatoriais → Modalidades ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
CMF1	-0.93	0.02	0.63			
CMF2	-0.03	-0.64	-1.04		0.45	
CMF3	0.99	-0.56				0.58
CMF4	1.75	-0.60		1.85		-0.88
CMF5	0.61	2.51				
CMF6	0.84	1.71				-1.35
NAB1	1.67			1.66		-0.95
NAB2	0.48	-0.67		-0.99		
NAB3	-0.43	0.42				
NAB4	-0.78			0.66		0.81
DF1	1.42	-0.52	0.53			
DF2	-0.72	-0.25				
DF3	0.61	2.47				
SF1	-0.72	-0.25				
SF2	1.17	0.41				
MF1	0.67	0.19				
MF2	-0.49	-0.61	-1.23			
MF3	-1.07	0.15	1.02		0.51	
RB1	1.66	-0.54	0.83	1.46	-0.73	-0.73
RB2	1.15	-0.14		-0.67	0.56	0.81
RB3	0.38			-1.16		
RB4	0.24			-1.45		-1.33
RB5	-0.61	0.29			0.29	
RB6	-0.49		-0.86		-1.13	1.02
RV1	1.54	-0.21		1.24		-0.86
RV2	1.04	0.95		-0.78		
RV3	0.98					0.64
RV4	0.63			-1.07	1.41	
RV5	-0.30	-0.78	-1.04			-0.45
RV6	-0.94	0.06	0.49			
RU1	0.06				-0.88	-1.76
RU2	-0.75	-0.24				
RU3	1.15	0.48	0.11			
RS1	1.14	1.06			-0.60	
RS2	0.61				1.08	
RS3	0.71			0.96		
RS4	-0.60	-0.22				
RS5	-1.04	0.08				
CB1	-0.45		-1.40	0.64		
CB2	-0.47			-1.37	-1.41	
CB3	0.84	-0.29	0.63			
CB4	-0.48	1.07				
FL1	1.35	-0.55				
FL2	-0.61			-1.08	-1.81	0.98
FL3	-0.40			-2.44	-2.03	-3.48
FL4	-0.25	-1.03	-1.56		1.50	
FL5	-0.77	-0.05		0.40		
FL6	0.00	1.48				
SV1	1.28	-0.61			0.77	
SV2	1.57	-0.43	0.73	0.61		
SV3	-0.72	-0.25				
SV4	0.61	2.47				
TR1	-0.91	-0.04	0.73			-0.41
TR2	0.47	0.02	-0.38			
ABR1	0.56				-0.50	
ABR2	-0.33		0.44		0.41	
ABR3	0.11	0.92	-0.89	0.45		
CR1	-0.51		-1.43	1.08	-0.76	0.74
CR2	0.08		0.22			
PDB1	0.41		-0.60	0.39		-0.33
PDB2	0.20			-0.70		
PDB3	-0.55		0.75			0.43
PBB1	0.62	-0.25				
PBB2	0.02				0.77	
PBB3	-0.81	0.26	0.48			
PM1	-0.71	0.40				
PM2	0.34				-0.95	0.82
PM3	0.74	-0.73	-0.21		0.54	
QC1	-0.26		0.50			
QC2	0.66	-0.46				
QC3	-0.01		-0.75			-0.42

Como resultado da aplicação da AFCB, foram obtidos os *outputs* gráficos, ver figuras seguintes n.º 88 a 99 que, de acordo com uma praxis interpretativa há muito consagrada neste domínio, permitem as ilações que se seguem.

### 2.3.1.1. Projeção plano fatorial (F1, F2) – F1



**Figura 88** – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Interpretação das modalidades ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.

**Eixo fatorial F1 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva as modalidades **CMF3** e **CMF4** (moderados custos por metro de furação, valores entre 0,576 e 1,359 €/m), com a modalidade **NAB1** (ausência de afiações por *bit*), a modalidade **DF1** (pequenos diâmetros de furação, Ø=38 mm), **SF2** (furações verticais ascendentes), **MF1** (modalidade que assinala o menor número de metros furados, < 28.000 m), **RB1** e **RB2** (os mais baixos rendimentos entre o número de metros furado por unidade de *bit* < 188 m), **RV1** (modalidade que representa o mais baixo rendimento de metros furados por vara), **RU3** (modalidade que representa a ausência de qualquer união), **RS1** (classe que identifica o mais baixo rendimento de metros furados por encabadouro), **CB3** (modalidade que, na variável configuração do aço de perfuração, representa uma



configuração do *bit* – face convexa, botões R), **FL1** (geometria 1+1 dos furos de limpeza na face do *bit*), **SV1** e **SV2** (modalidades que representam os valores mais baixos, respetivamente 28 e 32 mm, da secção das varas), **TR2** (tipo de rocha muito dura > 220 Mpa), **PBB1** (modalidade que enquadrada, numa das causas de rejeição, a variável perda de botões do *bit* no seu valor mais baixo < 9,5%), **PM3** (modalidade que representa a perda de material, no circuito ou no terreno, no seu valor mais elevado > 37%) e em parte a modalidade **QC2** que indica como causa de rejeição a quebra da coluna de furação entre 30 a 38% dos casos estudados.

Estas associações identificadas estão em consonância com a realidade vivenciada durante a realização dos ensaios, nomeadamente na constatação dos custos por metro furado intermédios (entre 0,576 e 1,359 €/m) estarem afetos aos trabalhos de perfuração de sustimento (**SF2** - furação vertical ascendente) para a aplicação de parafusos do tipo *Swellex* ou *Rockbolts*. Este enquadramento, acaba por justificar a justaposição das restantes variáveis a ele associadas positivamente, destacando-se no nosso entender, a relação direta com o diâmetro de furação (**DF1** – 38 mm) que nos ensaios efetuados está única e exclusivamente associado a estes trabalhos de furação.

Para além disso, a secção das varas utilizadas nestes trabalhos traduz a sua ligação a este eixo fatorial, uma vez que **SV1** e **SV2** estão também eles ligados unicamente a este tipo de trabalho de furação. Os baixos rendimentos evidenciados (**RB1**, **RB2**, **RV1**, **RV3**, **RS1**), ajudam a confirmar o patamar intermédio do custo por metro, sendo, no entanto, importante sublinhar que o tamanho da amostragem nos ensaios realizados nos trabalhos de sustimento (< 28.000 m furados nos ensaios) leva a que estas observações devam ser consideradas com a devida cautela, uma vez que a experiência dos intervenientes nesta realidade no diz que determinadas características capazes de influenciar diretamente o rendimento obtido com as ferramentas de perfuração, podem ser esbatidos com o aumentar de metros perfurados ou por outras palavras, os “erros” são atenuados com a utilização de uma média calculada com base numa amostragem mais abrangente.

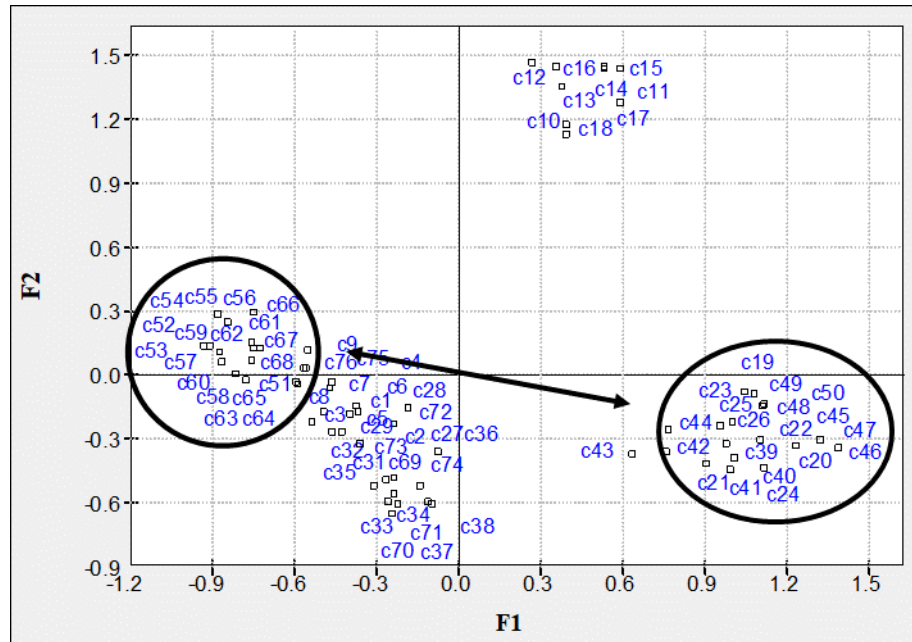
**Eixo fatorial F1 (semieixo negativo)** – A observação das projeções ao longo do primeiro eixo fatorial, em particular as localizadas na área à esquerda da figura 88, permite assinalar, em associação negativa a modalidade **CMF1** (os mais baixos custos por metro de furação, valores abaixo de 0,315 €/m), com a modalidade **DF2** (diâmetros de furação intermédios,  $43 \text{ mm} < \emptyset < 51 \text{ mm}$ ), **SF1** (furações horizontais), **MF3** (modalidade que assinala o maior número de metros furados,  $> 76.000 \text{ m}$ ), **RB5** (elevados rendimentos entre o número de metros furado por unidade de *bit*, valores entre 287 e 541 m), **RV6** (modalidade que representa o rendimento mais elevado do número de metros furados por vara), **RU2** (modalidade que representa um rendimento do número de metros furados superior a 3.000 m), **FL5** (geometria 3+2 dos furos de limpeza na face do *bit*), **SV3** (modalidade que representa os casos em que foram utilizadas varas com 35 mm de secção), **TR1** (tipo de rocha dura), **PBB3** (modalidade que enquadra, numa das causas de rejeição, a variável perda de botões do *bit* no seu valor mais elevado  $> 15,5\%$ ), **PM1** (modalidade que representa a perda de material, no circuito ou no terreno, no seu valor mais baixo  $< 22\%$ ), **RS4** e em parte **RS5** (modalidades que identificam os mais altos rendimentos de metros furados por encabadouro).

De igual modo, as associações encontradas neste semieixo estão em conformidade com as evidências constatadas nos diferentes projetos mineiros onde os ensaios foram realizados, nomeadamente na associação do custo por metro furado mais baixo (**CMF1**) com o tipo de trabalho de perfuração que permite, quer pela sua natureza, mas também pela forma como se encontra otimizado nos diferentes projetos estudados, obter os melhores rendimentos dos elementos da coluna de furação (leia-se que nesta realidade o “melhor” rendimento de um elemento da coluna de furação é sempre o maior número de metros por ele perfurado). Evidência desta constatação passa pelos trabalhos de perfuração de avanço (ou *drift*), onde o diâmetro de furação associado (**DF2**) e o sentido de furação (**SF1**) são suas “ligações” exclusivas. A anotação retirada na análise do semieixo anterior sobre a diluição de eventuais “erros” na maior amostragem do ensaio, fica de certa forma coincidente com este semieixo agora em análise, a presença da variável **MF3** associada ao **CMF1** disso faz prova, no entanto não é a única que permite esta ligação aos trabalhos de furação de avanço, a secção de varas é também ela usada em exclusivo neste trabalho (**SV3**). De salientar a presença da variável **PBB3**, um indicador

muito importante do rendimento que se consegue obter na utilização dos *bits* de botões, pois apesar de numa primeira análise se poder erradamente concluir que a perda de botões é um aspeto por si só negativo, quando associado ao **RB5** (rendimento máximo dos *bits*) faz com que se confirme a evidência de que quanto mais metros se fura com um *bit*, mais se desgastam os seus botões, e como tal, conseguir utilizar este elemento da coluna de furação ao ponto de este perder os seus botões, confirma a otimização de todo este processo, dito de outra forma, conseguir utilizar um *bit* de forma a desgastar os seus botões, obtendo assim o seu máximo rendimento.

Outro aspeto muito importante no relacionamento de todas estas variáveis, mais ligado claro está ao baixo custo de furação (**CMF1**) é o facto das perdas de material (perdas dos elementos da coluna de furação durante a sua utilização, reduzindo assim a possibilidade de fazer o trabalho de perfuração na totalidade) serem as mais baixas, o que evidencia também, por si só, a importância do controlo e da otimização de todo o processo de furação e da logística nele envolvido.

Os dois agrupamentos de modalidades atrás referidos (modalidades associadas a F1, quer no semieixo positivo e quer as do semieixo negativo) encontram-se em oposição, estando por isso fortemente correlacionadas negativamente. Esta última constatação permite concluir que a eventual ocorrência de indivíduos (leia-se cenários) com elevados valores em determina(s) modalidade(s), encontram-se projetados no plano fatorial de acordo não só os seus valores elevados nas modalidades, mas também pelos seu(s) baixo(s) valor(es) na(s) modalidade(s) que se opõem às primeiras.



**Figura 89** – Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).  
Interpretação dos indivíduos ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.

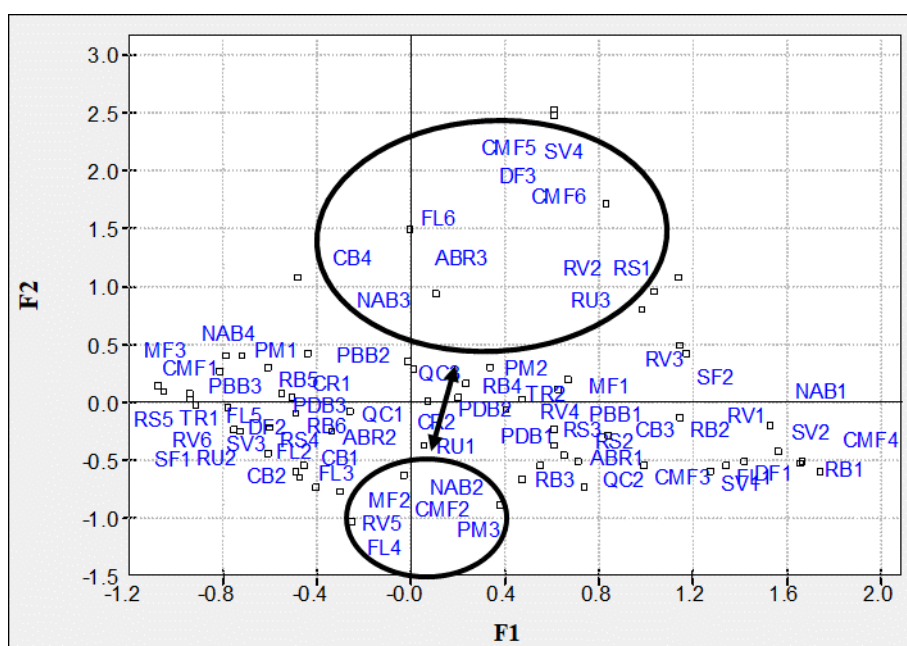
A observação da projeção dos cenários ao longo do eixo F1 (vide figura 89, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24 e considerando ainda as regras de interpretação estabelecida para as topo morfologias da “nuvem” das projeções dos indivíduos (Pereira *et al.*, 1988), é possível inferir que o primeiro eixo faz a clara individualização entre um grupo geral de indivíduos, projetados no semieixo positivo F1, constituído pelos subgrupos de indivíduos **C19**, ... a ... **C26**, de **C39**, ... a ... **C42** e de **C44**, ... a ... **C50**, que se opõe a um outro grupo geral de outros indivíduos, projetados no semieixo negativo F1 e constituído pelos subgrupos formados pelos indivíduos **C51**, ... a ... **C68**.

Estas associações encontradas permitem perceber, na sua quase totalidade, uma característica muito interessante, nomeadamente a confirmação por esta via da oposição entre os trabalhos de perfuração de sustimento e os trabalhos de perfuração de avanço.

Desde logo, ainda que óbvia, parece ser uma constatação relacionada com o diâmetro de furação, secções de aço utilizadas e, claro está, com o grau de aperfeiçoamento que estas tarefas têm em cada um dos projetos ensaiados (como anteriormente explicado, a otimização dos trabalhos de perfuração de avanço está, em

todos os projetos onde se realizaram os ensaios, muito “oleada”). Permite também, desde já, perceber a relação existente entre o custo por metro furado e o diâmetro de furação (ou seja, diretamente opostos), o que importa analisar e confirmar em futuras comparações com a relação que poderá existir entre as anteriores evidências enunciadas na análise das modalidades projetadas neste semieixo.

### 2.3.1.2. Projeção plano fatorial (F1, F2) – F2



**Figura 90** – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2).  
Interpretação das modalidades ao longo do segundo eixo fatorial, F2.

**Eixo fatorial F2 (semieixo positivo)** – Projetam-se destacadamente, em associação positiva, as modalidades **CMF5** e **CMF6** (elevados custos por metro de furação, valores entre 1,359 e > 1,701 €/m), com a modalidade **DF3** (diâmetro de furação  $\varnothing=57$  mm), **RV2** (modalidade que representa um baixo rendimento de metros furados por vara) e **SV4** (modalidade que representam a secção das varas redondas com 35 mm).

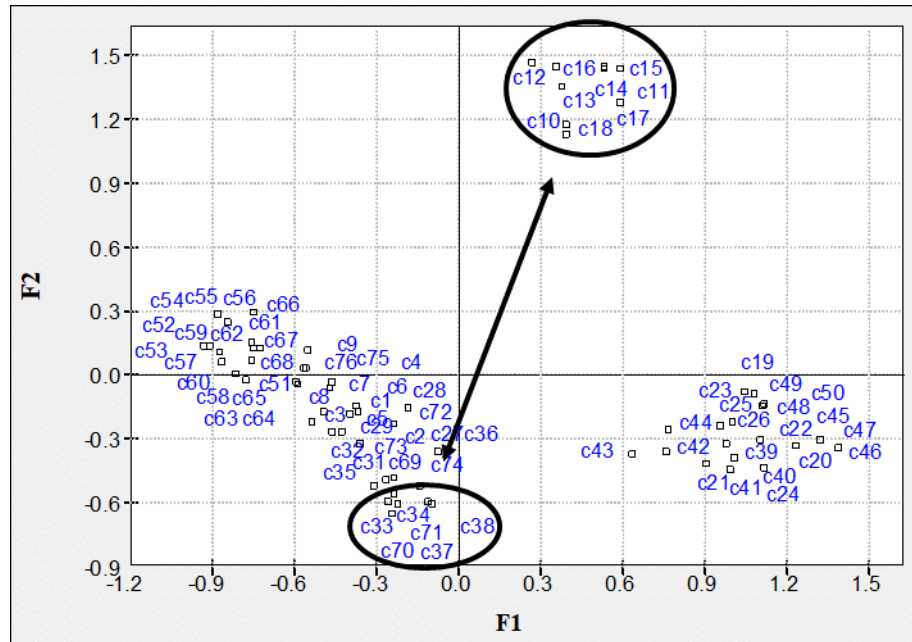
Aqui se evidencia a relação direta entre todas estas modalidades e a perfuração longa para aplicação de cabos, sustentada na utilização única e exclusiva do diâmetro de furação de 57 mm (**DF3**) e de varas com secção redonda com 35 mm (**SV4**) nos ensaios

efetuados. Para além disto, constata-se com clareza o elevado custo por metro furado (**CMF5**) e o baixo rendimento das varas (**RV2**) como duas modalidades associadas positivamente a este semieixo, o que deverá ser analisado conjuntamente com outras evidências a observar em sobreposições futuras (haverá uma relação direta entre o baixo rendimento das varas com o trabalho de perfuração para cabos e, por conseguinte, um elevado custo por metro furado?).

**Eixo fatorial F2 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 90, a modalidade **CMF2** (baixos custos por metro de furação, valores entre 0,315 e 0,576 €/m) com a **NAB2** (número de afiações por *bit* entre 0 e 2), **MF2** (metros furados durante o ensaio entre 28.000 e 76.000m), **RV5** (modalidade que representa um rendimento elevado do número de metros furados por vara), **FL4** (geometria 3+1 dos furos de limpeza na face do *bit*), **PM3** (modalidade que representa a perda de material, no circuito ou no terreno, no seu valor mais alto > 37%),

Associações não tão evidentes como as anteriores, excetuando a presença da modalidade **FL4** como caracterizadora da realidade de furação associada aos trabalhos de *drift* neste semieixo fatorial. Sublinha-se a associação existente de um baixo custo por metro furado (**CMF2**) com um alto rendimento das varas (**RV5**), no entanto a presença da modalidade **PM3** (perda de material) não acarreta uma orientação coincidente com as anteriormente descritas.

Seguindo o mesmo raciocínio, os dois agrupamentos de modalidades atrás referidos (modalidades associadas a F2, quer no semieixo positivo e quer as do semieixo negativo) encontram-se também em oposição, estando por isso fortemente correlacionadas negativamente, permitindo de igual modo, fazer a sua associação aos indivíduos (leia-se cenários) com elevados valores nestas modalidades.



**Figura 91** – Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).  
 Interpretação dos indivíduos ao longo do segundo eixo fatorial, F2.

A observação da projeção dos cenários ao longo do eixo F2 (vide figura 91, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24 permite concluir que, por exemplo, os cenários **C10**, ... a ... **C18** (associados aos **CMF5**, **CMF6**) estão relacionados à furação extensível para cabos, sendo os cenários **C33**, **C34**, **C37**, **C38**, **C70** e **C71** (associados ao **CMF2**), relacionados com a furação de avanço (*drift-cut*).

### 2.3.1.3. Projeção plano fatorial (F1, F3) – F3

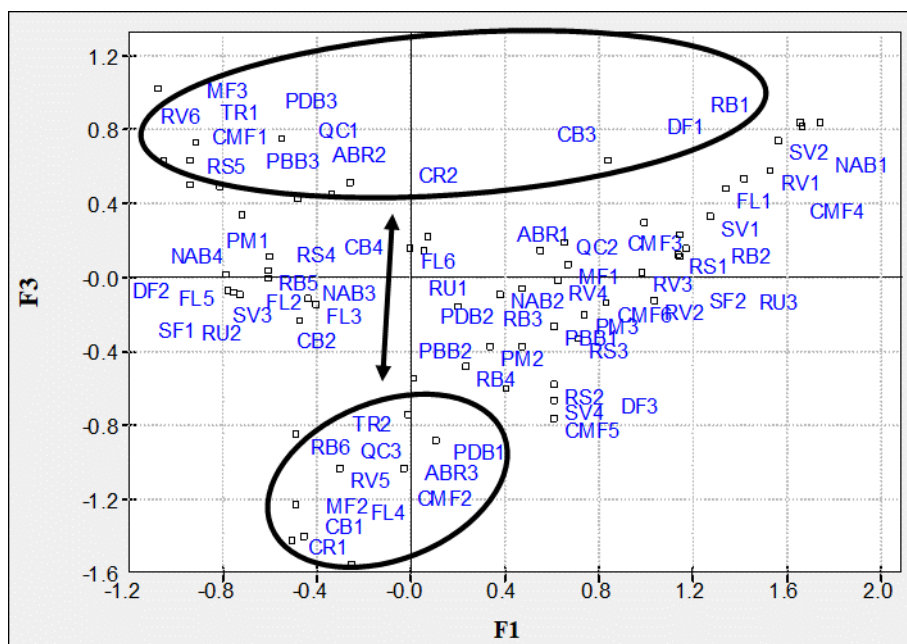


Figura 92 – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F3).

Interpretação das modalidades ao longo do terceiro eixo fatorial.

**Eixo fatorial F3 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade **CMF1** (custo por metro mais baixo, < 0,315 €/m) com as modalidades **DF1** (diâmetro de furação mais baixo, 38 mm), **MF3** (maior numero de metros furados por ensaio, > 76.000 m), **RB1** (menor rendimento do *bit*, < 133m), **RV6** (maior rendimento da vara, > 2.027 m), **CB3** (configuração do *bit* com face convexa e botões redondos), **TR1** (tipo de rocha muito dura), **ABR2** (abrasividade intermédia), **PDB3** (rejeição do *bit* por perda de diâmetro), **PBB3** (perda de botões no *bit*), **QC1** (baixo índice de quebras na coluna de furação) e de certa forma, a modalidade **CR2** (rocha fraturada a partida).

As observações constatadas nesta projeção das modalidades sobre o semieixo fatorial F3 não são de todo óbvias, nem tão pouco, face ao conhecimento do autor, de clara conjugação, se por um lado voltamos a ver espelhada a relação direta entre um baixo custo por metro furado (**CMF1**) com um alto rendimento das varas de perfuração (**RV6**), com a perda de diâmetro do *bit* (**PDB3**) e com a perda de botões no *bit* (**PBB3**), por outro

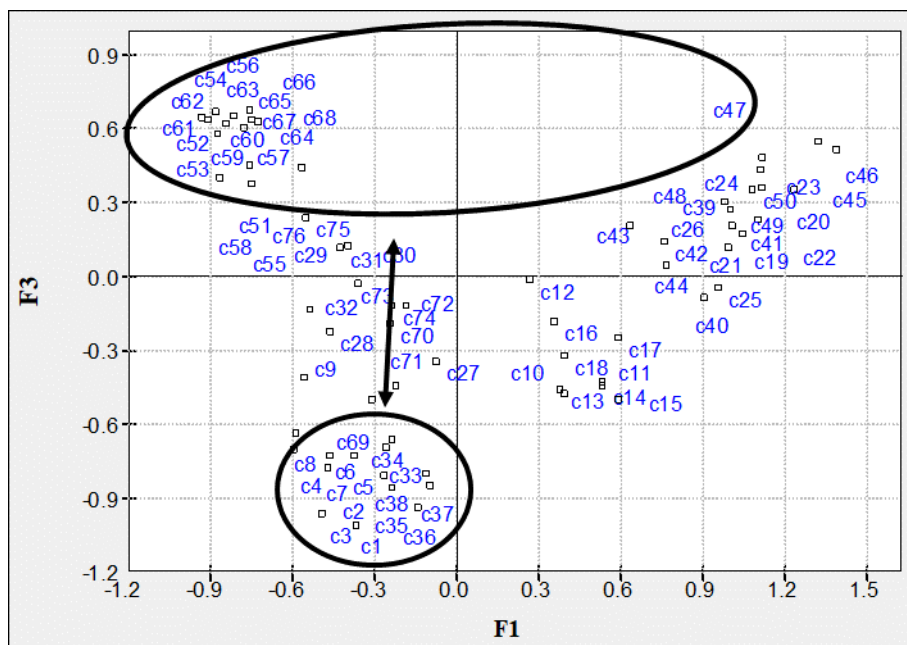


temos evidências contraditórias às constatações anteriormente identificadas, nomeadamente a associação de um baixo custo por metro furado (**CMF1**) com um diâmetro de furação característico dos trabalhos de sustimento (**DF1**) e com um baixo rendimento dos *bit* (**RB1**).

**Eixo fatorial F3 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 93, a modalidade **CMF2** (baixos custos por metro de furação, valores entre 0,315 e 0,576 €/m) com as modalidades **MF2** (metros furados durante o ensaio entre 28.000 e 76.000m), **RB6** (rendimento do *bit* mais alto, > 541 m), **RV5** (modalidade que representa um rendimento elevado do número de metros furados por vara), **CB1** (*bit* com face plana e botões redondos), **TR2** (rocha muito dura), **ABR3** (alta abrasividade), **CR1** (rocha sólida), **PDB1** (perda de diâmetro do *bit* inferior a 18% como motivo rejeição deste elemento da coluna de furação), **QC3** (elevado numero de quebras na coluna de furação) e **FL4** (geometria 3+1 dos furos de limpeza na face do *bit*).

Tais evidências comprovam um relacionamento muito interessante entre um custo por metro furado baixo (**CMF2**) e um alto rendimento das varas (**RV5**), sendo também visível a ligação entre alto rendimento do *bit* (**RB6**) e as características geológicas da rocha a perfurar, nomeadamente a sua alta abrasividade (**ABR3**) e a sua dureza (**TR2**) e consolidação (**CR1**). No entanto, urge salientar a presença de duas modalidades que estão, com base na experiência do autor ao longo dos últimos anos nesta temática, afastadas destas correlações, nomeadamente e pelo que já foi descrito anteriormente, a **PDB1** e a **QC3**. Ambas, pela sua natureza, não confirmam as elações anteriormente formuladas, nomeadamente a razão de alto rendimento do *bit* estar associado à perda de diâmetro do mesmo ser a principal causa de rejeição no circuito das ferramentas de perfuração, assim como o elevado número de quebras nos elementos da coluna de furação também não permite otimizar este processo, e como tal, justificar os baixos custos por metro furado presenciados nesta projeção (**CMF2**).

Mantendo o mesmo raciocínio, anteriormente exposto, mas agora relativamente à projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F3, obtemos o gráfico representado na figura 93.

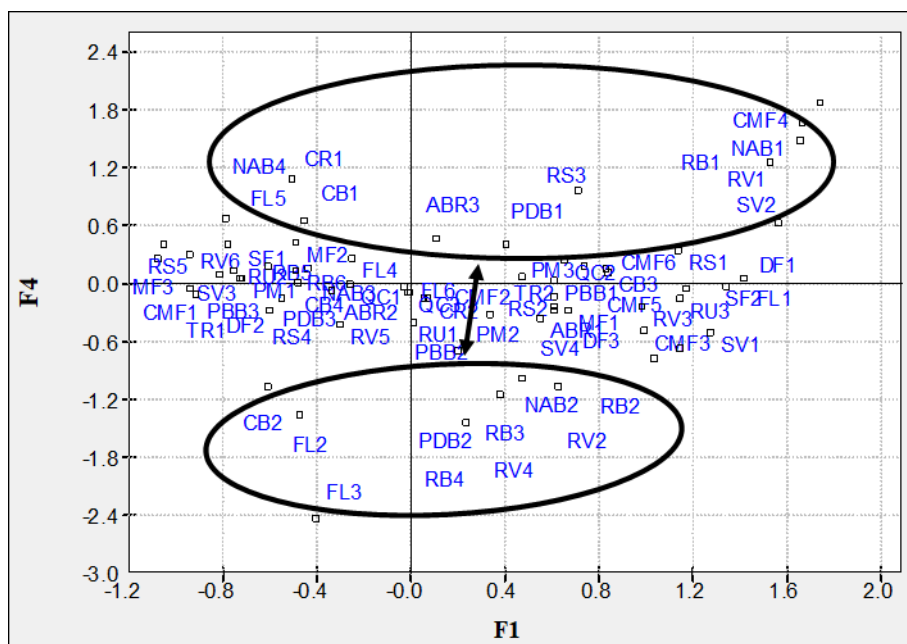


**Figura 93** – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F3).

Interpretação dos indivíduos ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.

Com a observação da projeção dos cenários ao longo do eixo F3 (vide figura 93, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24) é possível inferir que os cenários **C52**, ... a ... **C54**, **C56**, **C57**, **C59**, ... a ... **C68** (associados ao **CMF1**) estão relacionados à furação de avanço numa realidade muito específica de um dos projetos alvos de estudo, nomeadamente perfuração horizontal com *bits* de 43 mm, sendo os cenários **C1** a **C8**, **C33**, ... a ... **C38** e **C69** (associados ao **CMF2**), relacionados com a furação de avanço nos restantes diâmetros de *bit* a ela associados (48 e 51 mm). Apesar da sua representação em semieixos opostos, ou seja, indivíduos com comportamentos opostos segundo esta projeção, urge sublinhar que ambos têm uma natureza do trabalho de perfuração muito semelhante (furação horizontal), no entanto e talvez por geologicamente estarem em zonas muito diferentes, os seus resultados refletem-se nestas constatações enumeradas.

### 2.3.1.4. Projeção plano fatorial (F1, F4) – F4



**Figura 94** – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F4).

Interpretação das modalidades ao longo do quarto eixo fatorial.

**Eixo fatorial F4 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade **CMF4** (custo por metro furado intermédio, entre 1,020 e 1,359 €/m) com as modalidades **NAB1** (*bits* que não são afiados), **NAB4** (*bits* afiados mais de 6 vezes), **RB1** (menor rendimento do *bit*, < 133m), **RV1** (menor rendimento da vara, < 310m), **RS3** (rendimento intermédio do encabadouro, entre 1.559 e 2.110m), **CB1** (*bits* com face plana e botões redondos), **FL5** (geometria 3+2 dos furos de limpeza na face do *bit*), **SV2** (secção de varas hexagonal com 32 mm), **ABR3** (alta abrasividade), **CR1** (rocha sólida) e **PDB1** (reduzida causa de rejeição por perda de diâmetro do *bit*).

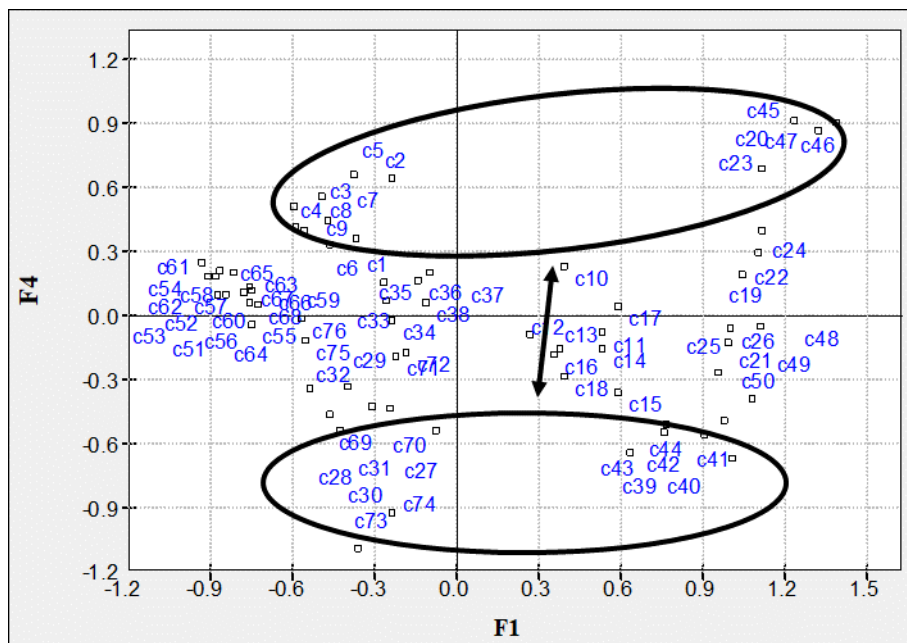
Nesta projeção não são claras as associações entre as diferentes modalidades, se não vejamos, por um lado a presença de um custo por metro perfurado intermédio (**CMF4**) levaria a associar este semieixo e as suas modalidades projetadas aos trabalhos de perfuração para a aplicação de elementos de sustimento, por outro lado a presença de configurações da face do *bit* características dos trabalhos de furação de avanço (**CB1** e

**FL5**) assim como a presença da modalidade **SV2**, não nos permite evidenciar uma relação entre todas estas modalidades. Importa por isso perceber o relacionamento que poderá existir no semieixo negativo, de forma a permitir identificar algum tipo de ligação.

**Eixo fatorial F4 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 94, a modalidade **NAB2** (número de afiações por *bit*, entre 0 e 2) com as modalidades **RB2**, **RB3** e **RB4** (rendimentos do *bit* intermédios, entre 133 e 287 m), **RV2** e **RV4** (rendimentos baixos de vara, entre 310 e 430 m, e rendimentos intermédios de vara, entre 664 e 899 m), **CB2** (*bit* com face plana e botões semi-balísticos), **FL2** e **FL3** (*bits* com geometria 1+2 e 2+2 dos furos de limpeza na sua face ) e **PDB2** (causa de rejeição do *bit* por perda de diâmetro de furação intermédia).

Não sendo, de igual modo ao semieixo positivo desta projeção, perceptível encontrar associações entre as diferentes modalidades, há, no entanto, um aspeto passível de ser identificado, a presença de um baixo número de afiações por *bit* (**NAB2**) relacionado com um rendimento intermédio do mesmo (**RB2**, **RB3** e **RB4**) e uma causa de rejeição do *bit* intermédia, no que ao seu diâmetro diz respeito (**PDB2**). Interessa por isso, confirmar futuramente noutras projeções, se esta tendência é passível de ser repetida e ou asseverada.

Mantendo o anterior raciocínio, mas agora relativamente à projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F4, obtemos o gráfico representado na figura 95.



**Figura 95** – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F4).

Interpretação dos indivíduos ao longo do quarto eixo fatorial, F4.

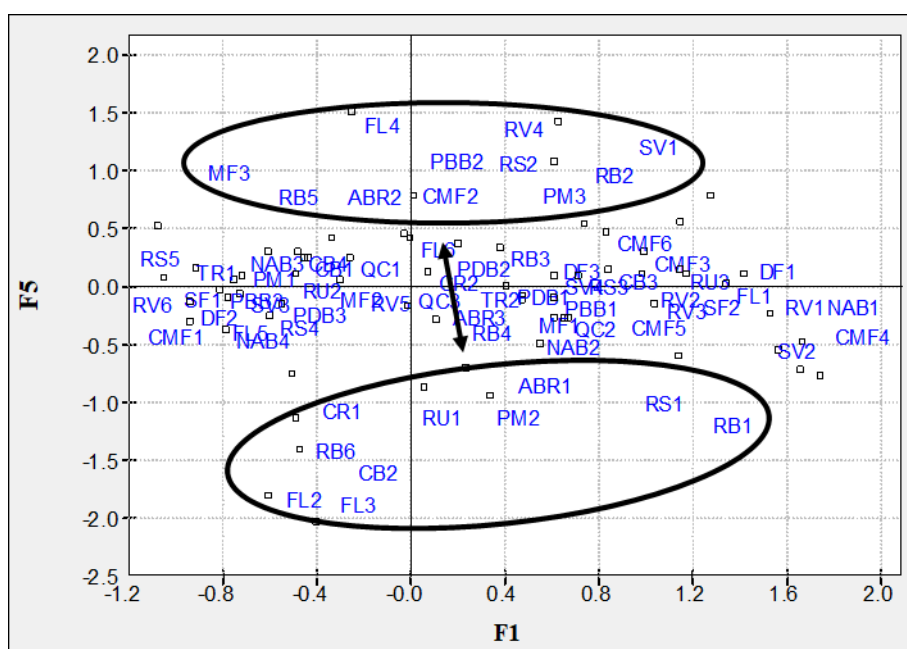
Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F4 (vide figura 95, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24, é possível inferir que os cenários **C2**, ... a ... **C4**, **C7**, ... a ... **C9** estão associados aos trabalhos de perfuração de avanço utilizando diâmetro de furação entre 48 e 51mm, no entanto os cenários **C20**, **C23**, **C45**, ... a ... **C47**, ainda que associados a estes indivíduos nesta projeção de uma forma positiva, estão interligados aos trabalhos de perfuração para sustimento, o que assinala uma evidente dicotomia nesta análise.

Por outro lado, os cenários **C27**, **C28**, **C30**, **C31**, **C69**, **C70**, **C73** e **C74** (associados a **NAB2**) estão todos eles relacionados nos trabalhos de perfuração de avanço com diâmetro de furação entre 48 e 51mm, no entanto e associados a estes cenários de uma forma positiva, encontram-se também os cenários **C39**, ... a ... **C44**, que por estarem

ligados aos trabalhos de perfuração para sustimento, acabam por renovar a contradição anteriormente evidenciada no semieixo positivo desta projeção.

Importa por isso continuar a aprofundar as projeções das modalidades e dos seus indivíduos, de forma a perceber se as evidências já identificadas se conseguem confirmar segundo outros “pontos de vista”.

### 2.3.1.5. Projeção plano fatorial (F1, F5) – F5



**Figura 96** – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F5).

Interpretação das modalidades ao longo do quinto eixo fatorial.

**Eixo fatorial F5 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade **MF3** (maior numero de metros furados por ensaio, > 76.000 m), **RB2** (baixo rendimento do *bit*, entre 133 e 188 m), **RB5** (alto rendimento do *bit*, entre 287 e 541 m), **RV4** (rendimento intermédio da vara, entre 664 e 899 m), **RS2** (baixo rendimento do encabadouro, entre 1.049 e 1.559 m), **SV1** (varas com secção H28), **ABR2** (abrasividade intermédia), a modalidade **CMF2** (custo por metro furado baixo, entre 0,315 e 0,576 €/m), **PBB2** (perda de botões no *bit* como causa de rejeição, intermédia), **PM3** (elevada perda de material) e **FL4** (*bits* com geometria 3+1 dos furos de limpeza na sua face).

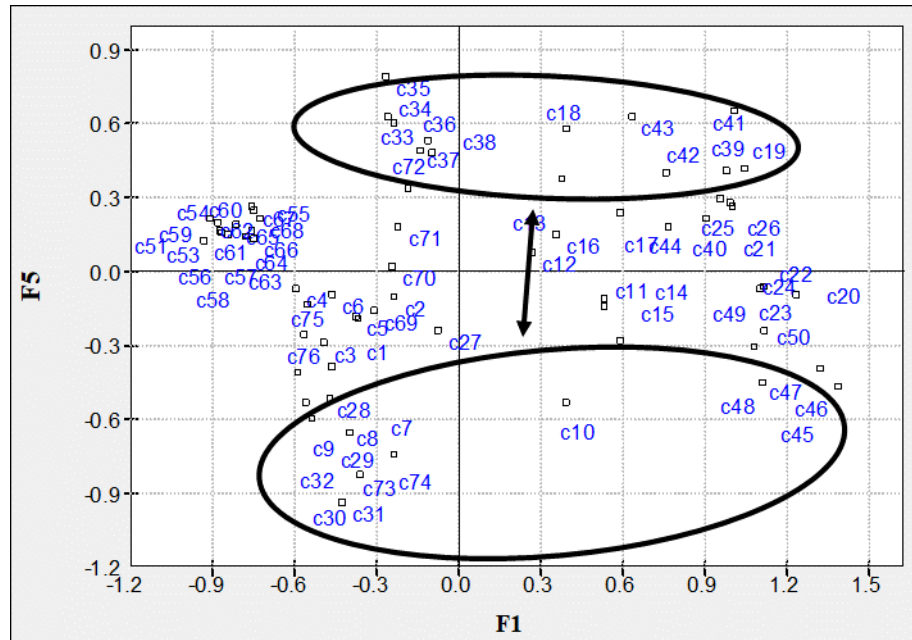
Na análise deste semieixo destacam-se, mais uma vez e com base na experiência vivenciada pelo autor ao longo destes ensaios ao aço de furação, algumas contradições nas modalidades associadas positivamente, nomeadamente a associação que parece existir entre um elevado número de metros furados por ensaio (**MF3**) com um alto rendimento do *bit* e da vara (**RB5** e **RV4** respetivamente) mas, e ao mesmo tempo, a associação (em princípio de natureza contrária) de se associar um elevado numero de perdas de material no circuito do aço de furação com o baixo rendimento do encabadouro e do *bit* (**RS2** e **RB2** respetivamente).

Daqui, e por estar presente uma modalidade característica dos trabalhos de furação para sustimento (**SV1**), podemos constatar que segundo esta projeção, a variação nas modalidades associadas a este tipo de trabalhos de furação pode ser muito grande.

**Eixo fatorial F5 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 96, associada às modalidades **RB1** e **RB6** (rendimento do *bit* baixo e muito alto (!), respetivamente), **RU1** (rendimento da união baixo), **RS1** (rendimento do encabadouro baixo), **CB2** (*bit* com face plana e botões semi-balísticos), **FL2** e **FL3** (*bits* com geometria 1+2 e 2+2 nos furos de limpeza na sua face, respetivamente), **ABR1** (baixa abrasividade), **CR1** (rocha sólida) e **PM2** (perdas de material intermédias).

As evidências nesta projeção são ainda menos claras que as anteriores, apesar de estarem associados altos rendimentos dos *bits* (**RB6**) e uma configuração utilizada nos trabalhos de perfuração de avanço (**CB2**) com o baixo custo por metro furado, aparecem também associadas modalidades que não confirmam esta relação, nomeadamente o baixo rendimento dos *bits* (**RB1**) que parece ser a contradição mais visível nesta projeção.

Efetuada agora a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F5, com o mesmo raciocínio já utilizado anteriormente, obtemos agora o seguinte gráfico (figura 97):

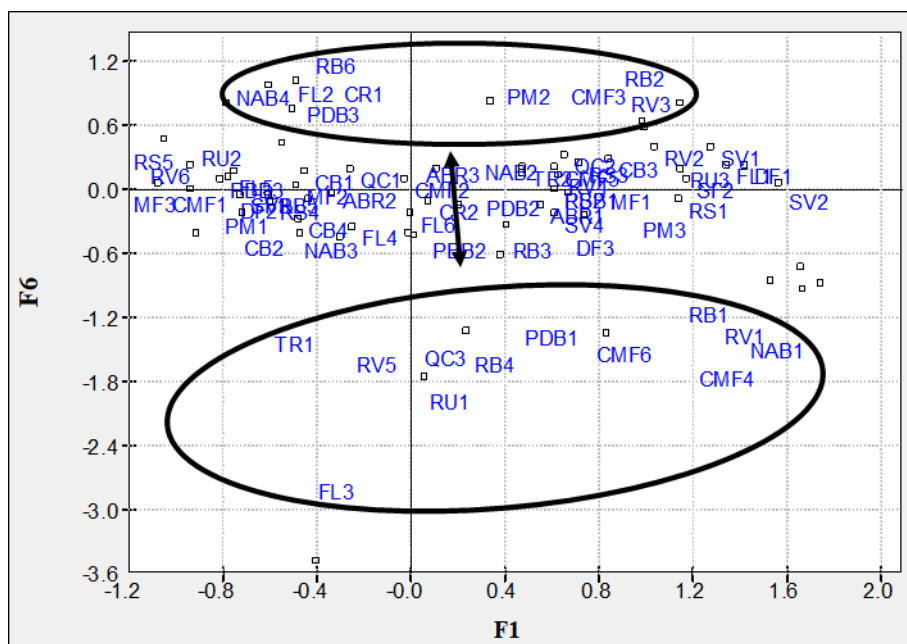


**Figura 97** – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F5).  
Interpretação dos indivíduos ao longo do quinto eixo fatorial, F5.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F5 (vide figura 97, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24, é possível inferir que os cenários **C18, C19, C33, ... a ... C39, C41, ... a ... C43**, e ainda que de forma mais ligeira, o **C72** (todos associados a **CMF2**) não têm na sua integridade uma relação direta, pois estão associados a trabalhos de furação em todos os campos ensaiados, nomeadamente ao sustimento (**C19, C39, C41 a C43**), avanço (**C33 a C38 e C72**) e cabos (**C18**). Não é possível por isso identificar uma tendência nesta projeção.



### 3.1.6. Projeção plano fatorial (F1, F6) – F6



**Figura 98** – Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F6).

Interpretação das modalidades ao longo do sexto eixo fatorial.

**Eixo fatorial F6 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade **CMF3** (custo por metro furado intermédio, entre 0,576 e 1,020 €/m), interligada às modalidades **NAB4** (elevado número de afiações de *bit*, > 6), **RB2** e **RB6** (rendimento do *bit* baixo a muito alto, entre 133 e 188mm ou > 541 m, respetivamente), **RV3** (rendimento de vara intermédio, entre 439 e 664 m), **FL2** (*bits* com geometria 1+2 nos furos de limpeza na sua face), **CR1** (rocha sólida), **PDB3** (elevado número de *bits* com perda de botões como causa de rejeição) e **PM2** (perda de material no circuito intermédia).

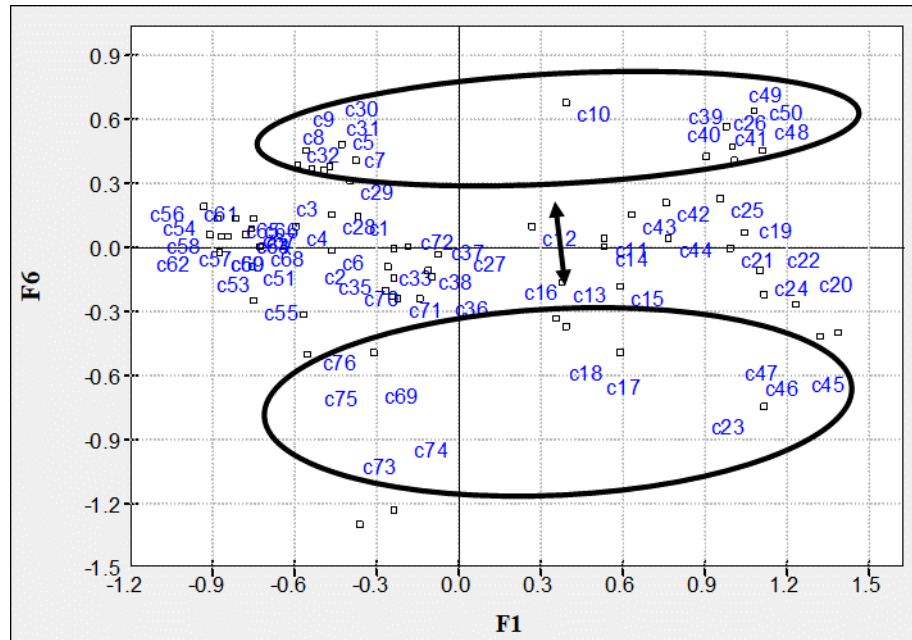
Daqui se analisa a ligação entre um custo por metro furado intermédio a baixo (**CMF3**) com uma configuração de *bit* característica dos trabalhos de perfuração para aplicação do sustimento (**FL2**), assim como um elevado número de afiações por *bit* (**NAB4**) e, como consequência (admitimos) um alto rendimento do *bit* (**RB6**) e um rendimento intermédio da vara (**RV2**). Há, no entanto, que destacar mais uma vez uma

modalidade que não se ajusta às restantes, desta feita o rendimento baixo do *bit* (**RB2**), que pelo explicado, carece de uma análise confrontante com outras projeções para perceber o seu real impacto.

**Eixo fatorial F6 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 98, a modalidade **CMF4** e **CMF6** (custo por metro de furação intermédio e muito alto), com as modalidades **NAB1** (ausência de afiação de *bits*), **RB1** e **RB4** (rendimentos de *bit* baixos ou intermédios), **RV1** e **RV5** (rendimentos de vara baixos e intermédios), **RU1** (rendimento baixo de união), **FL3** (*bits* com geometria 2+2 nos furos de limpeza na sua face), **TR1** (rocha muito dura), **PDB1** (poucos *bits* rejeitados por perda de diâmetro) e **QC3** (elevado numero de quebras na coluna de furação).

Daqui se constata algumas evidências nas associações das modalidades segundo este plano de projeção, nomeadamente um custo por metro furado intermédio a alto (**CMF4** e **CMF6**) associado a não afiação de *bits* (**NAB1**), a um baixo a intermédio rendimentos de *bits* e varas (**RB1**, **RB4**, **RV1** e **RV5**), um baixo rendimento de uniões (**RU1**) e, como constatação mais interessante de comparar com as projeções anteriores, um baixo número de *bits* rejeitados por perda de diâmetro (**PDB1**), o que se relaciona de uma forma consistente com os baixos rendimentos observados e o impacto que a prática de não afiar *bits* acaba por ter nos trabalhos de perfuração.

Efetuada uma vez mais a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F6, com o mesmo raciocínio já utilizado anteriormente, obtemos desta feita o gráfico representado na figura 99.



**Figura 99** – Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F6).

Interpretação dos indivíduos ao longo do sexto eixo fatorial, F6.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F6 (vide figura 99, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 24, é possível inferir que os cenários **C4, C7, ... a ... C10, C26, C30, ... a ... C32, C39, ... a C41, C48, ... a ... C50** (associados à modalidade **CMF3**) representam uma vez mais uma grande diversidade de aplicações, nomeadamente nos trabalhos de perfuração de avanço (**C4, C7 a C9, C30 a C32**), perfuração para cabos (**C10**) e perfuração para sustimento (**C26, C39 a C41 e C48 a C50**), não sendo por isso possível identificar uma relação clara entre estas projeções.

### 2.3.2. Ensaio 2

Para a realização do segundo ensaio aos dados anteriormente codificados, consideraram-se 76 linhas (cenários) x 19 variáveis (56 colunas – modalidades em que se subdividem as diferentes variáveis).

Após a realização do primeiro ensaio e uma vez analisados os primeiros resultados, efetuaram-se (tal como está previsto numa certa prática da análise retroativa em AFC) uma série de recodificações das modalidades originais. Estas novas codificações, que passou pela transformação de algumas variáveis anteriores em novas variáveis subdivididas em novas classes (aqui designadas por modalidades da variável).

Estas novas variáveis que contêm apenas as modalidades que se revelaram mais expressivas no primeiro ensaio, implicam uma diminuição da dimensionalidade da matriz de *input*, diminuição que se consegue essencialmente à custa do aumento dos limites das classes. Faz-se notar que esta recodificação não é casuística, mas pressupõe a intervenção de um especialista no domínio em estudo e atende também aos resultados obtidos por diversas codificações ensaiadas em fases preparatórias e que serviram de teste à aplicação da AFC aos dados em estudo. As variáveis que foram objeto de alteração foram:

- A variável custo por metro de furação com 5 classes (modalidades) no 1º ensaio, passou para 3 classes no 2º ensaio;

- Rendimento do *bit*, metro de furação por unidade, com 6 modalidades no 1º ensaio, passou para 3 modalidades no 2º ensaio;

- Rendimento da vara, metro de furação por unidade, com 7 modalidades no 1º ensaio passou para 3 modalidades no 2º ensaio;

- Rendimento do shank, metro de furação por unidade com 6 modalidades no 1º ensaio passou para 3 modalidades no 2º ensaio;

- Furos de limpeza na face do *bit* (unidade), com 6 modalidades no 1º ensaio passou para 2 modalidades no 2º ensaio.

Os critérios para a retenção dos primeiros seis eixos fatoriais obedeceram à mesma opção metodológica seguida para a análise dos eixos fatoriais do primeiro ensaio.

Considerando agora que no segundo ensaio o número de modalidades é inferior, o efeito de diluição invocado no primeiro ensaio é menor e como consequência a percentagem de explicação associada a cada eixo fatorial é maior. No total, as interpretações conseguidas para os seis eixos fatoriais, explicam quase 70% da variabilidade total contida na matriz de dados, conforme expresso na tabela 18.

**Tabela 18** – Valores próprios e taxa de inércia transportada (simples e acumulada) em cada eixo fatorial. Resultado obtido no Ensaio 2.

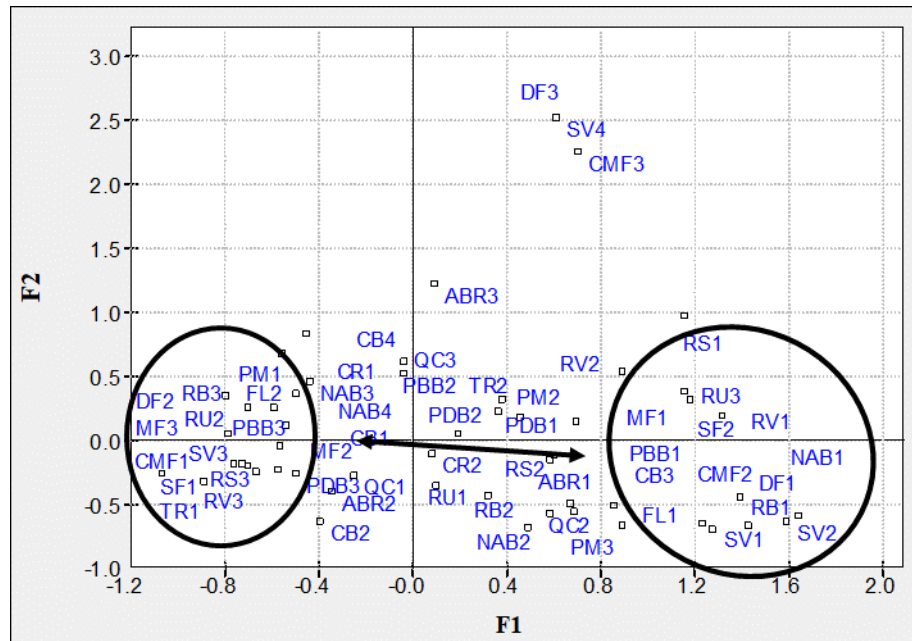
Eixos Fatoriais	Valor Próprios	% Exp	% Acum
1	0.52	26.51	26.51
2	0.27	14.03	40.54
3	0.20	10.40	50.94
4	0.13	6.60	57.53
5	0.12	5.93	63.47
6	0.09	4.71	68.18

O critério para reter as modalidades que importava considerar e interpretar nas projeções dessas modalidades nos planos fatoriais, obedeceu ao usual contributo (contribuições absolutas) das modalidades para a construção nos eixos fatoriais.

Estabeleceram-se como contribuições significativas aquelas que apresentavam um valor absoluto superior à razão  $100/n^\circ$  de modalidades (nestes segundo ensaio teríamos  $100/56 = 1,79$ ), pelo que, todas as modalidades com contribuições absolutas superiores a 1,79 foram consideradas. Algumas das contribuições absolutas inferiores ao valor estabelecido, foram igualmente analisadas por constituírem as contribuições mais elevadas da modalidade e/ou por serem indispensáveis à interpretação fenomenológica do eixo fatorial.

De forma a não tornar este documento demasiado volumoso, optamos por colocar as tabelas, relativas às contribuições absolutas das modalidades e as suas coordenadas, nos anexos 25 e 26.

### 2.3.2.1. Projeção plano fatorial (F1, F2) – F1



**Figura 100** – Ensaio 2. Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Interpretação da projeção das modalidades ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.

**Eixo fatorial F1 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade CMF2, com as restantes modalidades **NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2** e **PBB1**.

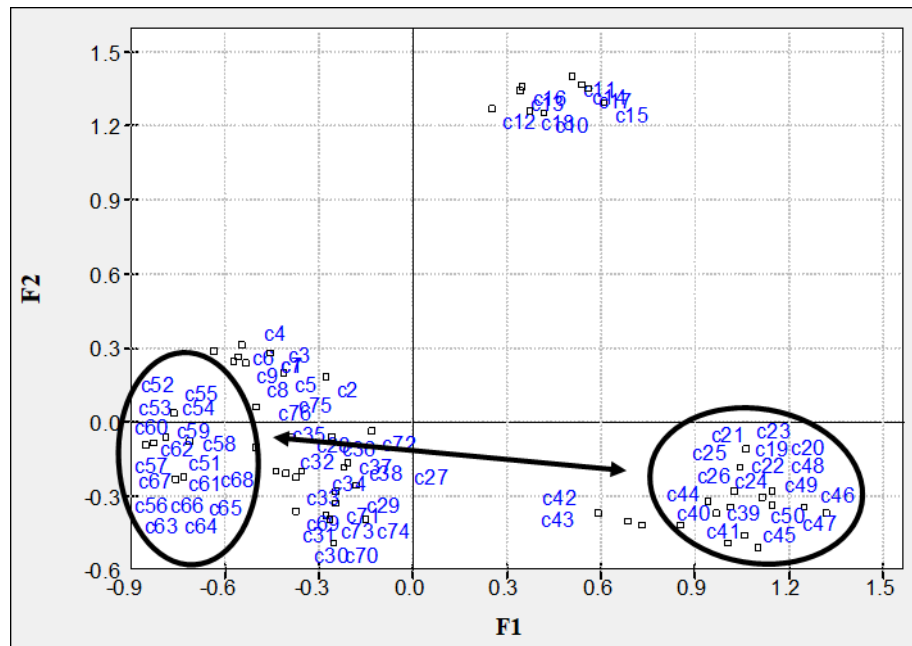
Observa-se, de uma maneira bastante simples, a relação direta que existe entre todas estas modalidades e os trabalhos de perfuração associados à aplicação de sustimento, evidenciado pela presença de modalidades que lhe estão relacionadas única e exclusivamente, nomeadamente a **DF1, RU3, CB3** e **SV1**. Desta forma, será possível correlacionar um custo por metro furado intermédio (**CMF2**) a esta modalidade de furação.

De igual modo, sublinha-se a presença neste semieixo da modalidade **PBB1**, indicadora do baixo número de *bits* rejeitados por falta de botões.

**Eixo fatorial F1 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área à esquerda da figura 100, a modalidade **CMF1**, com as restantes modalidades **DF2, SF1, MF3, RB3, RV3, RU2, RS3, FL2, SV3, TR1, PBB3** e **PM1**.

Destas, torna-se aqui também evidente a constatação da ligação entre todas estas modalidades e os trabalhos de perfuração para avanço (*drift-cut*), sustentados na presença do diâmetro de furação que lhes são característicos (**DF2**), sentido de furação horizontal (**SF1**) e secção de varas unicamente utilizada nestes trabalhos (**H35**). Importa também associar a esta realidade as restantes modalidades aqui presentes nesta projeção, nomeadamente um baixo custo por metro furado (**CMF1**), um alto rendimento dos elementos da coluna de furação, uma grande amostragem de metros furados por cada ensaio e, tal como em anteriores projeções, uma associação muito interessante entre esta realidade e um elevado número de *bits* rejeitados por perda de botões (**PBB3**), o que associado a um bom controle do material utilizado durante os ensaios (**PM1**) leva a concluir desde já a sua interdependência óbvia.

Os dois agrupamentos de modalidades atrás referidos (modalidades associadas a F1, quer no semieixo positivo e quer as do semieixo negativo) encontram-se em oposição, estando por isso fortemente correlacionadas negativamente. Esta última constatação permite concluir que a eventual ocorrência de indivíduos (leia-se cenários) com elevados valores em determinada(s) modalidade(s), encontram-se projetados no plano fatorial de acordo não só os seus valores elevados nas modalidades, mas também pelo(s) seu(s) baixo(s) valor(es) na(s) modalidade(s) que se opõem às primeiras.

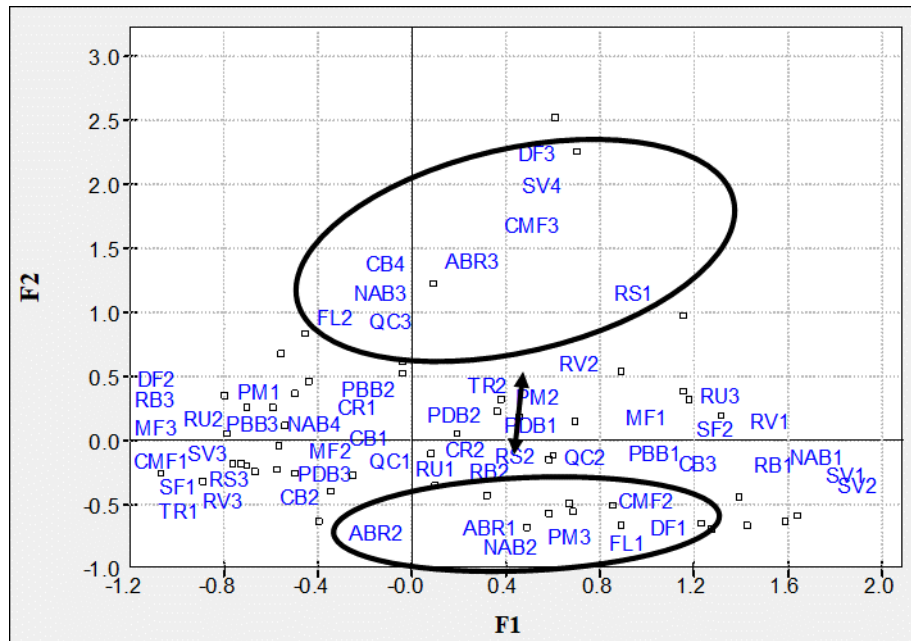


**Figura 101** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).  
 Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F1 (vide figura 101, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários **c19**, ... a ... **c26**, **c39**, ... a ... **c41**, **c44**, ... a ... **c50** (associados a **CMF2**) são relativos aos trabalhos de perfuração para sustimento, o que justifica na sua plenitude a presença das modalidades anteriormente descritas. Por outro lado, e em contraponto a este semieixo negativo, encontram-se os cenários **c51**, ... a ... **c68** (todos eles relacionados com **CMF1**), confirmando aqui uma característica já identificada da associação destes indivíduos aos trabalhos de furação de avanço.



### 2.3.2.2. Projeção plano fatorial (F1, F2) – F2



**Figura 102** – Ensaio 2. Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2).

Interpretação da projeção das modalidades ao longo do segundo eixo fatorial, F2.

**Eixo fatorial F2 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, a modalidade **CMF3**, com as restantes modalidades **NAB3**, **DF3**, **RS1**, **CB4**, **FL2**, **SV4**, **ABR3**, **QC3**.

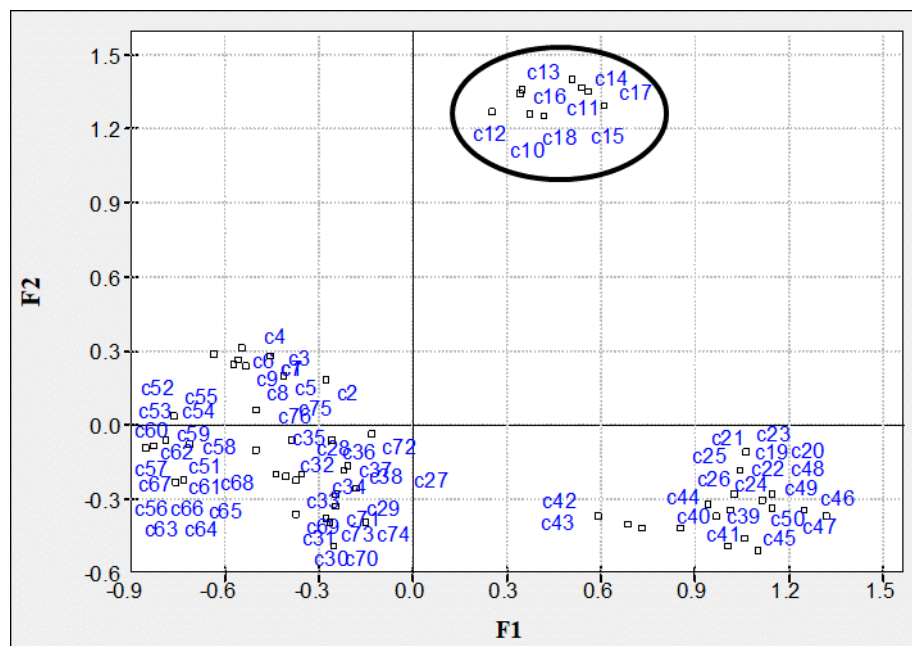
Estas associações identificadas estão em consonância com a realidade vivenciada durante a realização dos ensaios, nomeadamente um custo elevado do metro furado (**CMF3**) estar relacionado com o maior diâmetro de furação (**DF3**) e a secção de varas utilizada na furação extensível para cabos (**SV4**), para além disso importante sublinhar a presença de um elevado número de quebras dos elementos da coluna de furação (**QC3**), que ajuda a perceber o custo por metro furado elevado.

**Eixo fatorial F2 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 102, a modalidade **CMF2** com as restantes modalidades **NAB2**, **DF1**, **FL1**, **ABR1**, **ABR2** e **PM3**.

Estas associações, permitem identificar um relacionamento direto entre o custo intermédio de furação (**CMF2**) e um baixo número de afiações por *bit* (**NAB2**), o que

juntamente com o diâmetro de furação mais pequeno (**DF1**), permite associar estas modalidades aos trabalhos de perfuração para sustimento. De realçar a presença de um elevado número de perdas no circuito de utilização do aço de furação (talvez associado à natureza do trabalho específico?).

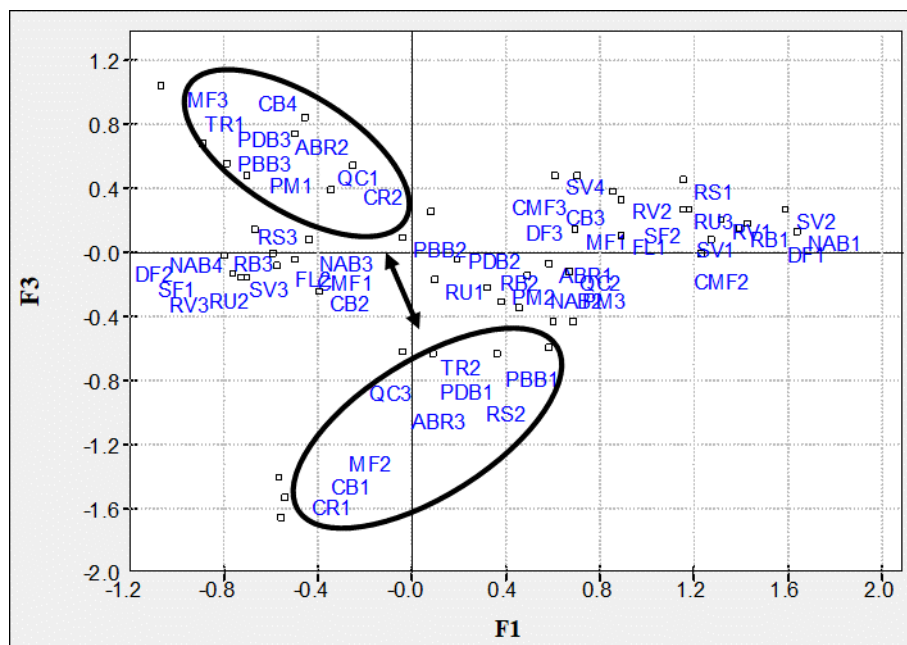
Efetuada agora a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F2, com o mesmo raciocínio já utilizado anteriormente, obtemos agora o gráfico representado na figura 103.



**Figura 103** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no primeiro plano fatorial (F1, F2).  
Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do segundo eixo fatorial, F2.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F2 (vide figura 103, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários **c10**, ... a ... **c18** apenas se projetam no eixo positivo deste semieixo, e sabendo que estão todos eles relacionados com a modalidade **CMF3**, torna-se óbvio a ligação dos custos mais altos por metro furado com os trabalhos de furação para aplicação de cabos.

### 2.3.2.3. Projeção plano fatorial (F1, F3) – F3



**Figura 104** – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F3).

Interpretação da projeção das modalidades ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.

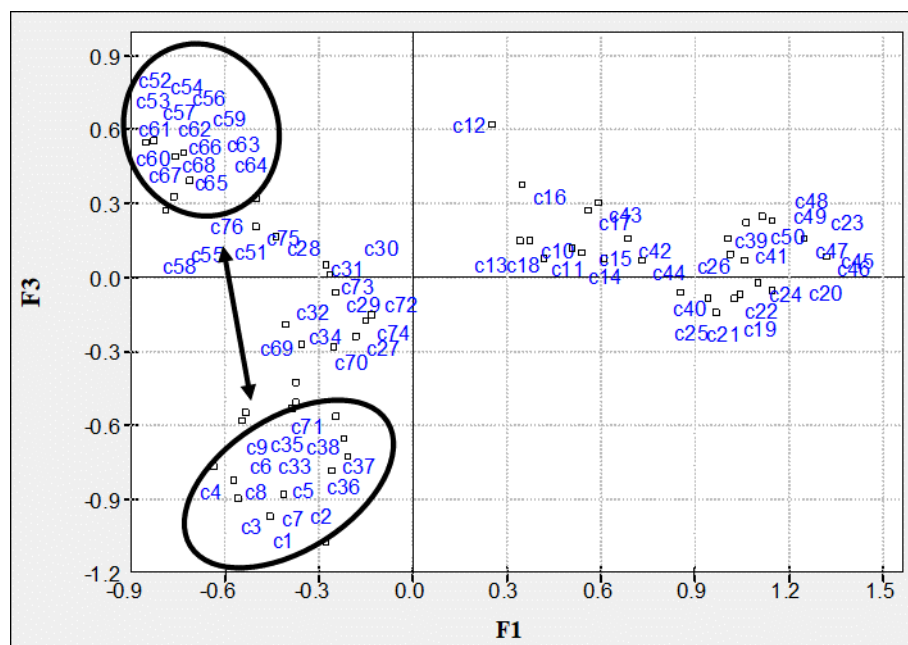
**Eixo fatorial F3 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, as modalidades **MF3, CB4, TR1, ABR2, CR2, PDB3, PBB3, PM1 e QC1**.

Nestas associações não se vislumbram relações óbvias, sendo inclusive a primeira vez que se verificam algumas associações de variáveis nunca antes associadas nas projeções efetuadas, nomeadamente a associação no mesmo referencial entre o número de metros perfurados elevado e a quebra de elementos da coluna **QC1**. Desta forma, não se conseguem efetuar constatações que nos pareçam claras.

**Eixo fatorial F3 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 105, as modalidades **MF2, RS2, CB1, TR2, ABR3, CR1, PDB1, PBB1 e QC3**.

Tal como anteriormente analisado, também no semieixo negativo desta projeção não se conseguem identificar associações lógicas, segundo a experiência do autor nas modalidades presentes. Não é por isso possível indicar mais uma vez associações nesta projeção.

Efetuada desta vez a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F3, com o mesmo raciocínio já utilizado anteriormente, obtemos o seguinte gráfico (figura 105):



**Figura 105** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F3).

Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do terceiro eixo fatorial, F3.

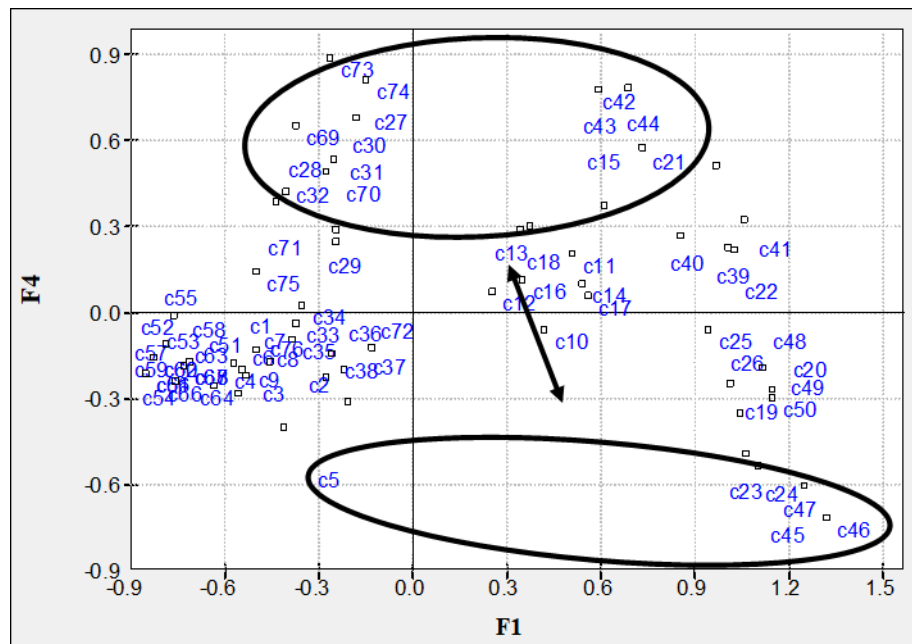
Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F3 (vide figura 105, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários **c52**, ... a ... **c54**, **c56**, **c57**, **c59**, ... a ... **c68** estão relacionados com um projeto específico onde os ensaios foram realizados, nomeadamente com a perfuração de avanço utilizando um diâmetro de furação de 43 mm. Tal evidência, ainda que contraditória com as observações já efetuadas relativamente às modalidades projetadas neste semieixo, permite identificar a atividade, claramente, associada a estes indivíduos.

Por outro lado, e numa associação negativa, os cenários **c1**, ... a ... **c9**, **c33**, **c35**, ... a ... **c38** e **c71**, estão todos eles ligados aos trabalhos de perfuração de avanço utilizando diâmetros de furação entre os 48 e os 51 mm, o que tal como anteriormente explicado, não nos permite associar uma modalidade (ou várias) a esta realidade específica.



rendimento do encabadouro (**RS1**) e uma quebra de elementos da coluna de furação (**QC2**) poder ser tido em conta como um suplemento a esta constatação.

Efetuada desta agora a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F4, com o mesmo raciocínio já anteriormente utilizado, obtemos o gráfico representado na figura 107.



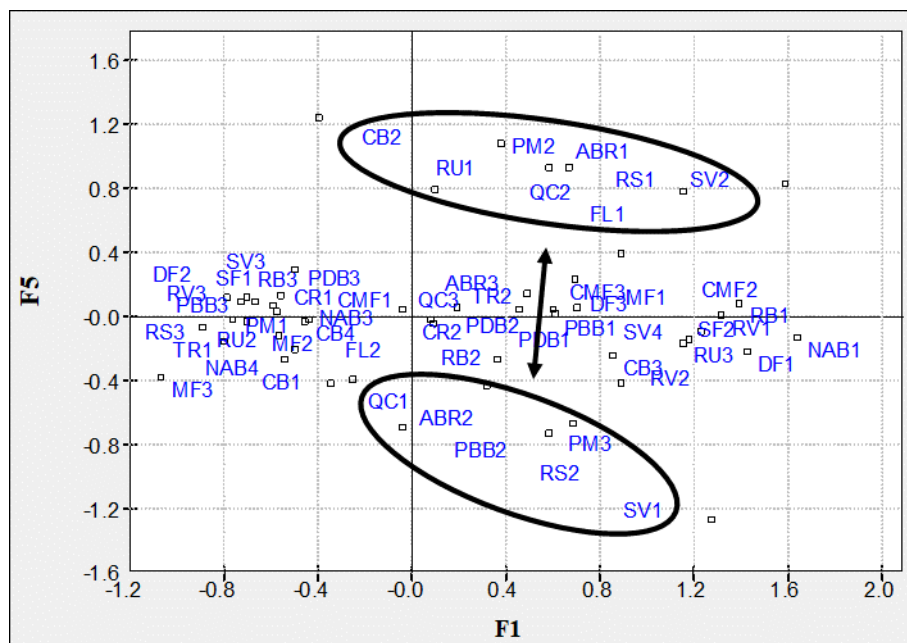
**Figura 107** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F4).

Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do quarto eixo fatorial, F4.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F4 (vide figura 107, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários **c15, c21, c27, c28, c30, c31, c32, c42, c43, c44, c69, c70, c73, c74** não estão associados a nenhum trabalho específico de furação, representam todos as realidades ensaiadas, não sendo por isso óbvia a ilação a tirar destas associações.

Na associação negativa deste semieixo, podemos encontrar os indivíduos **c23, c24, c45, c46 e c47**, todos eles ligados aos trabalhos de perfuração de sustimento, havendo, no entanto, a presença do indivíduo **c5**, que contrasta com esta aplicação (ligado a trabalhos de furação de avanço).

### 2.3.2.5. Projeção plano fatorial (F1, F5) – F5



**Figura 108** – Ensaio 2. Projeção das modalidades no plano fatorial (F1, F5).  
Interpretação da projeção das modalidades ao longo do quinto eixo fatorial, F5.

**Eixo fatorial F5 (semieixo positivo)** – Projetam-se, em associação positiva, as modalidades **RU1, RS1, CB2, FL1, SV2, ABR1, PM2 e QC2**.

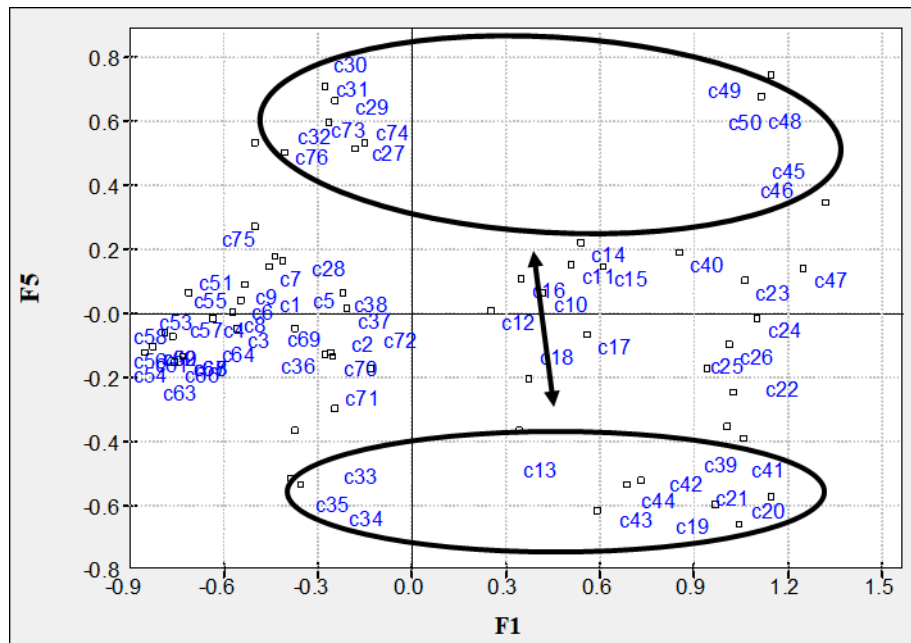
Destas associações podemos identificar a relação entre um baixo rendimento da união e do encabadouro (parece ser clara esta interação entre estes dois elementos da coluna de furação) e a secção de varas característica da furação de avanço num dos projetos estudados, nomeadamente o que utiliza diâmetro de furação de 43 mm.

Para além destas associações, a perda considerável de elementos da coluna de furação no circuito do aço de furação (**PM2**), assim como um considerável número de quebras dos elementos da coluna de furação (**QC2**), permite sublinhar a evidência constatada.

**Eixo fatorial F5 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 108, as modalidades **RS2, SV1, ABR2, PBB2, PM3 e QC1**.

Estas associações não são de todo claras, no entanto, permitem identificar a secção de varas características dos trabalhos de perfuração de sustimento (**SV1**) associados a um rendimento intermédio do encabadouro. De notar também a presença de um elevado número de perdas de material (**PM3**), assim como um baixo número de quebras na coluna de furação (**QC1**).

Efetuada a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F5, com o mesmo raciocínio já anteriormente utilizado, obtemos o gráfico representado na figura 109.



**Figura 109** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F5).

Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do quinto eixo fatorial, F5.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F5 (vide figura 109, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários c27, c29, ... a ... c32, c73, c74 e c76 estão associados aos trabalhos de perfuração de avanço, estando os indivíduos c45, c46, c48, c49, c50 associados aos trabalhos de furação para sustimento. Tal relacionamento confirma as associações anteriormente efetuadas das modalidades nesta mesma projeção.

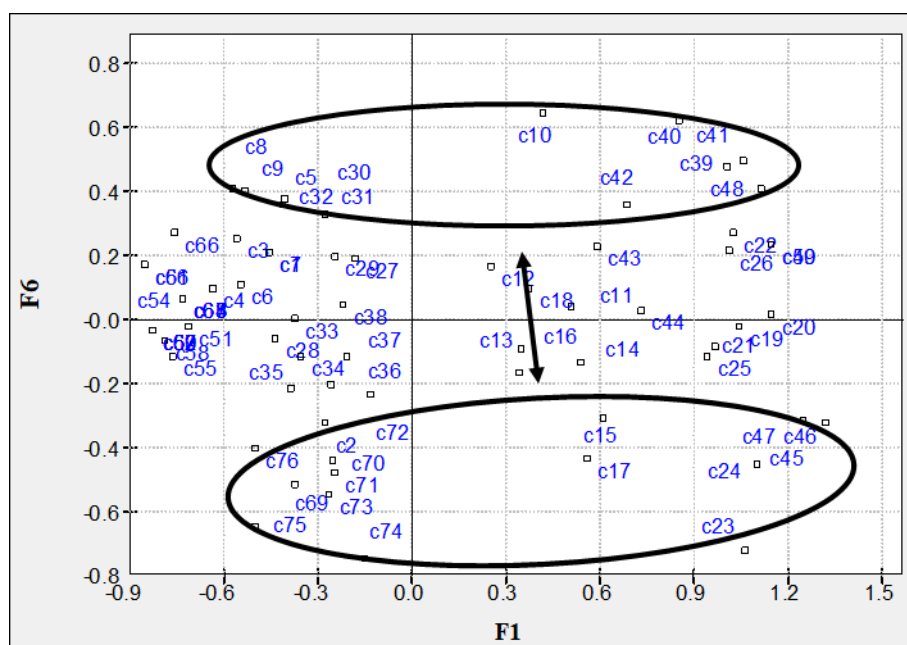




**Eixo fatorial F6 (semieixo negativo)** – Projetam-se, em associação negativa, em particular as localizadas na área inferior da figura 110, as modalidades **NAB1, RB2, RV1, RU1, TR1, PDB1, PBB1, PBB2, PM3 e QC3**.

Nesta associação torna-se evidente o baixo rendimento das varas e uniões (RV1 e RU1 respetivamente) associado à não afiação dos *bits* (NAB1), sendo evidente também a relação direta entre baixa número de *bits* rejeitados por perda de botões (PBB1 e PBB2) ou de diâmetro (PDB1) com as muitas quebras na coluna de furação (QC3).

Efetuada, por último, a projeção dos indivíduos num plano fatorial F1 – F6, com o mesmo raciocínio já anteriormente utilizado, obtemos o seguinte gráfico (figura 111):



**Figura 111** – Ensaio 2. Projeção dos indivíduos no plano fatorial (F1, F6).

Interpretação da projeção dos indivíduos ao longo do sexto eixo fatorial, F6.

Com a observação desta projeção dos cenários ao longo do eixo F6 (vide figura 111, projeção dos indivíduos), complementada com a análise das tabelas do anexo 27, é possível inferir que os cenários **c5, c8, c9, c30, c31, c32**, estão associados aos trabalhos de perfuração de avanço, sendo que os cenários **c39, c40, c41, c42 e c48** encontram-se associados aos trabalhos de furação para aplicação de sustimento. Tal separação, conforme encontrado na projeção anterior, deverá permitir obter ilações na sua interpretação conjunta com as restantes realidades projetadas.

Por contraponto a este semieixo positivo, encontramos no sentido negativo os cenários **c2, c69, ... a ... c76**, associados aos trabalhos de perfuração para avanço, sendo também identificada um segundo grupo de indivíduos (**c15, c17**) associados à perfuração para cabos. Por último, os cenários **c23, c24, c45, c46, c47**, encontram-se associados aos trabalhos de perfuração para avanço.

De forma a tornar todas estas correlações mais visíveis, ajudando na sua leitura e interpretação para a tirada de algumas conclusões a todas estas projeções, resumimos de seguida os dois ensaios efetuados na tabela 19.

**Tabela 19** – Resumo dos resultados da AFCB relativamente à projeção das modalidades nos planos fatoriais.

Ensaio n.º	Codificação das Variáveis e Indivíduos	%Exp	Variáveis Relacionadas	%Exp	Variáveis Relacionadas	%Exp	Variáveis Relacionadas
1	19 Variáveis (71 modalidades ou sub-variáveis) – - colunas da matriz de <i>input</i>  76 Indivíduos (cenários) – - linha da matriz de <i>input</i>	<b>Eixo 1</b>		<b>Eixo 2</b>		<b>Eixo 3</b>	
		19.9	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1	10.9	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1	9.5	da11 CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1
		<b>Eixo 4</b>		<b>Eixo 5</b>		<b>Eixo 6</b>	
		6.3	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1	5.5	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1	4.8	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1, PBB3, PM1
Ensaio n.º	Codificação das Variáveis e Indivíduos	%Exp	Variáveis Relacionadas	%Exp	Variáveis Relacionadas	%Exp	Variáveis Relacionadas
2	19 Variáveis (56 modalidades ou sub-variáveis) – - colunas da matriz de <i>input</i>  76 Indivíduos (cenários) – - linha da matriz de <i>input</i>	<b>Eixo 1</b>		<b>Eixo 2</b>		<b>Eixo 3</b>	
		26.5	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1,	14.0	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5, FL5, SV3, TR1,	10.4	da11 CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5,
		<b>Eixo 4</b>		<b>Eixo 5</b>		<b>Eixo 6</b>	
		6.6	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5,	5.93	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, SV1, SV2, TR2, PBB1, PM3, QC2 ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6,	4.7	CMF3, CMF4, NAB1, DF1, SF2, MF1, RB1, RB2, RV1, RU3, RS1, CB3, FL1, ⇕ CMF1, DF2, SF1, MF3, RB5, RV6, RU2, RS4, RS5,

### 3. Conclusões e perspectivas futuras

Ao longo deste trabalho, em especial nos últimos capítulos escritos, tivemos já oportunidade de apresentar algumas conclusões parcelares, ainda que de certa maneira evidentes face às constatações observadas em dado momento. No entanto, procura-se agora e de uma forma mais global, em jeito de resumo final, enunciar as principais conclusões que nos parecem interessantes retirar desta investigação.

Dada a ausência de estudos sobre as ferramentas de perfuração usando a AFCB como ferramenta de “trabalho”, as interpretações que aqui fazemos acabam por exprimir a natureza empírica do autor, muito centrada na aplicação específica dos tratamentos de dados efetuados às realidades ensaiadas, permitindo (arriscando mesmo alguma sobrançeria ao dizer, “garantindo” ...) um contributo válido para a indústria extrativa, mais concretamente, para os projetos ensaiados.

Faz-se notar que as conclusões que neste capítulo apresentamos são também função dos dados utilizados, não nos permitindo qualquer generalização para outros contextos geológico-mineiros. Embora esta limitação possa parecer impeditiva de criação de um modelo geral, os estudos agora encetados poderão validar e contribuir para um modelo global que represente outras realidades geológico-mineiras.

Apraz, antes de mais, confirmar a validade das ferramentas estatísticas utilizadas na reprodução do comportamento das variáveis estudadas, uma vez que face à concordância dos resultados (quicá “tendências” seja uma melhor descrição) obtidos, tornam-se claras ilações já efetuadas no campo de aplicação das ferramentas de perfuração.

O termo “modelo” aplicado desde logo no título, mas também ao longo desta tese (chegados agora a esta parte da investigação), faz mais sentido do que nunca o seu emprego, já que e num sentido abrangente do mesmo, é-nos permitido construir diversos planos de estudo para detalhar a relação existente entre as diferentes variáveis, quer atendendo à sua natureza quer à sua escala representativa.

As recolhas dos dados dos ensaios, assim como a sua codificação, surtiram o efeito desejado, sendo também importante concluir a sua aplicabilidade à investigação efetuada, mais concretamente, no estudo desenvolvido ao aço de furação. Daqui concluímos também que, e apesar do seu registo, a variável abrasividade, dureza de rocha e sua

condição terminaram por não serem passíveis de análise, muito porque o seu real registro nem sempre foi passível de ser medido.

Restringindo, no entanto, a composição das nossas conclusões aos resultados da AFCB relativamente à projeção das modalidades nos planos fatoriais, constatamos as seguintes tendências vincadas no primeiro ensaio:

Trabalhos de perfuração de avanço (*drift*) apresentam custo por metro de furação baixo, estando associados a esta realidade (e como justificação desta conclusão) uma pequena percentagem de perdas de material durante os ensaios de furação, um alto rendimento das varas de perfuração, uma percentagem elevada de *bits* rejeitados por perda de diâmetro, um elevado número de *bits* rejeitados por perdas de botões e um rendimento elevado do *bit*.

Esta atividade de perfuração foi a que permitiu, por estar presente em todos os projetos mineiros onde se realizaram os diferentes ensaios, recolher as maiores amostragens de metros furados, havendo por inerência a esta característica, uma diluição de eventuais ocorrências suscetíveis de alterar uma média quando as amostragens são menores. Por isso, mas não só, os valores mais altos dos rendimentos obtidos por cada elemento da coluna de furação foram aqui obtidos, quer pela experiência acumulada dos diferentes operadores lhes permitir aperfeiçoar a sua técnica, quer por a logística da distribuição, utilização e recolha dos elementos da coluna de furação estar melhor conseguida em todos os projetos estudados (face à obrigatoriedade de não ter equipamentos parados por falta de ferramentas de perfuração e pelo elevado custo que os stocks deste material necessário à normal laboração da mina, assim o exigem).

Associações de alto rendimento do *bit* com um elevado número de afiações do mesmo, nos trabalhos de perfuração de avanço, permitem consolidar a conclusão sobre a importância de controlar as perdas de material no circuito de distribuição de aço na mina, um elemento da coluna de furação que não consiga desempenhar a totalidade de metros que é pretendida, acaba por ter um custo por metro mais alto, pois o seu valor unitário é sempre o mesmo, o trabalho que realiza é que passa a ser menor.

Constatamos também, e ainda nesta realidade dos trabalhos de perfuração de *drift*, que quanto maior for o rendimento dos elementos da coluna de furação, mais *bits* são

rejeitados por perda de diâmetro, o que facilmente sugere a ligação com o desgaste do *bit*, por efeito da quantidade de metros perfurados, ser tal que o seu diâmetro mínimo (relacionado com o diâmetro mínimo de furo que as cargas explosivas necessitam ter para poderem ser corretamente carregadas nos furos a detonar) deixa de permitir a sua aplicação na coluna de furação. Uma outra conclusão associada a esta passa pela igual relação entre alto rendimento dos *bits* e o maior número de *bits* que são rejeitados por perda de botões, a matriz do *bit* ao ser desgastada com o aumentar de metros furados, atinge um limite tal que os botões, já com mais de 6 afiações, acabam por ser expulsos do corpo do *bit*, levando a que o mesmo seja rejeitado por falta de capacidade de penetração na rocha.

Os resultados obtidos no primeiro ensaio, permitem-nos também concluir que nos três *clusters* formados relativamente à variável custos por metro furados, característicos das três atividades de perfuração ensaiadas, os custos mais baixos (CMF1 e CMF2) são referentes à furação para avanço, os custos intermédios (CMF3 e CMF4) são referentes ao sustimento e os custos mais altos (CMF5 e CMF6) estão associados à furação extensível para cabos.

Interligada com esta conclusão encontra-se também a associação direta entre ausência de afiação de *bit*, baixo rendimento dos elementos da coluna de furação (em especial das varas e dos *bits*) e um elevado número de perdas de material durante o ensaio, aos custos por metro furado mais altos, o que dada a natureza dos trabalhos de perfuração para cabos, usando aço extensível em grandes comprimentos de furação com o recurso a varas de apenas 1.850 mm de comprimento, leva a que seja frequente a perda de colunas inteiras no terreno (colunas ficam presas durante a furação maioritariamente por dificuldades de limpeza do furo e desvios de furação).

Observando agora os resultados da AFCB relativamente à projeção das modalidades nos planos fatoriais, constatamos as seguintes tendências, vincadas no segundo ensaio:

Os trabalhos de perfuração para aplicação de sustimento de curta duração apresentam custos por metro de furação intermédios, baixo rendimento do aço de furação e uma baixa quantidade de *bits* rejeitados por perda de botões. Tal conclusão acaba por

ser sustentada com o elevado número de perdas de material durante estes ensaios, aumentando assim os custos por metro perfurado, mas ao mesmo tempo, não permite que todo o processo de furação seja otimizado. Dada a natureza do aço de furação envolvido neste trabalho específico (elementos da coluna de furação são de pequeno peso, em especial os *bits*), podemos associar a incúria na utilização e transporte do aço de furação durante os ensaios como uma causa mais que provável na justificação destas perdas, o que sublinha uma evidência comum a toda a realidade mineira na utilização do aço de furação, a importância da supervisão dos trabalhos de furação.

Por outro lado, constata-se novamente a associação dos custos por metro furado mais baixos com os altos rendimento dos elementos da coluna de furação, com a grande percentagem de *bits* rejeitados por perda de diâmetro ou perda de botões e com os trabalhos de perfuração de avanço, tornando-se neste ensaio estas constatações ainda mais relevantes que no ensaio anterior.

Novamente associados aos custos por metro de furação mais altos, encontramos os trabalhos de furação com aço extensível para aplicação de cabos (ancoragens), onde se destaca a modalidade “quebras dos elementos de furação” com uma elevada percentagem. Esta associação permite-nos concluir que, e apesar do seu preço unitário ser inferior aos elementos que constituem uma coluna de furação de avanço, e.g., a realidade dos trabalhos de furação para cabos necessita de ser equacionada de uma outra forma, os problemas associados à metodologia escolhida nos projetos em estudo claramente não está a ter os rendimentos pretendidos.

Constata-se também que a ausência de afiação dos botões de um *bit* acarreta um baixo rendimento do mesmo e dos restantes elementos da coluna de furação, aumentando o número de quebras no aço de furação. Este fato permite evidenciar o aumento do esforço a que as colunas de furação são colocadas quando o *bit* deixa de ter capacidade de penetração no terreno.

Por último, podemos também concluir que as quebras nos elementos das colunas de furação encontram-se relacionados com pequenas percentagens de *bits* rejeitados, quer por perda de botões, quer por perda de diâmetro, o que nos parece de certa forma óbvio face ao já anteriormente exposto neste e capítulos antecedentes.

Embora não tenha sido possível explorar todas as potencialidades que a AFCB nos pode proporcionar no tratamento dos dados recolhidos, tornou-se, no entanto,



possível correlacionar as conclusões dos dois ensaios efetuados num só quadro conceptual, o que revela uma ordenação característica das realidades estudadas, passível de ser aplicada nos diferentes projetos mineiros onde os ensaios foram efetuados. Vejamos de seguida as conclusões, ditas comuns, aos dois ensaios:

Confirmam-se as relações dos custos por metro furado e os seus trabalhos de furação característicos, salientando-se que a realidade do *drift* é aquela que aparenta maior quantidade de metros furados (maior amostragem) e como tal, também ela passível de um melhor aperfeiçoamento da sua execução.

Relacionados com o *drift* estão os altos rendimentos do aço de furação, provenientes do aperfeiçoamento da afiação dos *bits* e como consequência, da elevada percentagem de *bits* rejeitados por perda de diâmetro ou perda de botões.

Com a furação de cabos, as quebras na coluna de furação são muito altas, o que entre outros problemas, acarreta um custo por metro de furação dos mais elevados.

Os trabalhos de perfuração para sustimento, têm sempre uma grande percentagem de perdas de material no circuito de utilização o que, por não permitir obter o tempo de vida espectável para os diferentes elementos da coluna de furação, leva a que o seu custo por metro perfurado seja intermédio.

Constatamos também que a ausência de afiação implica um baixo rendimento do aço de furação e aumenta o número de quebras evidenciadas, sendo esta conclusão abrangente às três realidades de furação distintas.

Por contraponto, um elevado número de afiações por *bit* leva ao aumento do seu rendimento, assim como dos restantes elementos da coluna de furação, traduzindo-se posteriormente numa redução das perdas de material no circuito da mina, assim como no aumento do número de *bits* rejeitados por perda de diâmetro ou de botões.

Por último, uma anotação passível de análises futuras mais detalhadas é relativa à diluição das modalidades que afetam negativamente um custo por metro de furação, que está relacionada com uma maior amostragem de metros furados por ensaio, o que por manifesta falta de oportunidade do autor, não permitiu correlacionar esta constatação com os trabalhos de furação para sustimento ou de cabos. Desta forma, não nos permitimos concluir transversalmente que esta realidade é observada nos três trabalhos de perfuração ensaiados. No entanto, as evidências a isso podem fazer referência em investigações futuras.

E porque tudo começa com um primeiro passo, feita esta caminhada de vastos desafios, foi possível identificar as diferentes variáveis associadas à escolha das ferramentas de perfuração nos projetos estudados, sendo todas elas relacionadas com as condicionantes específicas de cada realidade mineira e em especial, dos meios disponíveis para a realização do trabalho de perfuração. O desenvolvimento de um dado ensaio ao aço de furação, por si só, acarreta entropia às normais rotinas nestas realidades, no entanto a sua mais-valia foi sempre óbvia de identificar, quer pela constante busca no aperfeiçoamento dos rendimentos obtidos, quer pelo claro benefício na redução dos custos por metro furado em cada uma das realidades ensaiadas.

Como tal, permitimo-nos fazer o exercício “emocional” de voltar a esse primeiro passo e responder a algumas questões que, ainda nessa altura sem a consciência e as confirmações de hoje, se tornam óbvias na fase atual:

- Existe uma correta identificação dos condicionantes em cada local de trabalho?

É nossa convicção que nem todos os condicionantes estão devidamente identificados, quer pelo desconhecimento da sua influência nos trabalhos de perfuração, quer também por manifesta falta de importância que esta atividade continua a ter no ciclo de produção mineiro.

- O utilizador é conhecedor das alternativas, relevantes, existentes no mercado?

Na sua globalidade sim, no entanto, e sempre que há necessidade de alterar uma dita configuração da coluna de furação, perante uma dificuldade nova, o utilizador, de uma forma geral, passa essa responsabilidade para o fornecedor das ferramentas de perfuração. Tal procedimento, ainda que lógico, parece-nos também ele passível de ter um resultado mais proveitoso quer para o fornecedor da solução quer para o utilizador da mesma.

- A tecnologia existente permite aferir com precisão como deverá ser efetuado o trabalho de perfuração?

Nem sempre, quer pelo nível de tecnologia existente (muito rudimentar em alguns cenários estudados) quer pela disponibilidade de meios na frente de trabalho. A realidade presenciada continua a trabalhar muitas vezes “às cegas”, dando-se ao luxo de efetuar trabalhos de furação sem estarem reunidas todas as informações necessárias para o seu correto dimensionamento.

- Existe capacidade, nos destinatários destas ferramentas, para a sua correta utilização?

Esta talvez seja a pergunta mais simples de responder, a capacidade é por demais evidente, no entanto a vontade de evoluir e utilizar as ferramentas adequadas ao trabalho em causa é uma dificuldade por demais constante em todos os projetos ensaiados.

- Existe nos destinatários a necessidade de melhorar os rendimentos obtidos num determinado projeto?

Apenas perante um imperativo superior, normalmente focado nos custos operacionais demasiado altos face ao rendimento e valor do minério que se pretende extrair. Esta visão, digamos economicista, da exploração mineira leva a que esta

necessidade não se manifeste nas alturas do planeamento ou da distribuição de frentes de trabalho.

- Poderá a correta seleção, utilização e controle, apuramento dos resultados obtidos e sugestão de melhoria, ser implementado no contexto nacional da indústria extrativa?

Sem sombra de dúvida que sim, a aplicação da metodologia desenvolvida nesta tese disso faz prova. É nossa convicção que, hajam mais dados para analisar e as conclusões aqui obtidas poderão ser sublinhadas e suportadas com um maior grau de certeza, sendo clara a importância que uma ferramenta destas poderá ter na otimização de um qualquer trabalho de perfuração de rocha, em especial, nos projetos mineiros ensaiados.

Se por um lado, a análise da realidade atual, com um tão grande número de variáveis associadas, passou a ser passível de uma explicação, por outro as ilações que daqui se podem extrair, são basilares para a tomada de novas decisões em ambientes semelhantes, dito de outra forma, analisada a realidade da mina, podemos hoje decidir melhor com base nas conclusões tiradas, o que nos parece uma mais-valia incalculável para qualquer um dos projetos estudados.

E porque nada é definitivo, até que assim o comprovem (!), algumas das relações observadas padecem de mais estudo e até quiçá, novas conclusões face aos dados aqui estudados, nomeadamente:

- Implicação das características geológicas no rendimento do aço de furação;
- Associação entre preparação da frente de trabalho e quebras na coluna de furação;
- O número de metros furados afeta a diluição dos rendimentos obtidos no aço de furação?

- A configuração da face do *bit* está relacionada com o seu rendimento?
  
- Os furos de limpeza no *bit* de que forma é que se relacionam com as quebras na coluna de furação?
  
- A afiação de botões aumenta exponencialmente o rendimento do *bit*, ou por contraponto, existe um valor ótimo para este procedimento?



## **Bibliografia**

ANDERSSON, Leif, (1982) - *Atlas Copco Manual*, Stockholm, Technical Writing SH.

ATLAS COPCO ROCK DRILLS AB, (2014) - *Underground Mining*, Örebro, First Edition.

ATLAS COPCO ROCK DRILLS AB, (2015) - *Underground Construction*, Örebro, First Edition.

BENZECRI, J. P., (1973) - *L'Analyse des Données*, Paris, Dunod, 2 vols.

BENZECRI, J. P., (1980) - *Pratique de l'Analyse des Données*, Paris, Dunod, 3 vols.

BOURDIEU, P., (1979) - *Distinction: A Social Critique of the Judgement of Taste*, London, Routledge.

CASTRO, S. R.; PARRAS, M. M., (1986) - *Manual de ferramentas de perfuração*, Rio de Janeiro, Secoroc.

CASTROVIEJO, Ricardo, (1998) - *Fundamentos de Petrografia*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

CIBOIS, P., (1983) - *L'Analyse Factorielle*, Paris, PUF.

CIBOIS, P., (1984) - *L'Analyse des Données en Sociologie*, Paris, PUF.

CORTEZ, J. A. Simões, (1998) - *Exploração de Georecursos I*, Apontamentos facultados no âmbito da licenciatura em Engenharia de Minas pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

SANTAMARINA, J. Carlos, (2020) – *Las propiedades de los suelos - Clasificación*, <https://masgeotecnia.mykajabi.com/blog/propiedadesdelossuelos>, consulta em 02/01/2020.

DEERE, (1967) - *Design of surface and near surface construction in rock*, Proceedings of the 8th U.S. Symposium on rock mechanics, American Rock Mechanics Association, New York, pp. 237-302.

DESSUREAULT, S., (2006) - *Rock Excavation*, Course Notes, Mining and Geological Engineering , Arizona, University of Arizona.

PORTAL METÁLICA, (2019) – *O que é Aço Carbono?*, <https://metalica.com.br/o-que-e-aco-carbono-2/>, consulta em 21/12/2019.

DOISE, W. ; CLEMENCE, A. ; LORENZI-CIOLDI, F., (1992) - *Representations Sociales et Analyses des Données*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.

DONG, Li; MINGYUE, Ren; GUOYING, Meng., (2017) - *Application of Internet of Things Technology on Predictive Maintenance System of Coal Equipment*, Procedia Engineering. 174. 885-889. 10.1016/j.proeng.2017.01.237.

DUNSTAN, F.; PICKLES, J., (1991) - *Statistics in medicine*, Oxford, Clarendon Press.

DYWIDAG - SYSTEMS INTERNATIONAL GMBH, (2009) - *GEWI Plus Geotechnical Systems*, Linz, DSI.

EN 12670:2001 - *Natural Stone – Terminology*, Comite Europeen de Normalisation.

EPIROC ROCK DRILLS AB, (2019) - *Surface Reference Book*, Örebro, First Edition.

ESCOFIER, B. ; PAGES, J., (1988) - *Analyses factorielles simples et multiples: Objectifs, méthodes et interpretation*, Paris, DUNOD.



FENELON, J., (1981) - *Qu'est-ce que l'Analyses des Données ?*, Paris, Lefonen.

FERREIRA, Manuel, (1999) - *Elementos sobre furação*, Branca, DUROMIN.

FIELDING, A., (1992) - *Axiomatic Approaches to Scoring Ordered Classifications*, Birmingham, University of Birmingham, Department of Economics (Discussion Paper 6).

FRANKLIN, J.A., (1971) - *Logging the mechanical character of rock*, Inst. Min. Metall., pp.A1–A51.

GALIZA A.C., (2013) - *Qualidade e optimização do desmonte de maciços rochosos em geotecnia mineira*, Universidade de Aveiro. (tese de doutoramento).

GARDNER-DENVER, MINING AND CONSTRUCTION GROUP, (1986) - *Rock Drilling Data*, Sheffield, Gardner-Denver Rock Drilling Components Ltd.

GEOLOGY, (2015) - *Earth's Surface, Unit 1*,

[http://www.classzone.com/vpg\\_ebooks/sci\\_sc\\_8/accessibility/sci\\_sc\\_8/page\\_80.pdf](http://www.classzone.com/vpg_ebooks/sci_sc_8/accessibility/sci_sc_8/page_80.pdf),

consulta em 02/01/2020.

GÓIS J.C.; VIEIRA A.; GALIZA A.C., (2012) - *Manual do operador de produtos explosivos*, Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos / Associação.

GREENACRE, M. J., (1984) - *Theory and Applications of Correspondence Analysis*, London, Academic Press.

GREENACRE, M. J., (1993) - *Correspondence Analysis in Practice*, London, Academic Press.

HAIR, Jr., JOSEPH, F., (1992) - *Multivariate Data Analysis*, New York, Macmillan, (Third Edition).

HALCO ROCK TOOLS LIMITED, (2006) - *A to Z of DTH Drilling*, Halifax, Halco Rock Tools Limited.

HANSSON, J.; NORD, G., (2015) - *Underground Construction*, Stockholm, Greenwood Communications.

HARTMAN, H.L., (1992) - *SME mining engineering handbook*, 2nd edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado, 2 volumes, 2260 pp.

HEINIÖ, M.,(1999) - *Rock Excavation Handbook*, Sandvik Tamrock Corp.

Hill, M.O.,(1974), “Correspondence analysis: a neglected multivariate method”, *Applied Statistics*, 23, 340-54.

JAMBU, M., (1989) - *Exploration Informatique et Statistique des Données*, Paris, DUNOD.

JIMENO, C. L. *et al.*, (2017) - *Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras*, Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas.

KAISER, H. F., (1958) - *The varimax criteria for analytical rotation in factor analysis*, *Psychometrika*, 23: 141-51.

KAISER, H. F., (1960) - *The application of electronic computers to factor analysis*, *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141–151.

LEE, J.; PROWSE, K., (2014) - *Mining & Metals + Internet of Things: Industry opportunities and innovation*, Report of MaRS, Discovery District, 46 pp.

LILJEKVIST, Sören, (1986) - *Drill steel equipment for decreased cost*, Fagersta, SECOROC.

LILJEKVIST, Sören, (1989) - *Drill steel equipment for decreased cost*, Fagersta, SECOROC.

LILJEKVIST, Sören, (1996) - *Bench drilling – choice of drill steel*, Fagersta, SECOROC.

LÓPEZ-VALCÁRCEL, B. G., (1991) - *Análisis multivariante: Aplicación al ámbito sanitario*, Barcelona, SG Editores.

MADUREIRA, C. M. N., (1992) - *A Metodologia Sistémica*, Revista Geosistemas, Lisboa, Instituto Superior Técnico.

MANS, J. F. Sánchez-Junco, (2003) - *Presentación*, Manual de Perforación y Voladura de Rocas, C. López Jimeno et al., Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas, p.5.

MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION, (2014) - *Rock Tools*, Tokyo.

MURTEIRA, B.; BLACK, G., (1983) - *Estatística Descritiva*, McGraw Hill, Lisboa, 283 p.

NISHISATO, S., (1980) - *Analysis of Categorical Data: Dual Scaling and its Applications*, Toronto, University of Toronto Press.

PADLEY AND VENABLES LTD., (2015) - *Rock Drilling Equipment*, Sheffield.

PALBIT, (2015) - *Rock Tools Catalogue*, Branca.

PEREIRA, H. G., (1987) - *Tratamento informático de questionários: o ponto de vista da análise factorial das correspondências*, Revista Crítica de Ciências Sociais, 98, 733-746.

PEREIRA, H. G.; SOUSA, A. J., (1988) - *Tratamento de Quadros Multidimensionais*, CVRMUTL, 105 pp.

PEREIRA, Pedro, (2009) - *Trabalhos preparatórios no desmonte de rocha com explosivos*, apontamentos no âmbito do 6º curso sobre explosivos para responsáveis técnicos de pedreiras e obras de escavação, Lisboa, IST.

PETTIFER, G.S.; Fookes, P.G., (1994) - *A Revision of the Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock*, Geological Society, London, 27 (2): 64-145.

PHILLIPS, D., (1995) - *Correspondence analysis*, Social Research Update, 7. University of Surrey, Department of Sociology.

PLINNINGER, R.J.; SPAUN, G.; THURO, K., (2002) - *Prediction and Classification of tool wear in drill and blast tunneling*, Van Rooy, J.L. & Jermy, C.A., Engineering Geology for Developing Countries, 9º Congresso IAEG, Durban : 2226–2236.

ROBIT PLC, (2019) - *Top-hammer Product Catalogue*, Tampere.

ROCKMORE INTERNATIONAL, (2016) - *Rock Drilling Tools*, Wilsonville.

SANDVIK CONSTRUCTION AB, (2013) - *Top hammer drilling tools – product catalogue*, Suécia.

SANDVIK COROMANT, (2012) - *Threading, thread turning and thread milling*, manual de aplicação, Suécia,.

SANTOS, R. M. Gomes dos, (2015) - *Geologia I*, Apontamentos facultados no âmbito da licenciatura em Engenharia de Minas e Geo-ambiente pela Faculdade de Engenharia do Porto.

SECOROC, (1988) - *Practical guide to surface drill steel equipment*, Fagersta.

SHARMA, Aa.; SHARMA, Ak.; GUPTA, S., (2017) - *IoT in MINING: A Review*, International Journal of Electronics, Electrical and Computational System (IJECS). ISSN 2348-117X, Volume 6, Issue2, February, 8 pp.

SILVA, C.A.P.F. Marques, (2016) - *Introdução ao Estudo das Rochas Sedimentares*, Apontamentos facultados no âmbito de Geologia Geral na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

SILVA, Carlos, (2003) - *ABC do SPSS for Windows. Introdução ao Tratamento de dados em Ciências Sociais*, Monsaraz, ADIM.

SILVA, M. M. V. Guerreiro da, (1999) - *Petrologia I*, Apontamentos facultados no âmbito da licenciatura em Engenharia de Minas pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

SOUSA, L.M.O., (2006) - *Granito Amarelo Real: Características Gerais e Contribuição para o Ordenamento da Exploração na Serra da Falperra (NE de Portugal)*, Boletim de Minas, DGEG, Lisboa, 41(2): 161- 174.

SUN, JP., (2011) - *Research on Characteristics and Key Technology in Coal Mine Internet of Things*, Journal of China Coal Society 36, pp.167-171.

SUN, Yanjing; ZOU, Haiwei; QIAN, Jiansheng; ZHAO, Fuyin, (2013) - *Application Mode and Key Technology of Internet of Things Faced to Coal Mine Safety Production*, Coal Science and Technology, 41(1):84-88.

THURO, K.; SPAUN, G., (1996) - *Drillability in hard rock drill and blast tunneling*, Felsbau, 14(2): 1-11.

TUKEY, J., (1977) - *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 506 p.

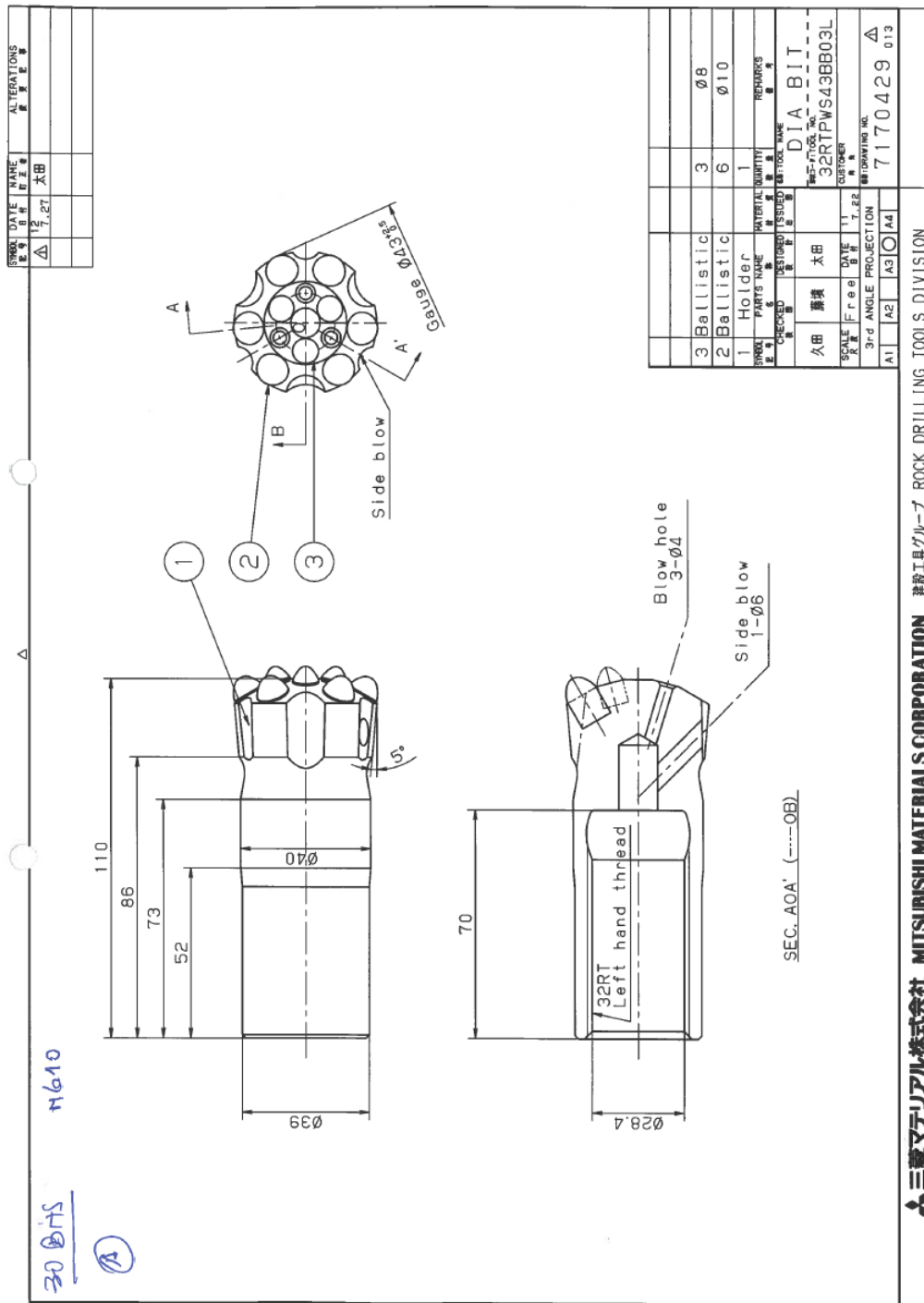
VAN DE GEER, J. P., (1993) - *Multivariate Analysis of Categorical Data: Applications*, Newbury Park: Sage.

VAN DE GEER, J. P., (1993) - *Multivariate Analysis of Categorical Data: Theory*, Newbury Park: Sage.

WINKLER, H.G.F., (1967) - *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*, New York, Springer-Verlag, 3<sup>rd</sup> edition.

ZHANG, Y.; FU, Gua; ZHAO, Zhg; HUANG, Zhi, LI, Hong; YANG, Ji, (2012) - *Discussion on Application of IOT Technologyin Coal Mine Safety Supervision*, International Symposium on Safety Science and Engineering in China, 2012 (ISSSE-2012), pp.233-237.

## **Apêndice e Anexos**



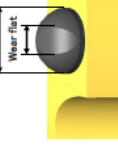


三菱マテリアル株式会社 MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION 建設工具グループ ROCK DRILLING TOOLS DIVISION

Anexo 1 – Desenho técnico de um bit de botões.

Fonte: Mitsubishi Materials Corporation.



Day:		Part number	
Detail of button condition: B→carbide breakage, L→lost button		 	
Carbide breakage			
①	Part number	Carbide glade	⑤
Before	Gauge dia	Condition (before)	Before
After	Skirt dia	Condition (after)	After
Loss	Wear flat		Loss
Holes			Holes
Topics	Boom		Topics
	Part number	Carbide glade	
	Gauge dia	Condition (before)	
	Skirt dia	Condition (after)	
	Wear flat		
	Boom		
②	Part number	Carbide glade	⑥
Before	Gauge dia	Condition (before)	Before
After	Skirt dia	Condition (after)	After
Loss	Wear flat		Loss
Holes			Holes
Topics	Boom		Topics
	Part number	Carbide glade	
	Gauge dia	Condition (before)	
	Skirt dia	Condition (after)	
	Wear flat		
	Boom		
③	Part number	Carbide glade	⑦
Before	Gauge dia	Condition (before)	Before
After	Skirt dia	Condition (after)	After
Loss	Wear flat		Loss
Holes			Holes
Topics	Boom		Topics
	Part number	Carbide glade	
	Gauge dia	Condition (before)	
	Skirt dia	Condition (after)	
	Wear flat		
	Boom		
④	Part number	Carbide glade	⑧
Before	Gauge dia	Condition (before)	Before
After	Skirt dia	Condition (after)	After
Loss	Wear flat		Loss
Holes			Holes
Topics	Boom		Topics
	Part number	Carbide glade	
	Gauge dia	Condition (before)	
	Skirt dia	Condition (after)	
	Wear flat		
	Boom		

Anexo 2 – Modelo utilizado para registo do desgaste dos *bits* de botões.

Cenário	1	2	3	4	5
Data	jun/13	jul/13	ago/13	jan/14	fev/14
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282
Martelo	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,419	0,376	0,351	0,400	0,349
Numero de afiações por bit (und)	5,1	3,9	6,2	3,9	3,3
Diametro de furação (mm)	51	51	51	51	51
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	37580	28221	32565	29123	30926
BIT (m/und)	522	409	740	383	407
VARA (m/und)	1253	2352	1714	2432	2577
UNIÃO (m/und)	3132	2016	32565	5263	5154
SHANK (m/und)	2349	2016	10855	2412	1718
Configuração de bit (n/a)	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3 + 2	3 + 2	3 + 2	3 + 2	3 + 2
Roscas (n/a)	R35	R35	R35	R35	R35
Secção de varas (mm)	H 35	H 35	H 35	H 35	H 35
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	50-80	50-80	50-80	50-80	50-80
Pressão de avanço (bar)	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60
Pressão de água (bar)	3	3	3	3	3
RPM (rpm)	188	190	189	189	190
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Condição da rocha	Sólida	Sólida	Sólida	Sólida	Sólida
Perda diam. bit	6%	12%	8%	3%	6%
Perda botões bit	4%	9%	6%	27%	26%
Perda material (no circuito ou terreno)	37%	38%	21%	22%	33%
Quebra na coluna de furação	53%	41%	65%	48%	35%
Encabadouro	S48M38SFAGH	S48M38SFAGH	S48M38SFAGH	S488-1762-00	5488-1762-00
União	CM38	CM38	CM38	5588-0001	5588-0001
Vara	EH35M38R35-4920	EH35M38R35-4920	EH35M38R35-4920	5788-3535-49	5788-3535-49
Bit	35RTPW51R031L MG10	35RTPW51R031L MG20	35RTPW51R23M1 MG20	4735-2051S	4735-2051S

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado.

Cenário	6	7	8	9	10
Data	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	mar/15
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Simba 104 Adap.
Martelo	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD	COP1440
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,338	0,301	0,298	0,296	1,580
Numero de afiações por bit (und)	5,1	5,5	6,8	7,3	6,1
Diametro de furação (mm)	51	51	51	51	57
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Vertical ascendente
Metros furados (m)	26971	38456	37423	27332	14900
BIT (m/und)	360	592	618	621	596
VARA (m/und)	1927	2219	2312	2480	604
UNIÃO (m/und)	5394	5120	3918	4128	-
SHANK (m/und)	4495	3010	2841	2867	710
Configuração de bit (n/a)	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face convexa, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Retrac
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+2	3+2	3+2	3+2	3+2
Roscas (n/a)	R35	R35	R35	R35	T35
Secção de varas (mm)	H 35	H 35	H 35	H 35	R 35
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	50-80	50-80	50-80	50-80	70-90
Pressão de avanço (bar)	40-60	40-60	40-60	40-60	30-50
Pressão de água (bar)	3	3	3	3	2
RPM (rpm)	190	189	189	189	190
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Condição da rocha	Sólida	Sólida	Sólida	Sólida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	4%	16%	24%	27%	12%
Perda botões bit	41%	3%	4%	3%	33%
Perda material (no circuito ou terreno)	13%	28%	21%	19%	28%
Quebra na coluna de furação	42%	41%	48%	51%	27%
Encabadouro	5488-1762-00	5488-1762-00	5488-1762-00	5488-1762-00	5485-2163-00
União	5588-0001	CM38	CM38	CM38	-
Vara	5788-3535-49	5788-3535-49	5788-3535-49	5788-3535-49	5885-3818MF
Bit	4735-2051S	35RTPWSS1R03L1 MG10	35RTPWSS1R03L1 MG10	35RTPWSS1R03L1 MG10	4785-3257S

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	11	12	13	14	15
Data	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 282 Adap.	Atlas Copco Boomer 282 Adap.	Atlas Copco Simba 104 Adap.	Atlas Copco Boomer 282 Adap.	Atlas Copco Simba S1B
Martelo	COP1440	COP1440	COP1440	COP1440	COP1440
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	1,470	1,470	1,500	1,350	1,520
Numero de afiações por bit (und)	2,9	3,2	3	4,1	2,1
Diametro de furação (mm)	57	57	57	57	57
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	16030	9208	10964	11350	8803
BIT (m/und)	327	329	313	420	284
VARA (m/und)	594	473	617	421	331
UNIÃO (m/und)	-	-	-	-	-
SHANK (m/und)	802	837	1218	668	800
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Retrac	Retrac	Retrac	Retrac	Retrac
Furos de limpeza na face do bit (und)	3 + 3	3 + 3	3 + 3	3 + 3	3 + 3
Roscas (n/a)	T35	T35	T35	T35	T35
Secção de varas (mm)	R 35	R 35	R 35	R 35	R 35
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	70-90	70-90	70-90	70-90	70-90
Pressão de avanço (bar)	30-50	30-50	30-50	30-50	30-50
Pressão de água (bar)	2	2	2	2	2
RPM (rpm)	190	190	190	190	190
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	9%	51%	17%	12%	9%
Perda botões bit	3%	18%	15%	7%	8%
Perda material (no circuito ou terreno)	29%	15%	21%	28%	29%
Quebra na coluna de furação	59%	16%	47%	53%	54%
Encabadouro	5485-2163-00	5485-2163-00	5485-2163-00	5485-2163-00	5485-2163-00RD
União	-	-	-	-	-
Vara	5885-3818MF	5885-3818MF	5885-3818MF	5885-3818MF	5885-3818-MF-SD
Bit	35MTPWR57BB23 MG20	35MTPWR57BB23 MG20	35MTPWR57BB23 MG20	35MTPWR57BB23 MG20	35MTPWR57BB23H MG20

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	16	17	18	19	20
Data	set/15	out/15	nov/15	jun/15	jul/15
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 282 Adap. COP1440	Atlas Copco Boomer 282 Adap. COP1440	Atlas Copco Boomer 282 Adap. COP1440	Sandvik DS411 HLX3 F	Sandvik DS411 HLX3 F
Martelo					
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	1,770	1,820	2,120	0,856	1,329
Numero de afiações por bit (und)	3,3	2,8	4,1	0	0
Diametro de furação (mm)	57	57	57	38	38
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	12215	10161	11836	21434	20893
BIT (m/und)	321	188	359	162	113
VARA (m/und)	343	302	705	286	156
UNIÃO (m/und)	-	-	-	-	-
SHANK (m/und)	1018	635	1315	1157	1649
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R
Corpo do bit (n/a)	Retrac	Retrac	Retrac	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3 + 3	3 + 3	3 + 3	1 + 1	1 + 1
Roscas (n/a)	T35	T35	T35	R28	R28
Secção de varas (mm)	R 35	R 35	R 35	H28	H28
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	70-90	70-90	70-90	45	45
Pressão de avanço (bar)	30-50	30-50	30-50	70	70
Pressão de água (bar)	2	2	2	4	4
RPM (rpm)	190	190	190	242	242
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	19%	12%	21%	0%	0%
Perda botões bit	18%	14%	5%	2%	3%
Perda material (no circuito ou terreno)	12%	21%	19%	85%	81%
Quebra na coluna de furação	51%	53%	55%	13%	16%
Encabadoiro	5485-2163-00RD	5485-2163-00RD	5485-2163-00RD	5432-08223-00	5432-08223-00
União	-	-	-	-	-
Vara	5885-3818-MF-SD	5885-3818-MF-SD	5885-3818-MF-SD	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D
Bit	35MTPWR57BB23H MG20	35MTPWR57BB23H MG20	35MTPWR57BB23H MG20	28RTP38R06	28RTP38R06

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	21	22	23	24	25
Data	ago/15	set/15	jun/15	jul/15	ago/15
Local					
Equipamento	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Atlas Copco Bolt	Atlas Copco Bolt	Sandvik DS411
Martelo	HLX3 F	HLX3 F	COP 1132	COP 1132	HLX3 F
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,859	1,064	2,271	0,767	0,558
Numero de afiações por bit (und)	0,8	1,2	0	0	1,5
Diametro de furação (mm)	38	38	38	38	38
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	24294	22750	6462	8832	9227
BIT (m/und)	198	95	76	110	185
VARA (m/und)	245	261	144	589	401
UNIÃO (m/und)	-	-	265	430	-
SHANK (m/und)	1625	1229	202	1104	1378
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convex, botões R	Face convex, botões R	Face convex, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	1 + 1	1 + 1	1+1	1+1	1+1
Roscas (n/a)	R28	R28	SR32	SR32	SR32
Secção de varas (mm)	H28	H28	H32	H32	H32
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	45	45	45	45	45
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	4	4	4	4	4
RPM (rpm)	242	242	242	242	242
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	8%	12%	0%	0%	8%
Perda botões bit	6%	5%	1%	1%	2%
Perda material (no circuito ou terreno)	42%	35%	71%	68%	51%
Quebra na coluna de furação	44%	48%	28%	31%	39%
Encabadouro	5432-08223-00	5432-08223-00	90003605	90003605	90003605
União	-	-	90515731	90515731	-
Vara	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D	90029441	90029441	90029441
Bit	28RTP38R06	28RTP38R06	90514501	90514501	90514501

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	26	27	28	29	30
Data	set/15	nov/14	dez/14	jan/14	fev/14
Local					
Equipamento	Sandvik DS411	Sandvik DD422	Sandvik DD422	Sandvik DD422	Sandvik DD422
Martelo	HLX3 F	HLX5	HLX5	HLX5	HLX5
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,664	0,397	0,361	0,301	0,286
Numero de afiações por bit (und)	3	1,55	2,78	2,01	1,76
Diametro de furação (mm)	38	48	48	48	48
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	8263	25380	17167	22454	20143
BIT (m/und)	138	390	636	482	551
VARA (m/und)	551	1586	1226	2811	2913
UNIÃO (m/und)	-	12690	17167	4365	5241
SHANK (m/und)	1653	2820	3433	3126	4355
Configuração de bit (n/a)	Face convex, botões R	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	1+1	1+2	1+2	1+2	1+2
Roscas (n/a)	SR32	R35	R35	R35	R35
Secção de varas (mm)	H32	H35	H35	H35	H35
Pressão de percussão (bar)	180	160	160	160	160
Pressão de rotação (bar)	45	50	50	50	50
Pressão de avanço (bar)	70	60	60	60	60
Pressão de água (bar)	4	3	3	3	3
RPM (rpm)	242	201	203	203	203
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida
Perda diam. bit	19%	20%	36%	28%	32%
Perda botões bit	4%	2%	12%	7%	18%
Perda material (no circuito ou terreno)	43%	31%	22%	27%	27%
Quebra na coluna de furação	34%	47%	30%	38%	23%
Encabadouro	90003605	5488-20150-00	5488-20150-00	5488-20150-00	5488-20150-00
União	-	CM38	CM38	CM38	CM38
Vara	90029441	5788-3535-49	5788-3535-49	5788-3535-49	5788-3535-49
Bit	90514501	35RTPWSS1R03L1 MG10	35RTPWSS1R03L1 MG10	35RTPWSS1R03L1 MG10	35RTPWSS1R03L1 MG10

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).



	31	32	33	34	35
Cenário	31	32	33	34	35
Data	mar/14	abr/14	out/13	nov/13	dez/13
Local					
Equipamento	Sandvik DD422	Sandvik DD422	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282
Martelo	HLX5	HLX5	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,211	0,301	0,551	0,481	0,441
Numero de afiações por bit (und)	1,39	1,32	0,9	1,5	2,4
Diametro de furação (mm)	48	48	48	48	48
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	19181	28833	75101	78202	55131
BIT (m/und)	685	406	301	655	321
VARA (m/und)	3836	1922	1451	1548	1501
UNIÃO (m/und)	6394	5767	3510	3523	4001
SHANK (m/und)	4795	28833	1299	1323	1390
Configuração de bit (n/a)	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	1 + 2	1 + 2	3+1	3+1	3+1
Roscas (n/a)	R35	R35	SR35	SR35	SR35
Secção de varas (mm)	H 35	H 35	H 35	H 35	H 35
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	160	160
Pressão de rotação (bar)	50	50	50	50	50
Pressão de avanço (bar)	60	60	60	60	60
Pressão de água (bar)	3	3	3	3	3
RPM (rpm)	203	203	198	198	198
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasividade	Baixa	Alta	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida	Faturada / partida
Perda diam. bit	31%	33%	7%	15%	8%
Perda botões bit	19%	17%	18%	15%	12%
Perda material (no circuito ou terreno)	28%	25%	47%	43%	52%
Quebra na coluna de furação	22%	25%	28%	27%	28%
Encabadoiro	5488-20150-00	5488-20150-00	90516098	90516098	90516098
União	CM38	CM38	90515737	90515737	90515737
Vara	5788-3535-49	5788-3535-49	90513860	90513860	90513860
Bit	35RTPW51R03L1 MG10	35RTPW51R03L1 MG10	90514150	90514150	90514150

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).



Cenário	36	37	38	39	40
Data	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Atlas Copco Boomer 282	Sandvik DS411	Sandvik DS411
Martelo	COP1838HD	COP1838HD	COP1838HD	HLX3 F	HLX3 F
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,471	0,491	0,43	0,847	0,460
Numero de afiações por bit (und)	2,1	2,2	2,9	1,36	0,81
Diametro de furação (mm)	48	48	48	38	38
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	68141	67981	58281	5600	4883
BIT (m/und)	381	343	458	144	181
VARA (m/und)	1761	1503	1633	560	1221
UNIÃO (m/und)	3521	4212	4366	0	0
SHANK (m/und)	1501	1398	1467	1400	1221
Configuração de bit (n/a)	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+1	3+1	3+1	1+1	1+1
Roscas (n/a)	SR35	SR35	SR35	R28	R28
Secção de varas (mm)	H 35	H 35	H 35	H 28	H 28
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	180	180
Pressão de rotação (bar)	50	50	50	45	45
Pressão de avanço (bar)	60	60	60	70	70
Pressão de água (bar)	3	3	3	4	4
RPM (rpm)	198	198	198	242	242
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	11%	10%	19%	27%	21%
Perda botões bit	9%	3%	3%	2%	9%
Perda material (no circuito ou terreno)	41%	49%	43%	62%	32%
Quebra na coluna de furação	39%	38%	35%	9%	38%
Encabadouro	90516098	90516098	90516098	5432-08223-00	5432-08223-00
União	90515737	90515737	90515737	-	-
Vara	90513860	90513860	90513860	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D
Bit	90514150	90514150	90514150	28RTP38R06	28RTP38R06

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	41	42	43	44	45
Data	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	out/13
Local					
Equipamento	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411
Martelo	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,654	0,500	0,433	0,567	1,311
Numero de afiações por bit (und)	1,89	1,27	0,95	1,58	0
Diametro de furação (mm)	38	38	38	38	38
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	5241	6846	4196	9495	24421
BIT (m/und)	163	211	200	221	88
VARA (m/und)	890	532	699	365	261
UNIÃO (m/und)	0	0	0	0	-
SHANK (m/und)	1311	3285	4196	2374	751
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convex, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	1 + 1	1 + 1	1 + 1	1 + 1	1 + 1
Roscas (n/a)	R28	R28	R28	R28	SR32
Secção de varas (mm)	H 28	H 28	H 28	H 28	H32
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	45	45	45	45	45
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	4	4	4	4	4
RPM (rpm)	242	242	242	242	241
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Baixa	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Baixa
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	24%	22%	29%	18%	0%
Perda botões bit	6%	8%	11%	4%	1%
Perda material (no circuito ou terreno)	47%	45%	38%	51%	68%
Quebra na coluna de furação	23%	25%	22%	27%	31%
Encabadouro	5432-08223-00	5432-08223-00	5432-08223-00	5432-08223-00	90003605
União	-	-	-	-	-
Vara	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D	5732-2828-26-D	90029441
Bit	28RTP38R06	28RTP38R06	28RTP38R06	28RTP38R06	90514501

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	46	47	48	49	50
Data	nov/13	dez/13	ago/14	set/14	out/14
Local					
Equipamento	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411	Sandvik DS411
Martelo	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F	HLX3 F
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	1,281	1,299	0,881	0,998	0,934
Numero de afiações por bit (und)	0	0	1,3	1,6	1,5
Diametro de furação (mm)	38	38	38	38	38
Sentido furação (n/a)	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente	Vertical ascendente
Metros furados (m)	22532	15821	17843	19132	18561
BIT (m/und)	99	96	132	148	163
VARA (m/und)	298	265	473	331	322
UNIÃO (m/und)	-	-	-	-	-
SHANK (m/und)	702	748	821	783	850
Configuração de bit (n/a)	Face convex, botões R	Face convex, botões R	Face convex, botões R	Face convex, botões R	Face convex, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	1 + 1	1 + 1	1 + 1	1 + 1	1 + 1
Roscas (n/a)	SR32	SR32	SR32	SR32	SR32
Secção de varas (mm)	H32	H32	H32	H32	H32
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	45	45	45	45	45
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	4	4	4	4	4
RPM (rpm)	241	241	241	241	241
Tipo de rocha	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura	Muito dura
Abrasiveidade	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	0%	1%	34%	30%	29%
Perda botões bit	3%	1%	1%	5%	7%
Perda material (no circuito ou terreno)	66%	71%	28%	31%	29%
Quebra na coluna de furação	31%	27%	37%	34%	35%
Encabadoiro	90003605	90003605	90003605	90003605	90003605
União	-	-	-	-	-
Vara	90029441	90029441	90029441	90029441	90029441
Bit	90514501	90514501	90514501	90514501	90514501

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	51	52	53	54	55
Data	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 181	Sandvik DS211	Sandvik DS211	Atlas Copco Boomer 181	Atlas Copco Boomer 181
Martelo	COP1838	HLX5	HLX5	COP1838	COP1838
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,203	0,225	0,196	0,172	0,201
Numero de afiações por bit (und)	4,8	5,4	5,1	7,2	4,6
Diametro de furação (mm)	43	43	43	43	43
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	103561	103777	118409	102472	116463
BIT (m/und)	386	358	359	427	431
VARA (m/und)	2725	2471	3200	3105	2157
UNIÃO (m/und)	4707	3844	5920	8539	6470
SHANK (m/und)	4707	3844	5920	8539	6470
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+2	3+2	3+2	3+3	3+3
Roscas (n/a)	R32	R32	R32	R32	R32
Secção de varas (mm)	H35	H35	H35	H35	H35
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	160	160
Pressão de rotação (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	10	9	9	10	10
RPM (rpm)	270	265	265	270	270
Tipo de rocha	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura
Abrasividade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	20%	30%	41%	42%	22%
Perda botões bit	39%	34%	29%	28%	27%
Perda material (no circuito ou terreno)	6%	7%	7%	5%	9%
Quebra na coluna de furação	35%	29%	23%	25%	42%
Encabadouro	90516098	90516098	90516098	90516098	90516098
União	CM38R38	CM38R38	CM38R38	90515737	90515737
Vara	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU
Bit	32RTPWS43BB09M	32RTPWS43BB09M	32RTPWS43BB09M	32RTPWS43UBB03L1	32RTPWS43UBB03L1

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	56	57	58	59	60
Data	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/14
Local					
Equipamento	Sandvik DS211	Atlas Copco Boomer 181	Atlas Copco Boomer 181	Atlas Copco Boomer 181	Atlas Copco Boomer 181
Martelo	HLX5	COP1838	COP1838	COP1838	COP1838
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,176	0,205	0,216	0,221	0,201
Numero de afiações por bit (und)	6,5	5,2	5,1	4,9	5,3
Diametro de furação (mm)	43	43	43	43	43
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	106830	106795	44740	94819	90590
BIT (m/und)	427	445	407	395	431
VARA (m/und)	3237	3051	2796	3161	3484
UNIÃO (m/und)	5935	6282	8948	5578	6471
SHANK (m/und)	5935	6282	8948	5578	6471
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+3	3+2	3+2	3+2	3+2
Roscas (n/a)	R32	SR35	SR35	SR35	SR35
Secção de varas (mm)	H35	H35	H35	H35	H35
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	160	160
Pressão de rotação (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	9	9	9	9	9
RPM (rpm)	265	271	271	271	271
Tipo de rocha	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura
Abrasiveidade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	44%	37%	33%	30%	36%
Perda botões bit	31%	28%	30%	34%	32%
Perda material (no circuito ou terreno)	6%	10%	9%	7%	6%
Quebra na coluna de furação	19%	25%	28%	29%	26%
Encabadouro	90516098	90516098	90516098	90516098	90516098
União	90515737	90515737	90515737	90515737	90515737
Vara	5738-3532-31DU	90514160	90514160	90514160	90514160
Bit	32RTPWS43UBB031L	90516546	90516546	90516546	90516546

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	61	62	63	64	65
Data	nov/14	dez/14	jan/15	fev/15	mar/15
Local					
Equipamento	Atlas Copco Boomer 181	Atlas Copco Boomer 181	Sandvik DS211	Sandvik DS211	Sandvik DS211
Martelo	COP1838	COP1838	HLX5	HLX5	HLX5
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,190	0,207	0,200	0,191	0,198
Numero de afiações por bit (und)	6,9	5,3	5,6	5,5	5,8
Diametro de furação (mm)	43	43	43	43	43
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	115386	98630	110117	107201	108099
BIT (m/und)	444	395	393	447	400
VARA (m/und)	3846	3653	3441	3153	3003
UNIÃO (m/und)	7212	7587	5506	5360	7721
SHANK (m/und)	7212	7587	5506	5360	7721
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+2	3+2	3+2	3+2	3+2
Roscas (n/a)	SR35	SR35	R32	R32	R32
Secção de varas (mm)	H35	H35	H35	H35	H35
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	160	160
Pressão de rotação (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	70	70
Pressão de água (bar)	9	9	9	9	9
RPM (rpm)	271	271	265	265	265
Tipo de rocha	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura
Abrasiveidade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	41%	37%	42%	44%	40%
Perda botões bit	29%	31%	30%	29%	31%
Perda material (no circuito ou terreno)	7%	7%	7%	8%	6%
Quebra na coluna de furação	23%	25%	21%	19%	23%
Encabadouro	90516098	90516098	90516098	90516098	90516098
União	90515737	90515737	90515737	90515737	90515737
Vara	90514160	90514160	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU
Bit	90516546	90516546	32RTPWS43UR09M	32RTPWS43UR09M	32RTPWS43UR09M

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	66	67	68	69	70
Data	abr/15	mai/15	jun/15	jul/17	ago/17
Local					
Equipamento	Sandvik DS211	Sandvik DS211	Sandvik DS211	Sandvik DD422	Sandvik DD422
Martelo	HLX5	HLX5	HLX5	HLX5	HLX5
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,190	0,196	0,207	0,530	0,601
Numero de afiações por bit (und)	6,6	6	5,1	0,9	1,3
Diametro de furação (mm)	43	43	43	51	51
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	90148	77691	78092	31685	29562
BIT (m/und)	410	370	390	220	202
VARA (m/und)	3919	3700	3254	1378	1105
UNIÃO (m/und)	5303	7769	4881	4526	6848
SHANK (m/und)	5303	7769	4881	2437	2935
Configuração de bit (n/a)	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face convexa, botões R	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3+3	3+3	3+3	3+2	3+2
Roscas (n/a)	R32	R32	R32	R35	R35
Secção de varas (mm)	H35	H35	H35	H 35	H 35
Pressão de percussão (bar)	160	160	160	180	180
Pressão de rotação (bar)	70	70	70	50-80	50-80
Pressão de avanço (bar)	70	70	70	40-60	40-60
Pressão de água (bar)	9	9	9	3	3
RPM (rpm)	265	265	265	189	189
Tipo de rocha	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura
Abrasividade	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia	Intermédia
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	41%	39%	37%	2%	3%
Perda botões bit	29%	30%	31%	6%	8%
Perda material (no circuito ou terreno)	7%	7%	7%	52%	61%
Quebra na coluna de furação	23%	24%	25%	40%	28%
Encabadoiro	90516098	90516098	90516098	5488-20150-00	5488-20150-00
União	90515737	90515737	90515737	CM38	CM38
Vara	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5738-3532-31DU	5788-3535-49	5788-3535-49
Bit	32RTPWS43UR03L1	32RTPWS43UR03L1	32RTPWS43UR03L1	35RTPWS51BB03L1 MG10	35RTPWS51BB03L1 MG10

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).

Cenário	71	72	73	74	75	76
Data	set/17	out/17	mai/16	jun/16	jul/16	ago/16
Local						
Equipamento	Sandvik DD422	Sandvik DD422	Atlas Copco Boomer XL3C	Atlas Copco Boomer XL3C	Atlas Copco Boomer XL3C	Atlas Copco Boomer XL3C
Martelo	HLX5	HLX5	COP1838	COP1838	COP1838	COP1838
Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)	0,624	0,718	0,251	0,271	0,199	0,198
Numero de afiações por bit (und)	0,3	2,6	1,9	0,5	3,5	3,7
Diametro de furação (mm)	51	51	45	45	45	45
Sentido furação (n/a)	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Metros furados (m)	31272	27459	13747	17641	19311	18221
BIT (m/und)	190	184	277	199	392	387
VARA (m/und)	1002	832	1578	1432	2149	2145
UNIÃO (m/und)	7931	9153	1249	1321	2644	2145
SHANK (m/und)	3012	3432	3347	3001	4128	4088
Configuração de bit (n/a)	Face plana, botões R	Face plana, botões R	Face plana, botões SB	Face plana, botões SB	Face convexa, botões SB	Face convexa, botões SB
Corpo do bit (n/a)	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso
Furos de limpeza na face do bit (und)	3 + 2	3 + 2	2 + 2	3 + 2	3 + 2	3 + 2
Roscas (n/a)	R35	R35	R32	R32	R32	R32
Secção de varas (mm)	H 35	H 35	H 35	H 35	H 35	H 35
Pressão de percussão (bar)	180	180	180	180	180	180
Pressão de rotação (bar)	50-80	50-80	45-55	45-55	45-55	45-55
Pressão de avanço (bar)	40-60	40-60	50-60	50-60	50-60	50-60
Pressão de água (bar)	3	3	4	4	4	4
RPM (rpm)	189	189	205	205	205	205
Tipo de rocha	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura	Dura
Abrividade	Intermédia	Intermédia	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Condição da rocha	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida	Fraturada / partida
Perda diam. bit	3%	3%	20%	3%	29%	35%
Perda botões bit	7%	7%	24%	1%	15%	19%
Perda material (no circuito ou terreno)	45%	22%	5%	0%	10%	12%
Quebra na coluna de furação	45%	68%	51%	96%	46%	34%
Encabadouro	5488-20150-00	5488-20150-00	5488-1762-00	5488-1762-00	5488-1762-00	5488-1762-00
União	CM38	CM38	CM38	CM38	CM38	CM38
Vara	5788-3535-49	5788-3535-49	5788-3532-49	5788-3532-49	5788-3532-49	5788-3532-49
Bit	35RTPWSS1R03LI MG10	35RTPWSS1R03LI MG10	32RTPWS45BB03L	32RTPWS45BB03L	32RTPWS45BB23L	32RTPWS45BB23L

Anexo 3 – Registo dos dados de cada cenário ensaiado (continuação).



## Technical specifications

### Dimensions and weight

Weight	175 kg (386 lb)
Length without shank adapter	1 008 mm (3 ft 3.6 inch)
Width including connectors	251 mm (9.9 inch)
Height	223 mm (8.8 inch)
Height over drill center	88 mm (3.5 inch)

### Impact ratings

Impact power (maximum)	18 kW (24 hp)
Input power to rock drill (maximum)	31 kW (41.6 hp)
Hydraulic pressure (maximum)	230 bar (3 336 psi)
Flow rate	75 - 92 L/min (2.6 - 3.2 cfm)
Impact frequency	60 Hz

### Rotation motors

Type	05 (100 cc)	06 (125 cc)	07 (160 cc)
Rotation range	0 - 340 rpm	0 - 275 rpm	0 - 215 rpm
Torque (maximum)	640 Nm (472 lbf-ft)	820 Nm (605 lbf-ft)	1 000 Nm (737 lbf-ft)
Working pressure (maximum)	210 bar (3 046 psi)	210 bar (3 046 psi)	210 bar (3 046 psi)
Oil consumption	75 L/min (2.6 cfm)	75 L/min (2.6 cfm)	75 L/min (2.6 cfm)

### Flushing flow and pressure

Flushing water pressure (maximum)	25 bar (362.6 psi)
Lubricating air consumption at 2 bar (29 psi)	5 L/s (0.6 cfm)
Flushing water consumption*	55 - 120 L/min (2 - 4.3 cfm)

\* Flushing water consumption depends strongly upon hole diameter, bit type, drill rod size and rock hardness. The figures above are typical values for spherical button bits in granite 200 Mpa (36,250 psi)

### Service kits

Seal kit	3115 9170 91
Minor preventive maintenance kit	3115 9238 93
Major preventive maintenance kit	3115 9238 94

### Shank adapters

	Drifting	Ex tension drilling
R32	403 - 09101.10	403 - 09103.10
R38	404 - 09101.10	404 - 09103.10
T38	435 - 09101.10	435 - 09103.10
Magnum SR 38	427 - 09101.10	427 - 09103.10

## Anexo 4 – Especificações COP1838HD.

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.

## Technical specifications

### Rock drill

	COP 1638HD+	COP 1838HD+
Shank adapter	R32/R38/T38	R32/R38/T38
Height over drill centre	88 mm	88 mm
Length without shank	1 008 mm	1 008 mm
Impact power	16 kW	18 kW
Impact rate	60 Hz	60 Hz
Hydraulic pressure	200 bar	230 bar
Rotation system	Separate rotation	Separate rotation
Rotation speed	0-340/0-215 rpm	0-340/0-215 rpm
Rotation torque, max	640/1 000 Nm	640/1 000 Nm
Lub. air consump. at 2 bar	5 l/s	5 l/s
Water consumption	40-120 l/min	40-120 l/min
Weight	175 kg	175 kg
Sound level	<106 dB(A)	<106 dB(A)

### Feed

	BMH 2800	BMH 2831	BMH 2837	BMH 2843	BMH 2849
Total length	4 677 mm	5 287 mm	5 897 mm	6 507 mm	
Drill rod length	3 090 mm	3 700 mm	4 310 mm	4 920 mm	
Hole depth	2 795 mm	3 405 mm	4 015 mm	4 625 mm	
Weight, incl. drill	475 kg	495 kg	525 kg	540 kg	
Feed force	150 kN	150 kN	150 kN	150 kN	

### Boom

- Boom ..... BUT 28
- Feed extension ..... 1 250 mm
- Boom extension ..... 1 250 mm
- Parallel holding ..... complete
- Feed roll-over ..... 36°
- Max. lifting angle ..... +65°/-30°
- Max. swinging angle ..... +45°/-25°
- Weight, boom only ..... 1 750 kg

### Air system

- Electronically driven screw compressor ..... Atlas Copco LE7
- Capacity, max at 7 bar ..... 12.5 V/s
- Air pressure gauge

### Water system

- Electronically driven water booster pump ... Lowara 10SV13F055
- Water booster pump max capacity at 13.5 bar ..... 100 l/min
- Min water inlet pressure ..... 2 bar
- Water flow guard

### Control system

- Direct hydraulic Control System, DCS
- Basic functions such as anti-jamming included

### Drilling system

- Rock drill lubrication warning kit
- Big hole drilling system
- Mining (heavy duty) centralisers

### Electrical system

- Total installed power ..... 125 kW
- Main motors ..... 2 x 55 kW

- Voltage ..... 380-1 000 V
- Frequency ..... 50-60 Hz
- Starting method ..... star/delta (1 000 V direct start)
- Thermal overload protection for electric motors
- Percussion hour meter
- Digital voltmeter/amperage meter in electric cabinet
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Transformer ..... 3.9 kVA
- Cable reel diameter ..... 660/1 395 mm

### Hydraulic system

- Hydraulic pumps ..... 2 separate units, one for each boom
- Pumps unloaded at start
- System pressure, max ..... 150-230 bar
- Hydraulic oil tank, volume max/min ..... 195 l
- Oil temperature gauge on oil tank
- Electrical oil filling pump
- Oil filter indicator
- Water cooled oil
- Filtration ..... 16 µm
- Mineral hydraulic oil
- Two operator control panels

### Carrier

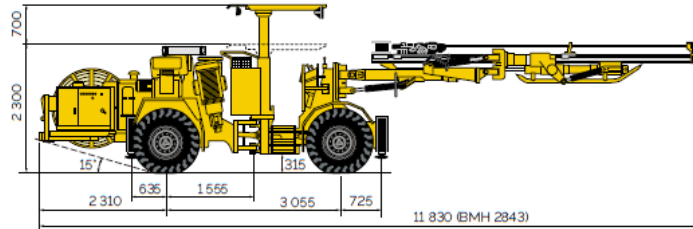
- Deutz TCD3.6 L4, 4-cylinder water-cooled diesel engine, Chinese Stage III
- Power rating at 2 300 rpm ..... 55.4 kW (75 hp)
- Torque at 1 300 rpm ..... 390 Nm
- Articulated steering ..... ±41° steering angle
- Fixed seat for tramping
- Four-wheel drive
- Hydrostatic power steering system
- Hydrodynamic transmission ..... Clark 12 000
- Front axle ..... Dana 123
- Rear axle ..... Dana 123, +6° oscillation
- Automatic differential lock on rear axle
- Tyres ..... Michelin 12.00 x R20
- Clearance outside axles ..... 15"
- Hydraulic jacks, front ..... 2 extendable
- Hydraulic jacks, rear ..... 2
- Service brakes ..... 2 separate circuits
- Emergency and parking brakes ..... SAHR
- Fuel tank, volume ..... 60 l
- Silencer
- Electric system ..... 24 V
- Batteries ..... 2 x 70 Ah
- Tramping lights ..... LED 8 x 25W, 24V DC
- Working lights ..... LED 4 x 50W, 24V DC
- Adjustable fire extinguisher bracket
- Central lubrication system
- Spirit level
- Gradeability at max. load on drive wheels ..... 14
- Horn, beacon and reverse alarm

## Anexo 5 – Especificações Boomer 282.

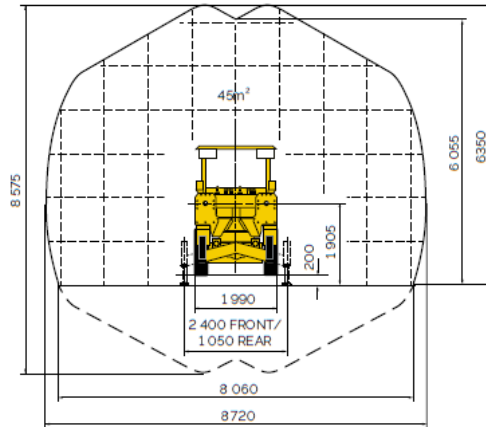
## Technical specifications

### Measurements

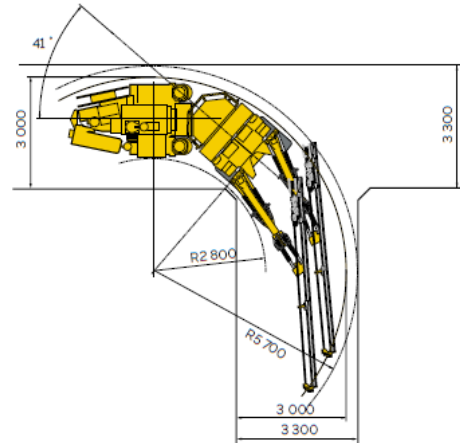
#### Side view



#### Coverage area



#### Turning radius



#### Dimensions

mm	Parameter	Value
	Width	1 990
	Height with cabin	3 050
	Height roof up/down	3 000/2 300
	Length with BMH 2343 feeds	11 830
	Ground clearance	315

#### Tramming speed

km/h	Condition	Value
	On flat ground (rolling resistance 0.05)	>12.5

#### Weight

gross weight, depending on configuration		
kg	Total	18 300
	Boom side	12 800
	Engine side	5 500

#### Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension, mm²	Diameter, mm	Length, m
380-550 V	Buflex	3x120+3G25+2x15	46	115
440-550 V	Buflex	3x95+3G16+2x15	45	120
575 V	Buflex	3x70+3G16+2x15	39	140
660-690 V	Buflex	3x50+3G10+2x15	33	140
1.000 V	Buflex	3x50+3G10+2x15	33	140

Recommendations are given for surrounding temperature of 40 °C and up to altitude of 2 000 m

### Anexo 5 – Especificações Boomer 282 (continuação).

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.

Model	Motor power		Capacity at 7 barg pressure		Pressure range	Compressor Net weight		Cooler Module Net weight	
	kW	hp	m <sup>3</sup> /min	cfm		kg	lbs	kg	lbs
CTN2B 5,5 EA	5,5	7,5	0,73	25,8	4 - 13	114	251	-	-
CTN2B 5,5 E + EA	5,5	7,5	0,73	25,8	4 - 13	107	236	15	33
CTN2B 7,5 EA	7,5	10	1,05	37	4 - 13	129	284	-	-
CTN2B 7,5 E + EA	7,5	10	1,05	37	4 - 13	121	267	15	33
CTN3B 7,5 EA	7,5	10	1,10	39	5 - 13	200	441	-	-
CTN3B 11 EA (A)	11	15	1,65	58	5 - 13	265	584	-	-
CT6B 15 EA (A)	15	20	2,30	81	3 - 13	310	683	-	-
CT6B 18,5 EA (A)	18,5	25	2,80	99	3 - 13	325	717	-	-
CT6B 22 EA (A)	22	30	3,30	117	3 - 13	330	728	-	-
CT12B 30 EAA	30	40	4,80	170	3 - 13	410	904	-	-
CT12B 37 EAA**	37	50	4,80	170	10 - 13	450	992	-	-
CT12B 37 + EAA	37	50	6,00	212	3 - 13	500	1,102	120	265
CT25B 45 E + EAA	45	60	7,95	281	3 - 13	800	1,764	120	265
CT25B 55 E + EAA	55	75	9,40	332	3 - 13	800	1,764	120	265
CT25B 75 E + EAA	75	100	12,2	431	3 - 13	850	1,874	120	265
CTN2B 8 HA	8	10	1,05	37	4 - 13	57	126	-	-
CTN3B 8 HA	8	10	1,10	39	5 - 13	140	309	-	-
CTN3B 11 HA	11	15	1,60	57	5 - 13	150	331	-	-
CT6B 23 HA (A)	23	31	3,50	124	3 - 13	190	419	-	-
CT12D 30 HAA	30	40	5,00	177	3 - 13	240	529	-	-
CT12D 50 H	50	67	6,80	240	3 - 13	210	463	-	-
CT12D 50 H + HAA	50	67	6,80	240	3 - 13	380	838	80	176
CT25D 75 H	75	100	11,7	413	3 - 13	455	1,003	-	-
CT25D 75 H + HAA	75	100	11,7	413	3 - 13	455	1,003	80	176

NOTES

\*\* Available only 10 - 13 bar version

Capacity and power consumption measure according to ISO 1217.

### Anexo 6 – Especificações compressores CTN.

Fonte: Gardner Denver Oy.

**HYDRAULIC ROCK DRILL**

Type of rock drill	RD525 (TS2-236)
Percussion power	25 kW
Impact frequency	95 Hz
Stabilizer	Hydraulic
Rotation speed	Max. 400 rpm (with OMS80)
Rotation torque	400 Nm (with OMS80)
Hole size	43 – 64 mm
Hole size (reaming)	76 – 127 mm
Recommended rod	T38–H35–R32 T38–R39–R35
Shank adapter	T38
Weight	225 kg

**DRILLING FEED**

Type of feed	TFI500-12	TFI500-14	TFI500-16	TFI500-18
Feed force	max. 25 kN	max. 25 kN	max. 25 kN	max. 25 kN
Feed extension	1 650 mm	1 650 mm	1 650 mm	1 650 mm
Total length (mm)	5 355	5 965	6 575	7 185
Hole length (mm)	3 440	4 050	4 660	5 270
Rod length (mm)	3 700	4 305	4 915	5 525
Net weight (kg)	500	530	560	590

**BOOM**

Type of boom	SB60 / SB60i
Parallel coverage	54 m <sup>2</sup>
Parallelism	Hydraulic / electric
Boom extension	1 200 mm
Boom weight, net	2 250 kg
Roll-over angle	358°
Bolt hole drilling	Yes

**HYDRAULIC SYSTEM**

Powerpack	HPP575 (2 x 75 kW)
Percussion and feed pump	110 cc
Rotation pump	60 cc
HVAC (Heating, Ventilation and Air conditioning) pump	26 cc
Filtration (pressure / return)	20 µ / 10 µ
Oil tank volume	270 liters
Oil tank filling pump	Electric
Cooler for hydraulic oil	OW30 oil-to-water (2 x 30 kW)

**DRILLING CONTROL SYSTEM**

Control system type	SICA
Drilling control modes	Intelligent Torque control / Feed percussion / manual
Upgradeable automation levels	
Comprehensive diagnostic system	
Electronic joystick controls	
15" full color touch screen	
Cable kit for spare part programming	
Safety lock for movement prevention	2 switches

**ELECTRICAL SYSTEM**

Standard voltage	380 – 1 000 V (±10%)
Total installed power	170 – 200 kW
Main switch gear	MSE20
IP classification	Specification TS2-132
Starting method	Direct on line 380 V - 1 000 V
Automatic cable reel	TCR4CD with spooling system
Cable reel control	Operator station and remote control at rear machine
Front lights	6 x 50 W LED (24V) >125lx, 20 000 lm; 6 000 k
Rear lights	2 x 50 W LED (24V) and 2 x 17 W LED (24V) 8 000 lm; 6 000 k
Parking rear brake / park lights	2 x Red LED
Stair and service lights	LED (24 V)
Amber flashing light	LED (24 V)
Electric quality monitoring	Voltage, Amperage, Power, Pf Energy, Phase-sequence
Motor protection	Intelligent control with power maxi- mization
Extra low voltage supply	Continuous 80 A (27 VDC) with bat- tery back-up and management

**AIR AND WATER SYSTEM**

Flushing of holes	By water
Water booster pump	WBP2 HP
Water pump capacity	185 l/min
Inlet pressure	2 - 7 bar
Flushing water pressure	10 - 15 bar
Shank lubrication device	SLU2 (air / oil mist)
Rock drill oil consumption	180 - 250 g/h
Rock drill air consumption	250 - 350 l/min
Air compressor	CTN10, 1.0 m <sup>3</sup> /min (7 bar)
Air and water outlets	Quick coupling

**OPERATOR'S SAFETY CABIN**

Safety cabin certification	FOPS / ROPS (ISO 3449 / 3471)
Operation	Seated tramming Standing and seated drilling
Sound pressure level	According to EN791, ISO4872, ISO1120. Operator station: 69 db(A)
Vibration level	According to EN791, ISO2631-1
Seat	Fully adjustable seat (tramming and drilling)
Optimized dust level control via air circulation	
Air conditioning	EU6/7 filtering capacity
Cabin heating	During tramming and drilling
Electricity outlets	1 x 12 VDC and CD player readiness
Stairs and indoors lights	LED
Audio system	CD / MP3 player with radio
Boot washer	At each cabin entrance
Safety laminated acoustic windows	

**Anexo 7 – Especificações DS422.**

CARRIER	
Type of carrier	C400D (frame-steered)
Carrier articulation	± 40°
Rear axle oscillation	± 8°
Ground clearance	330 mm
Diesel engine	QSB4.5, 119 kW, Tier 3, Stage IIIA
Transmission	Hydrostatic
Axles	Dana Spicer
Tires	14.00-24 PR28
Brakes	SAHR type, fail-safe wet disc brakes
Tramming speed	12 km/h (limited)
Gradeability / sideways tilt	Max.15° / 5°
Fuel tank	100 liters
Hydraulic jacks	2 x SJ500 (front) 2 x SJ600 (rear)
Brake release	Manual hand pump
Wheel chocks and holders	2 Sets
Centralized greasing points	Specification 5-2110
Manual greasing system	Specification 5-2110
Hand held fire extinguisher	1 x 7.7 or 9 kg (type ABC)
Tramming alarm	Standard
Colour scheme	Sandvik
Toolboxes and first aid kit	

#### OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES

<b>Rock drill</b>	
*Type of rock drill	HLX5 instead of RD525 RD520 instead of RD525
Power extractor	for RD525 or RD520
<b>Feed</b>	
*Feed length	14', 16', 18'
*Telescopic feed	TFX6/12, TFX8/14, TFX10/16
Rod retainer	TRR1 incl. safety wire, add 35 mm length of the feed
Two rods system	TRS included TRR1 with safety wire.
<b>Hydraulic system</b>	
*Powerpack	HPP555 (55 kW) with HLX5 or RD520
Vacuum pump for hydraulic system	
By pass oil filter	
<b>Drilling control system</b>	
Automation package	Silver, gold, platinum
Access detector and protector	Mandatory in Europe (TS2-211)
<b>Electric system</b>	
*Optional voltage	1 000 V (50 or 60 Hz) with Direct-On-Line starter
*Electric cables	Specification TS2-121
Ground fault and overcurrent protection	VYK
Dewatering pump outlet	Site voltage 380 - 690 V
Multivoltage basic	380 - 440 V, 690 V 50 Hz
Multivoltage pro	380 - 1 000 V, 50 or 60 Hz
Electric current draw reducer unit	
Remote controlled spot lights	2 pcs
Indicator lights for jacks up / down	Sensors in the jacks
Earth continuity control	1 wire pilot circuit with remote reset / disconnect
Auxiliary outlet	1 x 110 V or 1 x 230 V, 16 A
Battery jump start	Optional
<b>Air and water system</b>	
Air mist flushing kit	IP5 air cleaner and flow control
*End of hole air flushing	Including CT28 air compressor
Water hose reel with water hose	THR2.5E with 38 mm (1 ½"), 65 m

#### OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES

<b>Cleaning system</b>	
HP system with reel	Up to 180 bar
<b>Greasing systems</b>	
Automatic system	Lincoln (complete)
<b>Operator's safety cabin</b>	
*Low height unit	Height 3 050 mm (incl. tramming camera)
Tramming camera	Rear and side
<b>Fire suppression system</b>	
Additional fire extinguisher	1 x 7.7 or 9 kg (type ABC)
Manual or automatic system	Ansul, 6 nozzles
Fire suppression system	FS1000 (above 0°C)
<b>Carrier</b>	
*Diesel engine	QSB4.5, 122 kW, Tier4F, Stage IV
*Foam filled tires	4 pcs
Fast filling system	Complete
Rod rack	On carrier side (Max. 400 kg)
<b>Extra items</b>	
Spare rock drill	RD525, RD520 or HLX5
Spare wheel assembly	14.00-24 PR28 or foam filled tire
Warranty extension	One year (excl. Kazakhstan)
Special tools for rock drill	Field kit, complete set
Documentation	Extra, Catbase, Link one manuals
*) replaces standard feature	

#### EXTREME ENVIRONMENT PACKAGES (TS2-166)

High temperature package
Extreme high temperature package
Anti-freezing package
High altitude package
Harsh water flushing package
Harsh water environment package
Market area specific packages for Australia, Europe, SAS and USC

#### AUTOMATION SILVER PACKAGE

SB60 boom with hydraulic parallel holding
Display of feed angles, drilling depth and penetration rate
Presettable angle and depth indication for reference hole
Counter and recommended change intervals for bits and tools

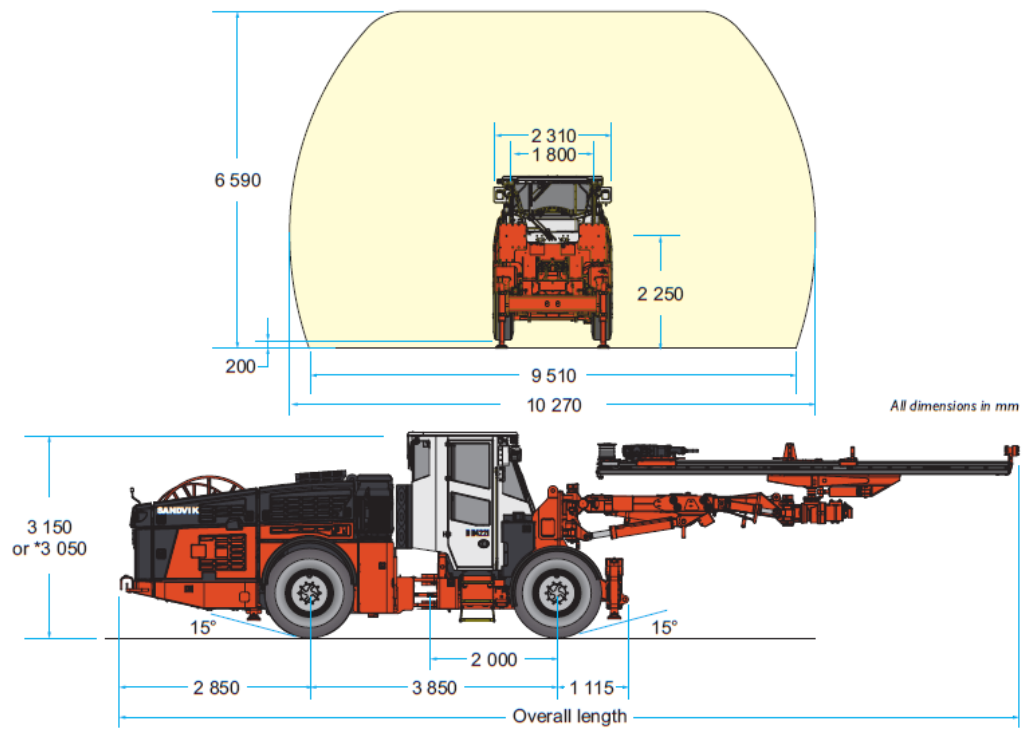
#### AUTOMATION GOLD PACKAGE

Automation Silver package content
SB60i boom with electronic parallel holding
Drill plan visualization onboard
Display of drill bit location vs. given drill plan
iSure office tool for planning of drilling, charging and blasting
Drill rig suitable with various navigation methods
Advanced MWD data collection with analyses tool (iSure)

#### AUTOMATION PLATINUM PACKAGE

Automation Silver and Gold package content
SB60i boom with electronic parallel holding
Hole end correction from different start point
Semi-automatic boom movements
Automatic boom movements

### Anexo 7 – Especificações DS422 (continuação).



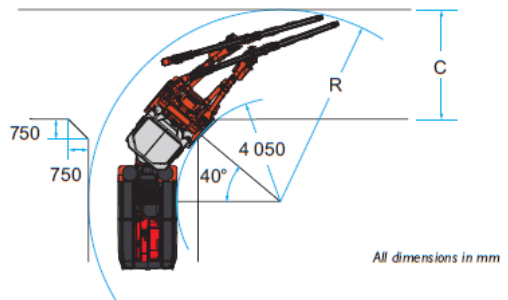
All dimensions in mm

All dimensions in mm

\*) Dimension for low height cabin - option

Type of feed	Overall length	Overall length (WITH TRR1)
TF500-12'	13 250 mm	13 285 mm
TF500-14'	13 450 mm	13 485 mm
TF500-16'	13 900 mm	13 935 mm
TF500-18'	14 650 mm	14 685 mm
TFX6/12	13 150 mm	13 150 mm
TFX8/14	13 300 mm	13 300 mm
TFX10/16	13 500 mm	13 500 mm

Type of type	Radius (R)	T-cross (C)
TF500-12'	7 000 mm	3 870 mm
TF500-14'	7 150 mm	4 020 mm
TF500-16'	7 400 mm	4 200 mm
TF500-18'	7 550 mm	4 250 mm



All dimensions in mm

**Anexo 7 – Especificações DS422 (continuação).**

**Fonte:** Sandvik Mining and Rock Technology.



## Technical specifications

● - Standard ○ - Option

### Drilling system

COP 1638HD+	●
COP 1838HD+	●
Big hole drilling kit	○
Hole blowing kit	○
Rock drill lubrication warning kit	●
Drill stop*	○
*Mandatory for CE	

### Boom

Boom BUT 28 SL	●
Automatic boom lubrication kit, rear part of boom	○
Boom suspension system	○
Over-ride for boom parallel holding system	○
Swing arm hose guide	○

### Feed

BMH 283L, drill steel length 3 090 mm	○
BMH 2837, drill steel length 3 700 mm	○
BMH 2840, drill steel length 4 000 mm	○
Telescopic feed BMHT 2000-series	○
Extension drilling set BSH 110 (BMH feeds only)	○
Bulk head style hose tree on feeds	○
Mining (heavy-duty) centralisers	○
Dowel spacer BMH2000	○

### Hydraulic system

Oil temperature meter	●
Electrical oil filling pump	●
Oil filter indicator	●
Low oil level indicator	●
Water cooled oil	●
Filtration: 16 µm	●
Mineral hydraulic oil	●
Hydraulic oil thermostat	○
Biodegradable hydraulic oil	○

### Control system

DCS2	●
Feed Angle Measurement, FAM1	○

### Air/water system

Compressor: Epiroc LE7	●
Hydraulically water booster pump capacity at 12 bar: 66 L/m	●
Water hose reel, incl water hose	○
Aggressive water resistant flush	○

### Cabin

FOPS and WUG (60kJ) approved airconditioned cabin, noise level <85 dB(A)	●
Media player	●
Fixed seat	●
Air fan for operator	○
Air condition, cooling only	●
12 V outlet	●

### Protective roof

Outlet for communication radio, 12 V	●
--------------------------------------	---

### Electrical system

Total installed power: 59 kW	●
Main motors: 55 kW	●
Voltage: 380-1 000 V	●
Frequency: 50-60 Hz	●
Starting method: star/delta (1 000 V direct start)	●
Electronic overload protection for electric motors	●
Percussion hour meter	●
Digital voltmeter/ampere meter in electric cabinet	●
Phase sequence indicator	●
Earth fault indicator	●
Battery charger	●
Transformer: 4 kVA	●
Cable reel	●
Electric cable type or Bufløk	○
Plug PC4/5	○
Socket PC4/5	○
Switch gear	○
Electrical outlet for accessories, 16 A (CEV) 32 A (CE) (380-690 V)	○
IP56 rating on all electrical cabinet boxes (Except diesel starter motor and alternator)	○

### Carrier

Deutz 4-cylinder, TD 2011 L04 diesel engine	●
Power rating at 2 600 rpm: 55 kW (73 hp)	●
Articulated steering: ±41° steering angle	●
Fixed seat for tramping	●
Four-wheel drive	●
Hydrostatic transmission	●
Front axle: Dana 112	●
Rear axle: Dana 112, ±6° oscillation	●
Tyres: 10xR15	●
Clearance outside axles: 12" rear	●
Hydraulic jacks, front: 2 extendable	●
Hydraulic jacks, rear: 2	●
Service brakes: 2 separate circuits	●
Emergency and parking brakes: SAHR	●
Fuel tank, volume: 60 l	●
Exhaust catalyser	●
Silencer	●
Electric system: 24 V	●
Batteries: 2x12 V, 70 Ah	●
Tramping lights: 4x70 W	●
Working lights: 6x200 W, 230 V	●
Brake lights	●
Fire extinguisher	●
Central lubrication system	●
Spirit level	●
Gradeability at max. load on drive wheels: 14	●
Horn, beacon and reverse alarm	●
Manual lubrication kit	●
Rig washing kit	●
Ni-Cr plated piston rods (limitations exist)	●
Warning stripes	●
Fire suppression system ANSUL (manual or Checkfire)	○

## Anexo 8 – Especificações Boomer S1L.



## Technical specifications

● - Standard ○ - Option

### Drill rods

Dimension	Minimum hole diameter
R38-H35-R32	45 mm
R38-H35-SR35 Speedrod	45 mm
T38-H35-R32	45 mm
T38-H35-R32 Speedrod	45 mm
T38-H35-SR35	45 mm
T38-H35-R35	48 mm
T38-H35-R35 Speedrod	48 mm
T38-R39-R35	48 mm
T38-R39-SR35	45 mm
T38-R38-R35	48 mm

### Extension rods for injection drilling/RAS

Dimension	Minimum hole diameter
R32 Speedrod	51 mm
T38 Speedrod	64 mm

### Shank adapters

Thread	Diameter	Length
R38	38 mm	435 mm
T38	38 mm	435 mm
R32	38 mm	525 mm
T38*	38 mm	525 mm

\*Intended for RAS and extension drilling with BSH 110

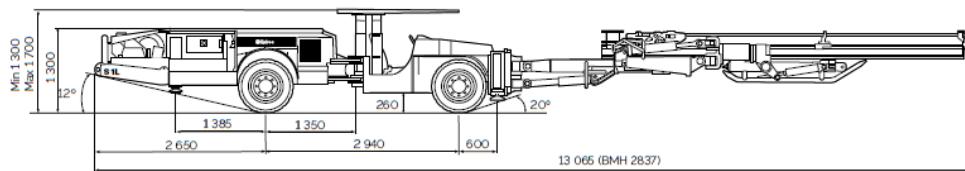
### Couplings

Thread	Diameter	Length
R38	55 mm	170 mm
T38	55 mm	190 mm

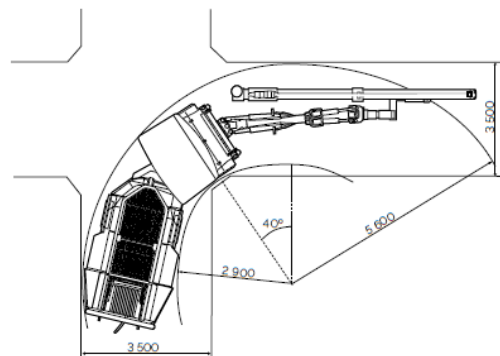
### Tramming speed

On flat ground (rolling resistance 0.05)	>15 km/h
On incline 1:8	> 5.5 km/h

Dimensions in millimeters



Side view.



Turning radius.

### Dimensions

Width	2 400 mm
Height cabin	1700 mm
Height roof up	1300/1700 mm
Length with BMH 2837 feeds	13 065 mm
Ground clearance	260 mm
Turning radius outer/inner	5 600/2 900 mm

### Weight

Total	12 500 kg
Boomside	8 200 kg
Engine side	4 300 kg

### Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension, mm <sup>2</sup>	Diameter	Length
380-400 V	Buflex	3x70-3G16	39 mm	55 m
440 V	Buflex	3x70-3G16	39 mm	55 m
500-525 V	Buflex	3x50-3G10	33 mm	85 m
550-575 V	Buflex	3x50-3G10	33 mm	85 m
660-690 V	Buflex	3x35-3G10	33 mm	90 m
1 000 V	Buflex	3x35-3G6	29 mm	90 m

Recommendations are given for surrounding temperature of 40° C and up to a height of 2 000 m

### Noise and vibration

Operator sound pressure level in cabin, drilling, free field (ISO 11201)	75±3 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level working close to machine, drilling, free field	103±6 dB(A) re 20 uPa
Sound power level (ISO 3747), drilling, free field	123 dB(A) re 1 pW
Peak C-weighted instantaneous sound pressure level (EN16228)	Less than 130 dB
Vibration levels seated, drilling (ISO 2631-1) cabin	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>
Vibration levels standing, drilling (ISO 2631-1) cabin	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>

Coverage area.

## Anexo 8 – Especificações Boomer S1L (continuação).

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.

**HYDRAULIC ROCK DRILL**

Type of rock drill	HLX5 (TS2-232)
Percussion power	20 kW
Percussion pressure	Max. 220 bar
Percussion rate	67 Hz
Rotation speed	Max. 250 rpm (with OMS80)
Rotation torque	400 Nm (with OMS80)
Hole size (drifting)	43 - 64 mm
Hole size (cut hole)	76 - 127 mm
Recommended rod	T38 - Hex 35 - R32 T38 - Hex 35 - Alpha 330 T38 - Hex 35 - R35
Shank adapter	T38 / R32 / T45 (male)
Weight	210 kg
Length	960 mm
Profile height	90 mm
Inflating device for accumulator	Specification 2-9110

**DRILLING FEED**

Type of feed	Feed force	Total length	Hole length	Rod length	Net weight
TF508	25 kN	4 050 mm	2 220 mm	2 480 mm (8')	440 kg
TF510	25 kN	4 660 mm	2 830 mm	3 090 mm (10')	470 kg
TF512	25 kN	5 270 mm	3 440 mm	3 700 mm (12')	500 kg
TF514	25 kN	5 880 mm	4 050 mm	4 305 mm (14')	530 kg
TF516	25 kN	6 490 mm	4 660 mm	4 915 mm (16')	560 kg

**BOOM**

Type of boom	B26XLS-NV (TS2-257)
Parallel coverage	36 m <sup>2</sup>
Parallelism	Automatic hydraulic
Boom extension	1 700 mm
Feed extension	1 600 mm
Boom weight, net	2 010 kg
Roll-over angle	360°

**HYDRAULIC SYSTEM**

Powerpack	HPP555 (55 kW)
Filtration (pressure / return)	20 µ / 10 µ
Oil tank volume	160 liters (drilling)
Filling pump for hydraulic oil	Manual
Oil cooler (water actuated)	1 x OW30 (30 kW)
Hydraulic low level indicator	Stop drilling when the oil level in drilling tank is low
Safety shut down	Low water pressure, low air pressure, low oil level
Oil drilling safety temperature	Above 75°C
Tool set for hydraulic adjustment	Specification 2-9100

**DRILLING CONTROL SYSTEM**

Type of control system	THC561 (5-1020)
Operating principle	Hydraulic control
Manual boom control	Direct control Fully proportional Hydraulic parallelism
Drilling control	Adjustable collaring power Feed / percussion control Anti-jamming system
Automatic cycle	Stop and return automatics
Drilling reaming selector	Two rotation speeds can be preset
Drilling and boom movement inhibition	2 x switches and 1 x door interlock

**ELECTRIC SYSTEM**

Standard voltage	380 - 575 V (± 10%), 50 Hz
Total installed power	70 kW
Main switch gear	MSE-1JH
IP classification	Specification TS2-132
Starting method	Star delta starter 380 - 575 V
Automatic cable reel	TCR LPII with spooling system
Cable reel control	Operator station and rear of unit
Cable reel end switch	Automatic brake application before end of cable
Proximity detection ready	1 x power cable available in the operator compartment
Battery switch	1 x double pole lockable switch
Front working lights (combined working and driving)	2 x 35 W HID and 4 x 70 W (24 V)
Rear driving lights	2 x 70 W (24 V)
Amber flashing light	LED (24 V)
Operator station light	Standard
Sealed AGM batteries	2 x 12 V, 95 Ah

**AIR AND WATER SYSTEM**

Flushing of holes	By water
Water booster pump	WBP1 (4 kW)
Water pump capacity	33 l/min at 15 bar (input pressure = 4 bar)
Water pump inlet pressure	2 bar (Min.)
Flushing water pressure	10 - 15 bar
Shank lubrication device	SLU-1 (air / oil mist)
Air compressor	CTN16 (1.6 m <sup>3</sup> /min at 7 bar)
Rock drill oil consumption	180 - 250 g/h
Rock drill air consumption	250 - 350 l/min
Manual air flushing	1 x 60 liters air receiver

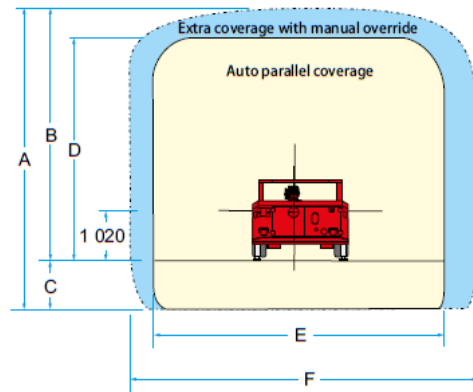
**OPERATOR'S SAFETY CANOPY**

Canopy certification	FOPS / ROPS (ISO 3449)
Unit height in tramming	High position : 1 950 mm Low position : 1 775 mm
Operation	Seated operations
Operator's seat	Ergonomic T-back seat
Sound pressure level EN 791	Operator station: 98 dB(A)
Fault finding device	QN panel

**Anexo 9 – Especificações DD211L.**

<b>CARRIER</b>		<b>OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES</b>	
Type of carrier	TCLP II (frame steered)	<b>Air and water system</b>	
Carrier articulation	± 43°	*Shank lubrication device	KVL10-1 (air/oil mist) with low level indicator
Rear axle oscillation	± 15°	Air mist flushing	External water / internal air, CTN16 + 2 x 60 liters air receivers With IP5 air cleaner
Ground clearance	300 mm	Air mine connection	2 x 60 liters air receivers
Diesel engine	Deutz BF4M2012 (74 kW, Tier 2)	End of hole air flushing	Hose and reel for accessories
Diesel engine control	Electronic, EMR	Pressurized air outlet	2 hooks
Exhaust catalyzer	Standard	Air / water hooks	32 mm (1 ¼"), 80 meters
Transmission	Hydrostatic, automotive	Water hose with hooks	38 mm (1 ½"), 60 meters
Wheel motor	4 x radial piston		
Tires	315/85 x 15	<b>Operator's safety canopy</b>	
Service brakes	Hydrostatic and positive braking	Screen protection	Specification TS2-062
Parking and emergency brakes	SAHR fail safe type wet disc brakes		
Neutral braking	Brakes applied when neutral position activated	<b>Cleaning system</b>	
Tramming speed	12 km/h (Horizontal) 5 km/h (14% = 1:7 = 8°)	HP system without reel	Up to 180 bar
Gradeability / sideways tilt	Max. 15° / 15°	HP system with reel	Up to 180 bar
Fuel tank	60 liters		
Tramming oil tank	50 liters	<b>Greasing systems</b>	
Carrier stabilization	Vertical (front and rear)	Centralized greasing points	Carrier
Brake release	Manual pump	Manual system	Greasing gun and cartridge with hose reel
Tramming alarm	Standard		
Wheel chocks and holder	2 pieces	<b>Fire suppression system</b>	
My fleet (FDM)	Basic	Spare hand held fire extinguisher	1 or 2 x 6 kg Type ABC 2 x 9 kg Type ABC 1 x 11 kg Type ABC
Document box	A3 format	Manual or automatic system	Ansul, 6 nozzles
Access point	Yellow reflective (stair and handle)		
Colour scheme	Sandvik	<b>Carrier</b>	
Documentation	2 x Operator's manual 2 x Maintenance manual 2 x Technical manual (in English only) 2 x Parts manual (in English only) PDF manuals	*Foam filled tires	4 pcs
		ABA brakes	Auto brake application on default
		*Lockable filler cap	Fuel and oil tanks
		My fleet (FDM)	Advanced
		Proximity interface	Specification TS2-381
		<b>Extra items</b>	
		Gate end box	
		Berg plug / Berg base	
		Spare rock drill	HLX5
		Spare wheel assembly	315/85 x 15 or foam filled tire
		Special tools for rock drill	
		Documentation	Extra paper, PDF manuals
		Warranty extension	One year (excl. Kazakhstan)
		Package: Country specific options	SAS (Specification TS2-155)
		Package: Extra safety	Specification TS2-275
		Package: *Harsh water	Basic or advanced (TS2-049)
		*) replaces standard feature	
<b>OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES</b>			
<b>Drilling feed</b>			
*Feed lengths	8', 10', 14', 16'		
*Telescopic feed	TFX6/12, TFX8/14		
<b>Boom</b>			
*Type of boom	B26S-NV boom B26XLF boom		
<b>Hydraulic system</b>			
*Filling pump for hydraulic oil	Electric		
Additional tramming HP filter	10 micron		
<b>Electric system</b>			
Electric cabinet	Protection door		
*Starting method	Soft starter 380 - 575 V only		
Electric cables	Specification TS2-121		
Ground fault and overcurrent protection	VYK		
Indicator light for jacks up	Sensors in the jacks		
Electric power interlock	Powerpack starts only when jacks are on ground		
Dewatering pump outlet readiness	Site voltage 380 - 575 V (Max. 11 kW)		
*Extra lighting halogen	4 x 70 W at canopy + search light		
*LED lights package	8 x 43 W LED, excl. additional lights		
*Extra lighting LED	4 x 43 W LED at the canopy + search light		

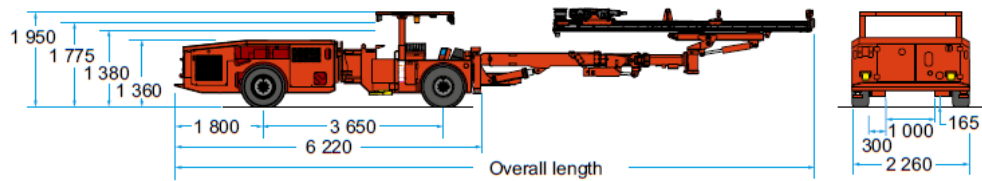
**Anexo 9 – Especificações DD211L (continuação).**



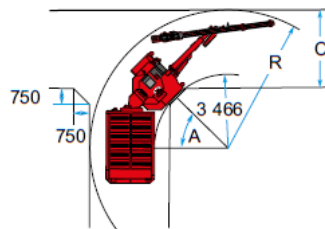
	A	B	C	D	E	F
DD211L with B26XLS-NV	7 040	5 900	1 140	5 200	6 800	8 150
DD211L with B26XLF	7 040	5 900	1 140	5 200	6 810	8 160
DD211L with B26S-NV	5 970	5 120	850	4 420	5 500	6 480

All dimensions in mm

	TF508	TF510	TF512	TF514	TF516	TFX6/12	TFX8/14
Overall length mm	12 450	12 450	13 000	13 220	14 110	12 535	12 535



All dimensions in mm



	Angle (A)	Radius (R)	T-cross (C)
DD211L (TF512)	mm 43°	7 065	4 000
DD211L (TF514)	mm 43°	7 110	4 130
DD211L (TF516)	mm 43°	7 240	4 150
DD211L (TFX6/12)	mm 43°	6 525	3 825
DD211L (TFX8/14)	mm 43°	6 600	3 880

**Anexo 9 – Especificações DD211L (continuação).**

**Fonte:** Sandvik Mining and Rock Technology.

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Compressor type	Capacity*			Installed motor power		Pressure**		Sound pressure level dB(A)	Weight	
	l/s	l/min	cfm	kW	hp	bar(e)	psig		kg	lbs
50 Hz version										
GAR 5	9.0	540	19.0	5.5	7.5	10	145	56	154	339
GAR 7	13.2	792	28.0	7.5	11	10	145	57	163	359
GAR 10	16.5	990	35.0	11	15	10	145	58	188	414
GAR 14	26.2	1572	55.5	15	20	10	145	64	193	425
60 Hz version										
GAR 5	8.5	510	18	5.5	7.5	10	145	56	154	339
GAR 7	12.9	774	27.3	7.5	11	10	145	57	163	359
GAR 10	16.6	996	35.2	11	15	10	145	58	188	414
GAR 14	22.3	1338	55.5	15	20	10	145	64	193	425

**Anexo 10 – Especificações compressores GAR.**

**Fonte:** Atlas Copco.

## Technical specifications

● - Standard ○ - Option  
**A** - Boomer WE3 **B** - Boomer XE3 **C** - Boomer XE4

Drilling system	A	B	C	Electrical system	A	B	C
COP 1800-series	●	●	●	Total installed power 237 kW, Main motors, Sf 115 3x75 kW	●	●	
COP 2200-series	○	○	○	Total installed power 297 kW, Main motors, Sf 1.3 3x95 kW**	○	○	
COP 3000-series				Total installed power 342 kW, Main motors, Sf 1.45 3x110 kW***	○	○	
COP 4000-series	○	○	○	Total installed power 422 kW, Main motors, Sf 1.3 4x95 kW**			●
COP MD20-series				Total installed power 482 kW, Main motors, Sf 1.45 4x110 kW***			○
Hole blowing kit	●	●	●	Voltage 380-1 000 V 50/60 Hz	●	●	
Water mist flushing, external water and air supply*	○	○	○	Voltage 690-1 000 V 50/60 Hz**	○	○	●
Rock drill lubrication warning kit	●	●	●	Voltage 1 000 V 50 Hz***	○	○	○
* Not in combination with COP 3038/COP 4038				Soft start (380-1 000 V)	○	○	
				Starting method, star/delta (380-690 V)	●	●	
<b>Boom</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Starting method, direct start (1 000 V)	●	●	●
BUT 45 L	●	●	●	Transformer 12 kVA	●	●	●
Service platform	○	○	○	Electronic overload protection for electric motors	●	●	●
Swingable basket for service platform	○	○	○	Digital voltmeter/amperage meter in electric cabinet	●	●	●
Retractable protective roof for service platform	○	○	○	Percussion hour meter on operator display	●	●	●
Automatic lubrication for positioning unit	○	○	○	Phase sequence and earth fault indicator	●	●	●
				Cable reel, diameter 1 600 mm	●	●	●
<b>Feed</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Electric outlet for accessories, 16 A (CE)/32 A (CB) (380-690 V)	○	○	○
BMH 6800-series 14 ft, 16 ft, 18 ft, 20 ft, 21 ft	●	●	●	Extra transformer 3-phase, 15 kVA (230/400 V outlet) (690-1 000 V)	○	○	○
Telescopic feed BMHT 6000-series (max 18 ft)	○	○	○	PC5 Plug	○	○	○
Extension drilling set BSH 110 (BMH feeds only)	○	○	○	Battery charger 2x60 A	●	●	●
Rod Handling System E, RHS E (BMH feeds only)	○	○	○	Dual controls for cable reel	●	●	●
				Stainless steel electrical enclosure	○	○	○
<b>AIR/watersystem</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	* Depending on selected rock drill			
Hydraulically driven screw compressor Atlas Copco GAR 5	●	●		** When equipped with COP3038			
Hydraulically driven screw compressor Atlas Copco GAR 30*	○	○		*** When equipped with COP4038			
Electrically driven screw compressor Atlas Copco GAR 30*	○	○	●				
Hydraulic water booster pump, max capacity at 15 bar boost 300 L/min. Minimum water inlet, 2 bar at 200 L/min**	●	●		<b>Carrier</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Hydraulic water booster pump, max capacity at 30 bar boost 400 L/min. Minimum water inlet, 2 bar at 400 L/min**	○	○	○	Deutz TCD 6.1 L06 Stage IV/Tier 4F (180 kW)	○	○	
Water hose (Ø2.0 inch 70 m)	●	●		Deutz TCD 2012 L06 Tier 3/Stage IIIA (155 kW)	●	●	
Water hose (Ø2.5 inch 90 m)	○	○	●	Deutz TCD 2013 L06 2 V Stage III A/Tier 3 (175 kW)			●
* Might require a larger electrical motor ** Depending on selected rock drill				Four-wheel drive	●	●	●
				Electric system 24 V	●	●	●
<b>Hydraulic system</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Batteries 2x125 Ah	●	●	●
Low oil level indicator	●	●	●	Jump start receptacles	○	○	○
Oil temperature gauge on oil tank, electronically supervised	●	●	●	Hose/cable guiding at water/cable reel	●	●	●
Filtration 16 µm	●	●	●	Manual differential lock on axles, limited slip on front axels	●	●	●
Oil filter indicator	●	●	●	Tires 14.00xR24	●	●	
Extra filtration package for water- and fine particle removal	○	○	○	Tires 16.00xR25 boom axle / tires 14xR24 steer axle			●
Mineral hydraulic oil	●	●	●	Clearance outside axles 15° rear, 15° front	●	●	●
Biodegradable hydraulic oil	○	○	○	Tramming lights 8x40 W LED, 24 V DC	●	●	●
Electrical oil filling pump	●	●	●	Working lights 4x150 W-6x80 W	●	●	●
Heater kit for hydraulic oil tank, diesel engine and electric motors	○	○	○	Illuminated stairs LED	●	●	●
Ni-Cr plated piston rods (limitations exist)	○	○	○	Fuel tank, volume 125 l	●	●	●
				Central lubrication system	●	●	●
<b>Control system</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Fire suppression system ANSUL (manual or automatic)	○	○	○
Epiroc Rig Control System (RCS 5)	●	●	●	Fire suppression system FORREX (automatic)	○	○	○
Two operator panels (one sitting and one standing)	○	○	○	Rig washing kit	○	○	○
Advanced Boom Control (ABC) Regular	●	●	●	Manual lubrication kit	○	○	○
Advanced Boom Control (ABC) Total	○	○	○	Boot washing kit	○	○	○
Automatic Rod Handling (RHS E)	○	○	○	Hydraulic outlet for charging with Mini SSE	○	○	○
Measure While Drilling (MWD)	○	○	○	Holder for spare drill rods	○	○	○
Underground Manager PRO (PC software)	●	●	●				
Underground Manager MWD (PC software) for analysis of drill data	○	○	○				
Bolt view	●	●	●				
Water loss measurement instruments installed in service platform	○	○	○				
Rig Acces Control	●	●	●				
Rig Remote Access (RRA), LAN or WLAN connection	○	○	○				
Tunnel Profiler	○	○	○				
Total Station Navigation	○	○	○				
Certiq Professional	○	○	○				
Dynamic tunneling package	○	○	○				

### Anexo 11 – Especificações Boomer E3.

## Technical specifications

● - Standard ○ - Option  
**A** - Boomer WE3 **B** - Boomer XE3 **C** - Boomer XE4

Cabin	A	B	C
FOPS certified cabin	●	●	●
Mediaplayer	○	○	○
12 V outlet for communication radio	○	○	○
Electrical heater, 1.2 kW, 230 V (CE)	○	○	○
Reversing camera with monitor	○	○	○
Air conditioning unit	●	●	●
Heating function for air conditioning (water transferred)	○	○	○
Joystick-controlled spotlights left and right, 70 W	○	○	○
Front window, 24 mm	○	○	○
Hydraulic cabin lift system, 1100 mm	●	●	●

### Drifter rods

Rock drill	Rod	Min. hole diameter (mm)
COP 1838 COP 2238	SR35-H35-T38 Speedrod	38
	SR35-H35-T38	38
	SR35-R39-T38	38
	SR35-R39-T38 Speedrod	38
COP 3038 COP 4038	SR35-H35-T38	45
	SR35-R39-T38	45

### Extension rods for injection drilling/RAS

Rock drill	Rod	Min. hole diameter (mm)
COP 1838 COP 2238	Rnd 32 Speedrod	38
	Rnd 39 Speedrod	38
COP 3038 COP 4038	Rnd 39 Speedrod	64

### Shank adapters

Rock drill	Thread	Min. hole diameter (mm)
COP 1838 COP 2238	R38	38
	T38	38
	R32*	38
COP 3038 COP 4038	TC42	45

\* Intended for RAS and extension drilling with BSH 110

### Couplings

Rock drill	Thread	Diameter (mm)	Length (mm)
COP 1838 COP 2238	R38	55	170
	T38	55	170
COP 3038 COP 4038	TC38	57	175

### Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension (mm <sup>2</sup> )	Diameter (mm)	Length (m)	Rock drill
380-500 V	Buflex	3x240-3G35	64	100	COP 1838/2238
550 V	Buflex	3x185-3G25	56	100	COP 1838/2238
660-690 V	Buflex	3x150-3G16	52	140	COP 1838/2238
660-690 V	Buflex	3x240-3G25	64	100	COP 3038
1000 V	Buflex	3x70-3G10	40	250	COP 1838/2238
1000 V	Buflex	3x120-3G16	46	195	COP 3038
1000 V	Buflex	3x180-3G16	56	110	COP 4038

Recommendations are given for surrounding temperature of 40°C and up to a height of 2 000 m

### Noise and vibration

Operator sound pressure level in cabin, drilling, free field (ISO 11201)	75±3 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level working close to machine, drilling, free field	105±6 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level working close to machine, drilling, free field*	107±6 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level working close to machine, drilling, free field**	109±6 dB(A) re 20 uPa
Sound power level (ISO 3747), drilling, free field	125±3 dB(A) re 1 pW
Sound power level (ISO 3747), drilling, free field*	127±3 dB(A) re 1 pW
Sound power level (ISO 3747), drilling, free field**	129±3 dB(A) re 1 pW
Vibration levels seated, drilling (ISO 2631-1)	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>
Vibration levels standing, drilling (ISO 2631-1)	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>

\* Equipped with COP 3038  
 \*\*Boomer XE4

### Dimensions

	A	B	C
Width	2 926 mm	2 926 mm	3136 mm
Height with cabin	3 664 mm	3 656 mm	3 729 mm
Height, cabin up	4 756 mm	4 756 mm	4 760 mm
Length, tramming	17 494 mm BMH 6920	17 544 mm BMH 6820	17 576 mm BMH 6920
Ground clearance	449 mm	450 mm	277 mm
Turning radius outer/inner	11 900/6 300 mm	11 900/6 300 mm	12 500/6 000 mm

### Gross weight (depending on configuration)

Rig type	Total	Boom side	Engine side
Boomer WE3	47 000 - 53 000 kg	29 600 kg	14 900 kg
Boomer XE3	47 000 - 53 000 kg	32 000 - 40 000 kg	12 000 - 16 500 kg
Boomer XE4	61 000 - 65 000 kg	44 500 - 49 500 kg	15 500 - 16 500 kg

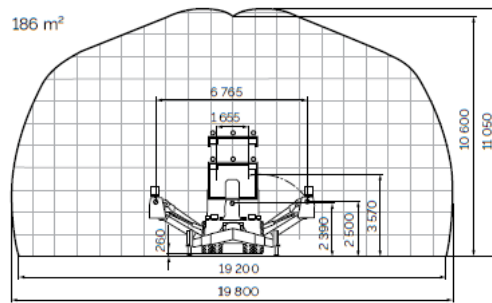
### Tramming speed

On flat ground (rolling resistance 0.05)	>15
On incline 1:8	>5

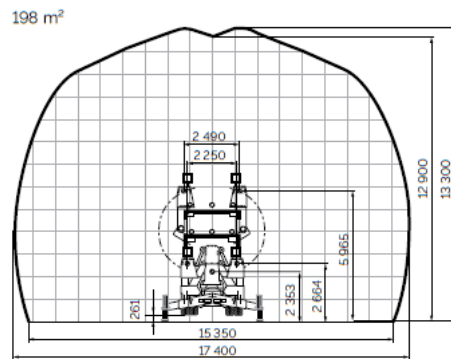
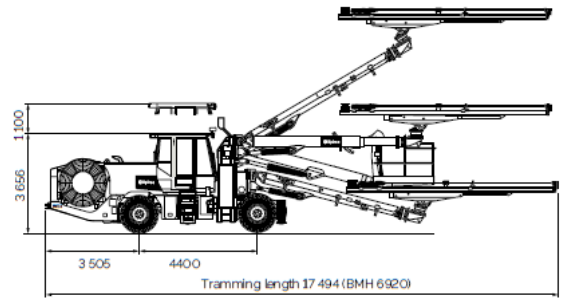
## Anexo 11 – Especificações Boomer E3 (continuação).



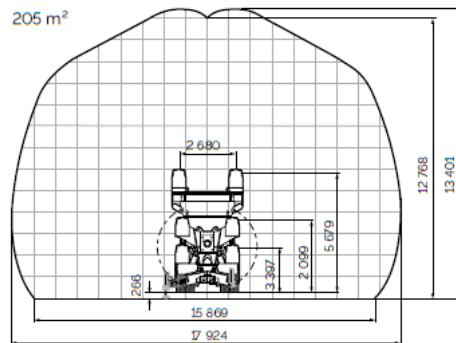
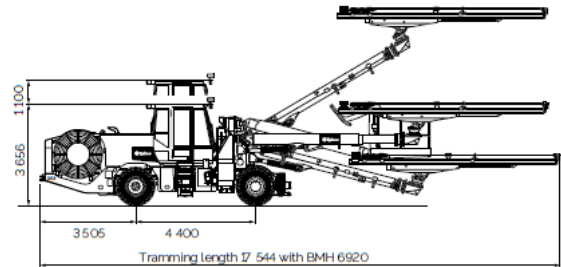
## Technical specifications



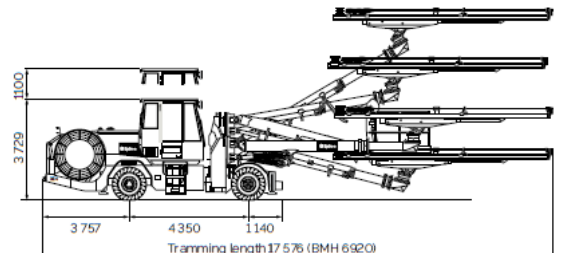
Boomer WE3: Left coverage area, right measurements.



Boomer XE3: Left coverage area, right measurements.



Boomer XE4: Left coverage area, right measurements.



### Anexo 11 – Especificações Boomer E3 (continuação).

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.



## Specifications

### ROCK DRILL

COP 1838ME	
Shank adapter	R32, T38, T45
Hole diameter	51–76 (89) mm
Impact power	18 kW
Impact rate	54 Hz
Hydraulic pressure, max.	230 bar
Rotation motors	Separate rotation
Rotation speed	0–210 rpm
Lub. air consump. (at 3 bar)	6 l/s
Water consumption	90 l/min
Weight	171 kg

### FEED

BMH 2800	BMH 2812	BMH 2815	BMH 2818
Total length	3,205 mm	3,529 mm	3,756 mm
Drill rod length	1,220 mm	1,525 mm	1,830 mm
Total length with extractor	3,410 mm	3,730 mm	3,960 mm

### » Positioning system

- Boom extension..... 900 mm
- Feed extension 4', 5', 6' ..... 600/750/1,200 mm
- Stinger extension..... 1,000 mm
- Feed roll-over..... 360°
- Feed rotation..... ±114°
- Feed dump cylinder..... +18/–100°
- Max. swinging angle..... ±30°
- Weight, boom only ..... 1,000 kg

### » Control system

- Direct Control System, DCS

### » Power pack

- Variable pump for percussion, positioning, feed
- Fixed pump for rotation, and water pump drive
- Pumps unloaded at start
- System pressure, max..... 230 bar
- Hydraulic oil tank, volume max/min ..... 124 l
- Low oil level indicator and shut-down
- Oil temperature gauge on oil tank
- Electric oil filling pump
- Filtration, absolute..... 16 µm
- Oil filter indicator
- Water/oil cooler, shell and tube type
- Mineral hydraulic oil

### » Electrical system

- Total installed power..... 60 kW
- Main motors ..... 1x55 kW
- Voltage..... 380–1,000 V
- Frequency..... 50–60 Hz
- Starting method..... star/delta (380-690 V)
- Thermal overload protection for electric motors
- Digital volt/amperage meter in electric cabinet
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Transformer..... 1.8 kVA
- Working lights, mounted on roof..... 2x200 W, 24 V
- Cable reel

### » Air system

- Compressor ..... Atlas Copco LE3
- Capacity at 1,500 rpm and 7 bar ..... 4.4 l/s
- Hole blowing kit, external air supply

### » Water system

- Hydraulic driven water booster pump
- Capacity at 8 bar boost..... max 66 l/min
- Min water inlet pressure..... 2 bar
- Water pressure gauge
- Water flow guard

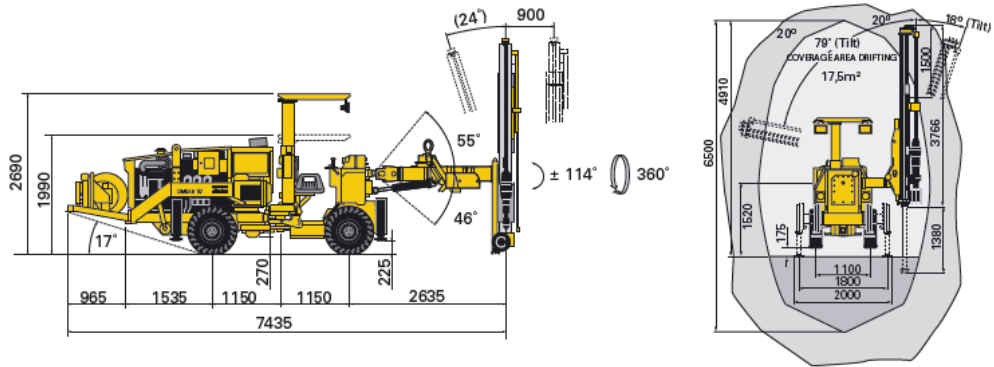
### » Carrier

- Engine .... Deutz 4-cylinder, F4L 912W, 4-stroke prechamber
- Power rating at 2,300 rpm ..... 42 kW
- Torque at 1,500 rpm ..... 198 Nm
- Fixed seat for tramping, including safety belt
- Articulated steering ..... ±40° steering angle
- Four-wheel drive
- FOPS-approved protective roof
- Hydrostatic power steering system
- Hydrodynamic transmission
- Front axle ..... DANA 171
- Rear axle..... DANA, ±7° oscillation
- Automatic differential lock on front axle, limited slip
- Tyres ..... 8.25 R<sub>x</sub>15
- Clearance outside axles ..... 15°
- Hydraulic jacks, front..... 2 extendable
- Hydraulic jacks, rear ..... 2
- Service brakes ..... 2 separate circuits
- Emergency and parking brakes ..... SAHR
- Fuel tank, volume..... 40 l
- Electric system ..... 24 V
- Batteries..... 2x12V, 75 Ah
- Tramping lights ..... 4x70 W
- Brake lights
- Central lubrication system
- Silencer
- Fire extinguisher
- Spirit levels
- Gradeability at max load on drive wheels..... 1:4
- Tramping speed on flat ground ..... 8 km/h
- Tramping speed on incline 1:8..... 5 km/h
- Shelf for bits and tools
- Horn
- Beacon warning lamp
- Reverse alarm

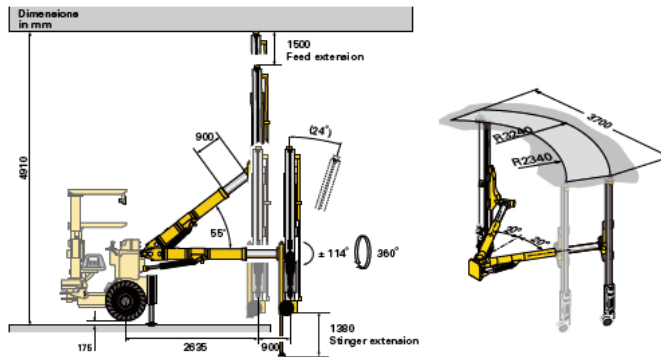
## Anexo 12 – Especificações Simba 157.

## Measurements

### SIDE VIEW



### COVERAGE AREA



### TURNING RADIUS

depending on surface		
mm	Outer	4,400
	Inner	2,485

### DIMENSIONS

mm	Dimension	Value
	Width	1,220
	Height tramming	1,990
	Height roof up	2,875
	Length tramming	9,460
	Ground clearance	270

### WEIGHT

gross weight		
kg	Total	9,600

### RECOMMENDED CABLE SIZE AND LENGTH

Voltage	Type	Dimension, mm <sup>2</sup>	Diameter, mm	Length, m
380–400 V	Burflex	3x50+3x10	33	85
440–700 V	RDOT	4x35	38	85
1,000 V	Burflex	3x25+3x6	26	140

Recommendations are given for surrounding temperature of 40°C.

Anexo 12 – Especificações Simba 157 (continuação).

Fonte: Atlas Copco Rock Drills AB.

## Technical Specifications

### Rock drill

	COP 1638HD*	COP 1838HD*
Shank adapter	R32/R38/T38	R32/R38/T38
Height over drill centre	88 mm	88 mm
Length without shank	1 088 mm	1 088 mm
Impact power	16 kW	18 kW
Impact rate	60 Hz	60 Hz
Hydraulic pressure	200 bar	230 bar
Rotation system	Separate rotation	Separate rotation
Rotation speed	0-340/ 0-215rpm	0-340 / 0-215rpm
Rotation torque, max	640 / 1 000 Nm	640 / 1 000 Nm
Lub. air consump. at 2 bar	5 l/s	5 l/s
Water consumption	40-120 l/min	40-120 l/min
Weight	175 kg	175 kg
Sound level	<106 dBA)	<106 dBA)

### Feed

BMH 2800	BMH 2831	BMH 2837	BMH 2843
Total length	4 677 mm	5 287 mm	5 697 mm
Drill rod length	3 090 mm	3 700 mm	4 310 mm
Hole depth	2 795 mm	3 405 mm	4 015 mm
Weight, incl. drill	475 kg	495 kg	525 kg
Feed force	150 kN	150 kN	150 kN

### Boom

- Boom .....BUT 28
- Feed extension .....1 250 mm
- Boom extension ..... 1 250 mm
- Parallel holding .....complete
- Feed roll-over ..... 360°
- Lifting angle ..... +65°-30°
- Boom swing angle L/R ..... ±35°
- Weight, Boom only ..... 1750 kg

### Air system

- Electronically driven piston Compressor.....Atlas Copco LE3
- Capacity max. at 7 bar.....4.4 L/s
- Air pressure gauge

### Water system

- Hydraulic driven water booster pump..... Lowara 5SV11F015T
- Water booster pump working capacity, l/s.....0.7-2.4
- Water booster pump working pressure, bar..... 25
- Min. water inlet pressure, bar.....2
- Water flow guard

### Control system

- Hydraulic Direct Control System, DCS
- Basic functions such as anti-jamming included

### Electrical system

- Total installed power.....63 kW
- Main motor.....1 x 55 kW
- Voltage.....380 - 1 000 V
- Frequency.....50 Hz - 60Hz

- Starting method.....star/delta / (1 000 V direct start)
- Thermal overload protection for electric motors
- Percussion hour meters
- Digital voltmeter/ amperage meter in electric cabinet
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Transformer.....3.9 kVA
- Cable reel.....660/1 095 mm

### Hydraulic system

- Hydraulic pumps.....1 unit
- Pumps unloaded at start
- System pressure, max.....150 - 230 bar
- Hydraulic oil tank, volume max..... 124 L
- Oil temperature meter
- Manual oil filling pump
- Oil filter indicator
- Low oil level indicator
- Water cooled oil
- Filtration..... 20 µm
- Mineral hydraulic oil

### Carrier

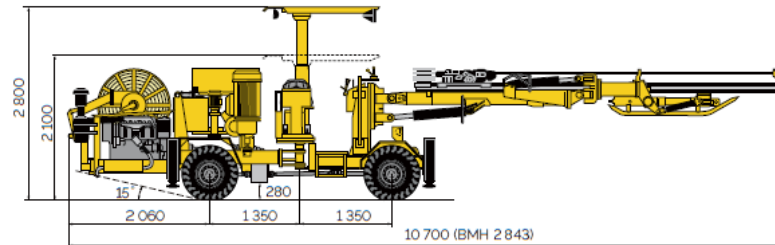
- Deutz TCD3.6L4, 4-cylinder, water-cooled diesel engine, Chinese Stage III
- Power rating at 2 300 rpm.....55.4 kW (75 hp)
- Torque at 1 300 rpm .....390 Nm
- Articulated steering..... ±40° steering angle
- Fixed seat for tramping
- Four-wheel drive
- Hydrostatic transmission
- Front axle..... Dana 112
- Rear axle..... Dana 112, ±10° oscillation
- Automatic differential, limited slip 45% rear axle
- Tyres.....8.25 x R15
- Clearance outside axles..... 15°
- Hydraulic jacks, front..... 2 extendable
- Hydraulic jacks, rear.....2
- Service brakes.....2 separate circuits
- Emergency and parking brakes.....SAHR
- Fuel tank, volume..... 60 l
- Silencer
- Electric system.....24 V
- Batteries.....2 x 12 W, 70 Ah
- Tramping lights.....LED 8 x 25W, 24V DC
- Working lights.....LED 4 x 50W, 24V DC
- Fire extinguisher
- Central lubrication system
- Spirit level
- Gradeability at max load on drive wheels..... 14
- Horn, beacon and reverse alarm

## Anexo 13 – Especificações Boomer 281.

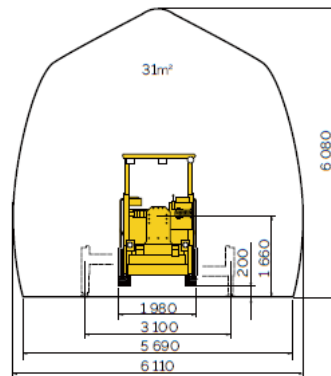
## Technical specifications

### Measurements

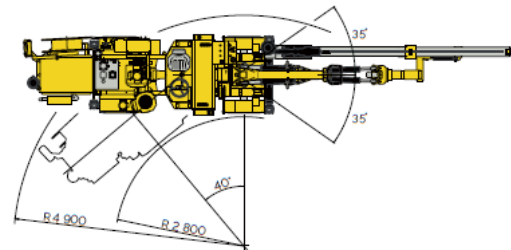
#### Side view



#### Coverage area



#### Turning radius



#### Dimensions

		Boomer 281
mm	width	1980
	Height roof up/down	2800/2100
	Length with BMH 2843 feed	10700
	Ground clearance	280

#### Weight

		Boomer 281
Kg	gross weight, depending on configuration	10000
	Total	6700
	Engine side	3300

#### Tramming speed

km/h	On flat ground (rolling resistance 0.05)	>10
------	--	-----

#### Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension, mm <sup>2</sup>	Diameter, mm <sup>2</sup>	Length, m
380-400V	Buflex	3x70-3G16	37	60
1000 V	Buflex	3x35-3G6	28	105

Recommendations are given for surrounding temperature of 40 °C and up to a height of 2000 m.

### Anexo 13 – Especificações Boomer 281 (continuação).

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.

## Technical specifications

● - Standard ○ - Option

### Drilling system

COP 1838*	○
COP 1838MUX*	○
Dry drilling system	○
Thread lubrication kit	○
Hole blowing kit (internal system with CE certified air reciever) Note: Not valid when using DCT.	●
Water mist flushing, external water and air supply (hydraulic oil cooled by water cooler)	○
Water mist flushing, external water and air supply (hydraulic oil cooled by air fan)	○
Rock drill lubrication warning kit	●
Drill stop*	○
*Mandatory for CE	

### Boom/drilling unit

BUT 32PD	●
Rod Handling System, RHS 10 (10+1 rods) mechanized drilling up to 20 m*	●
Adaptable to 3, 4, 5 and 6' rods	●
Adaptable to R32, T38, T45 drill rods	●
1x rear and 1x front stinger	●
Automatic lubrication for drilling and positioning unit	●
*3 rods gives 12+1 rods in the carousel *T45 speed rods gives 9+1 rods in the carousel. Denna text behöver också vara med i kombination till den dutade till.	

### Feed

Feed type	Intended for rock drill	Rod/tube length mm	Total length mm
BMHP 6803	COP 1838ME	915	2 731
BMHP 6804	COP 1838ME	1 220	3 035
BMHP 6805	COP 1838ME	1 525	3 340
BMHP 6806	COP 1838ME	1 830	3 645
BMHP 6803X	COP 1838MUX	915	2 933
BMHP 6804X	COP 1838MUX	1 220	3 237
BMHP 6805X	COP 1838MUX	1 525	3 542
BMHP 6806X	COP 1838MUX	1 830	3 847

### Air system/water system

Air flow guard	●
Compressor: Epiroc LE7	●
Compressor GAR 30	○
Hydraulic water booster pump, max capacity at 12 bar boost 60 L/min Minimum water inlet 2 bar	●
Water hose reel including hose	○

### Electrical system

Total installed power 80 kW (main motors 1x75 kW)	●
Voltage 380-1 000 V 50/60 Hz	●
Starting method star/delta (400- 690 V)	●
Starting method - soft start (not for 1 000 V)	○
Electronic overload protection for electric motors	●
Digital voltmeter/ampere meter in electric cabinet	●
Switch gear	○
PC4 or PC5 plug/socket	○
Phase sequence and earth fault indicator	●
Battery charger	●
Stainless steel electrical enclosure	○

### Hydraulic system

Low oil level indicator	●
Oil temperature gauge on oil tank	●
Water/oil cooler in stainless steel	●
Filtration 16 µm	●
Oil filter indicator	●
Mineral hydraulic oil	●
Electrical oil filling pump	●
Heater kit for hydraulic oil tank	○
Biodegradable hydraulic oil	○
Ni-Cr plated piston rods (limited selection on request)	○

### Drifter rods/pipes

Rock drill	Rod/Pipe	Guide tubes	Hole diameter (mm)
COP 1838*	R32 Speedrod	N/A	51-64
COP 1838* MUX*	T38 Speedrod	TDS 56	64-76
COP 1838* MUX*	T45 Speedrod*	TDS 64	70-89

### Carrier

Deutz BF4L 914, 72kW Stage II/ Tier 2	○
Deutz D9L4 LO4, 55kW Stage IIIA/ Tier 3	○
Deutz TD 36 LO4, 55kW Stage IIIB/ Tier 4I	○
Front axle DANA Spicer 123/90	○
Rear axle DANA Spicer 123/90 ±8' oscillation	○
Articulated steering ±40° steering angle	●
Four-wheel drive	●
Electric system 24 V	●
Batteries 2x12 V, 70 Ah	●
Automatic differential lock on front axle, limited slip	●
Tires 9.00 x R20	●
Tramming lights 6x40 W LED, 2x80 W, 24 V DC	●
Working lights 4x80 W LED, 24 V DC	●
Illuminated stairs for platform LED	●
Front and rear jacks	●
Fuel tank, volume 60 l	●
Fire suppression system ANSUL (manual, check fire or automatic)	○
Rig washing kit*	○
Manual lubrication kit	○
Boot washing kit*	○
*Not applicable when equipped with dry drilling system	

### Cabin (optional)

ROPS and FOPS certified cabin, noise level <80 dB(A)	●
Swingable seat for drilling and tramming	●
Front window 22 mm (P&B safety classified)	●
12 V outlet	●
Mediaplayer	○
Air condition	●
Electrical heater, 1.2 kW, 230 V (ICE)	○
Manual spotlight 70 W (left and right)	○

## Anexo 14 – Especificações Simba S7.

## Technical specifications

● - Standard ○ - Option

### Protective roof

FOPS certified	●
Stainless steel	○
Manual spotlight 70 W (left and right)	○
Swingable seat for drilling and tramping	○

### Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension (mm <sup>2</sup> )	Diameter (mm)	Length (m)
380-525 V	Buflex	3x70+3G6+2x1.5	37	110
550-575 V	Buflex	3x50+3G6+2x1.5	32	150
660-690 V	Buflex	3x35+3G6+2x1.5	28	200
1 000 V	Buflex	3x35+3G6+2x1.5	28	200

Recommendations are given for surrounding temperature of 40 °C and up to a height of 2 000 m

### Control system

Direct Control System (DCS)	○
Epiroc Rig Control System (RCS)	○
Angle Reading Instrument (ARI)	○
Angle Reading Instrument (ARI) with hole depth measurement	○
Breakthrough automatic stop	○
Underground manager pro	○
Drill plan handling	○
Void detection	○
Automatic parallel holding	○
Rig Remote Access (RRA)	○
Mobile tele remote/multi tele remote	○
Remote operating kit	○
Remote controlled camera on tripod with monitor in cabin	○
Total station navigation	○

### Dimensions

Measurement	
Width	2 100 mm
Height tramping, roof up/down	2 800/2 100 mm
Length tramping (with BMHP 6 804/05/06)	9 300/9 600/9 900 mm
Ground clearance	365 mm
Turning radius outer/inner	5 000/2 850 mm

\*200 mm with extractor

### Gross weight (depending on configuration)

Total	13 500 kg
Boomside	9 000 kg
Engine side	4 500 kg

### Tramping speed

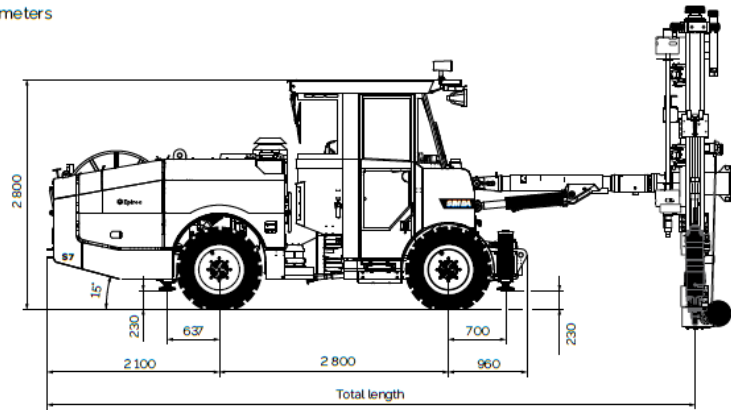
On flat ground (rolling resistance 0.05)	>15 km/h
On incline 1:8	>5 km/h

### Noise and vibration

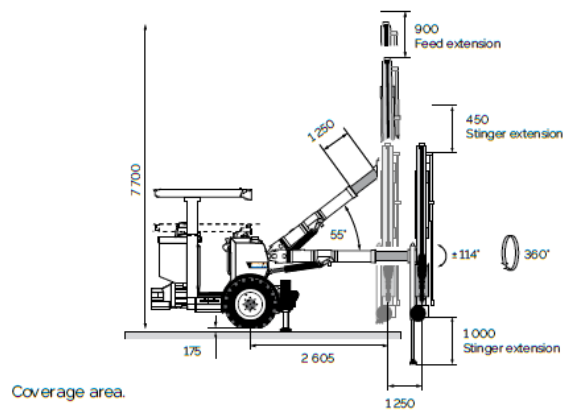
Operator sound pressure level in canopy, drilling, free field (ISO 11201)	106±6 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level in cabin, drilling, free field (ISO 11201)	75±3 dB(A) re 20 uPa
Operator sound pressure level working close to machine, drilling, free field	106±6 dB(A) re 20 uPa
Sound power level (ISO 3744), drilling, free field	126 dB(A) re 1pW
Vibration levels seated, drilling (ISO 2631-1) cabin	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>
Vibration levels standing, drilling (ISO 2631-1) cabin	0.07±0.07 m/s <sup>2</sup>
Vibration levels seated, drilling (ISO 2631-1) canopy	0.1±0.15 m/s <sup>2</sup>
Vibration levels standing, drilling (ISO 2631-1) canopy	0.1±0.15 m/s <sup>2</sup>

## Anexo 14 – Especificações Simba S7 (continuação).

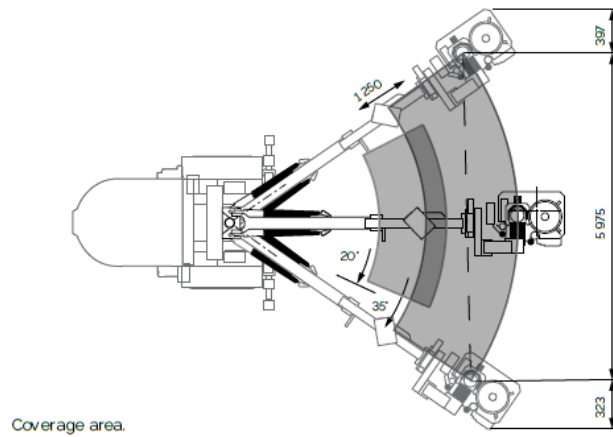
Dimensions in millimeters



Sideview.



Coverage area.



Coverage area.

**Anexo 14 – Especificações Simba S7 (continuação).**

**Fonte:** Epiroc Rock Drills AB.



**HYDRAULIC ROCK DRILL**

Type of rock drill	RD314 (TS2-137)
Percussion power	14 kW
Percussion pressure	Max. 160 bar
Percussion rate	110 Hz
Rotation speed	Max. 520 rpm (with OMS 100)
Rotation torque	340 Nm (with OMS 100)
Hole size (bolting)	33 - 43 mm
Shank adapter	45 mm / R32 female
Weight	122 kg
Length	571 mm

**BOLTING HEAD**

Type of bolting head	BH (TS2-277)
Bolting head feed	KS140
Bolt carousel capacity	8 rock bolts with 150 x 150 mm maximum plate size
Bolt head length	Max. 4 142 mm (BH30)
Net weight	1 720 kg (with RD314)

**BOLTING BOOM**

Type of boom	TBR60 (TS2-327)
Boom extension	1 200 mm
Boom weight, net	2 200 kg
Roll-over angle	358°

**HYDRAULIC SYSTEM**

Powerpack	HPP355 (1 x 55 kW)
Percussion pump	100 cc (variable)
Rotation pump	33 cc (gear)
Filtration size (pressure / return)	20 µ / 12 µ
Oil tank volume	200 liters
Oil tank filling pump	Electric
Cooler for hydraulic oil	OW30 oil-to-water (1 x 30 kW)

**CONTROL SYSTEM**

Type of control system	TPC301 EW
Power control	Adjustable full power Adjustable collaring power
Anti-jamming control	Adjustable anti-jamming pressure
Rotation control	Adjustable rotation speed Reversible rotation
Flushing control	Water flushing flow and pressure control air-mist flushing, option
Returns automatics	Rock drill

**ELECTRIC SYSTEM**

Standard voltages	380 - 690 V (± 10%), 50 or 60 Hz
Total installed power	70 kW
Main switch	MSE 10
IP classification	Specification TS2-132
Starting method	Star delta 380 V - 690 V Soft starter 575 V
Automatic cable reel	TCR3E with spooling system
Cable reel control	Operator station and remote control at rear machine
Batteries	2 x 12 V, 145 Ah
Auxiliary outlet	1 x 110 V or 1 x 230 V, 16 A
Battery jump start	Standard
Front lights (combined working and driving)	6 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
Rear lights (combined working and driving)	4 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
Remote search light	1 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
Rear parking / brake lights	2 x Red LED (24V)
Stair and service lights	LED (24 V)

**AIR AND WATER SYSTEM**

Flushing	By water
Water booster pump	WBP1
Water pump capacity	50 l/min
Water pump inlet pressure	2 bar (Min.)
Flushing water pressure	10 - 15 bar
Shank lubrication device	SLU1 (air / oil mist)
Rock drill oil consumption	100 - 200 g/h
Rock drill air consumption	150 - 250 l/min
Air compressor	CTN10, 1 m³/min (7 bar)
Air cleaner for external air supply	IP5

**OPERATOR'S SAFETY CABIN**

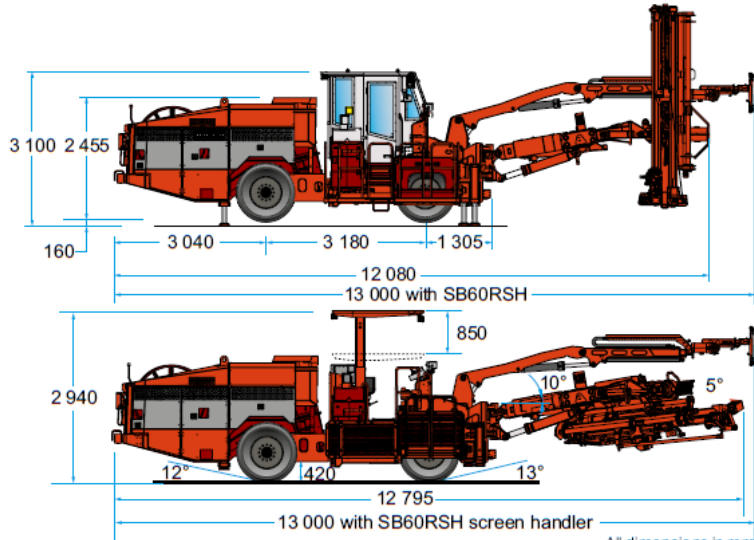
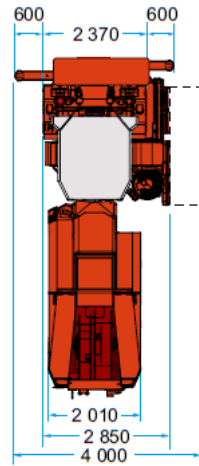
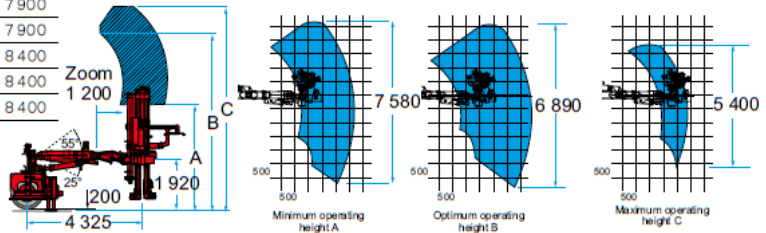
Safety cabin	FOPS / ROPS (ISO 3449 / 3471)
Operation	Seated drilling and tramming
Sound pressure level according to EN 16228	Operator station: 76 dB(A)
Seat	Ergonomic, adjustable for tramming and drilling including seat belt
Air conditioning system	For drilling and tramming
Audio system	CD / MP3-player, radio and loudspeakers
Boot washer	At cabin entrance
Cabin safety grill	Standard

**Anexo 15 – Especificações DS411.**

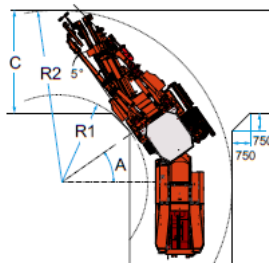




Bolting head	Bolt length (m)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
BH15	1.2 - 1.5	2 700	6 600	7 900
BH18	1.2 - 1.8	3 100	6 600	7 900
BH22	1.5 - 2.2	3 600	6 600	7 900
BH24	1.5 - 2.4	3 800	7 100	8 400
BH27	1.5 - 2.7	4 000	7 100	8 400
BH30	1.5 - 3.0	4 300	7 100	8 400



All dimensions in mm

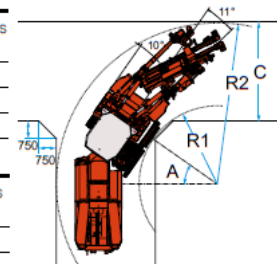


**CORNERING (LEFT)**

	Angle (A)	Internal radius (R1)	External radius (R2)	T-cross (C)
DS411	35°	3 800	6 850	3 900
DS411 with SUB2i	35°	3 800	6 850	3 900
DS411 with SB60RSH	30°	4 650	8 392	4 750

**CORNERING (RIGHT)**

	Angle (A)	Internal radius (R1)	External radius (R2)	T-cross (C)
DS411	35°	3 350	6 600	4 000
DS411 with SUB2i	35°	3 350	7 600	5 000
DS411 with SB60RSH	30°	4 275	8 125	4 750



**Anexo 15 – Especificações DS411 (continuação).**

Fonte: Sandvik Mining and Rock Technology.

## Technical specifications

● - Standard ○ - Option

### Drilling system

COP RR11	●
COP RR14	○
Hole blowing kit	●
Water flushing – external water supply (hydraulic oil cooled by water)	●
Air-water mist flushing – external water, internal air supply (hydraulic oil cooled by air fan)	○
Rock drill lubrication warning kit	●

### Boom

BUT 32	●
Automatic boom lubrication - rear part of the boom	○

### Bolting unit

Magazine capacity 10 bolts	
Size of face plates, rectangular, diameter, max 150x150 mm	
Size of face plates, round, diameter, max Ø 200 mm	
Bolt length, max 1.5–2.4 m	
Swellex, Mn 12, Mn 16, Mn 24	○
Split-set, SS39, SS46	○
Mechanical anchored bolts (expanding shell)	○
Split wedge	○
Rebar bolts – manual resin/cement cartridges	○
Extension system for injection hose for resin cartridges	○
Dual bolt lengths - shorter bolt 70% the length of longer bolt	○
Dual bolt types	○
Extension drilling kit	○

### Hydraulic system

Low oil level indicator	●
Oil temperature meter	●
Filtration 16 µm	●
Oil filter indicator	●
Mineral hydraulic oil	●
Electric oil filling pump	●
Biodegradable hydraulic oil	○
Hydraulic oil leakage shut down system	○
Hydraulic oil thermostat	●
Ni-Cr plated piston rods (limitations exist)	○

### Control system

Rig Control System (RCS)	●
--------------------------	---

### Electrical system

Total installed power 80 kW, main motors 75 kW*	○
Total installed power 66 kW, main motor 55 kW**	○
Voltage 380-1 000 V	●
Frequency 50 Hz*	○
Frequency 60 Hz**	○
Soft start (380-690 V)	○
Transformer 5 kVA	●
Electronic overload protection for electric motors	●
Stainless steel electrical enclosure	○
Digital volt/ampere meter in electrical cabinet	●
Phase sequence and earth fault indicator	●
Battery charger	●
Cable reel with limiting switch	●
Electric outlet for accessories, 16 Amp (voltage = main supply voltage if no extra transformer is chosen. Not for 1 000V)	○

\* If running in 50 Hz 75 kW motor is required

\*\* If running in 60 Hz 55 kW motor is required

### Air/water system

Compressor: Atlas Copco GA5	
Hydraulic water booster pump capacity at 12 bar, 66 l/min	
Minimum water inlet pressure 2 bar	
Water hose reel, including water hose	○

### Carrier

Deutz 4-cylinder, D914 L04, EPA III/COM III (Tier 3/Stage IIIA) approved 4-stroke prechamber diesel engine (55 kW, 77.8 hp at 2 300 rpm, 270 Nm at 1 500 rpm)	●
Deutz 4-cylinder BF4 L 914, 4-stroke turbo diesel engine, Tier 2 (72 kW, 96 hp at 2 500 rpm, 355 Nm at 1 600 rpm)	○
Deutz TD36 L4 55 kW Stage IIIB/Tier 41	○
Electric heater for hydraulic oil tank, electric motors and diesel engine	○
Articulated ±40° steering angle	●
Four wheel drive	●
Electrical system 24 V	●
Batteries 2x12 V, 70 Ah	●
Automatic differential lock on front axle, limited slip	●
Tires 9.00xR20	●
Clearance outside axles rear 15°	●
Front and rear hydraulic jacks	●
Fuel tank volume 60 l	●
Central lubrication system	●
Tramming lights 6x40 W LED + 2x70 W halogen	●
Working lights, mounted on roof 3x35 W, 24 V HID	●
Boot washing kit	●
Illuminated stairs for platform	○
Central grease point	●
Fire suppression system ANSUL - manual release	○
Fire suppression system ANSUL - automatic release (checkfire)	○

### Cabin (option)

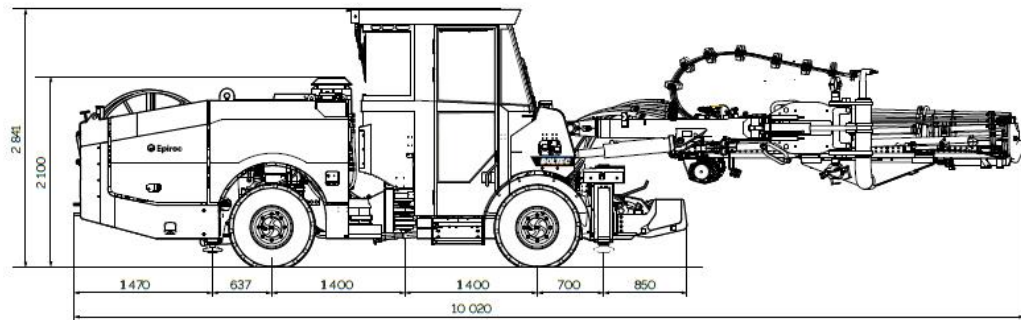
ROPS and FOPS approved airconditioned cabin, noise level <80 dB(A)	●
Mediaplayer	●
12 V outlet	●
Electrical heater, 1.2 kW, 230V (ICE)	○
Swingable seat for drilling and tramming	●
Manual spotlight, left and/or right	●
Low-designed cabin, for seated operator cabin height 2 655 mm	○
Front window, 16 mm	●
Front window, 24 mm	○
FOPS certified grizzly bar for front window	○

### Protective roof

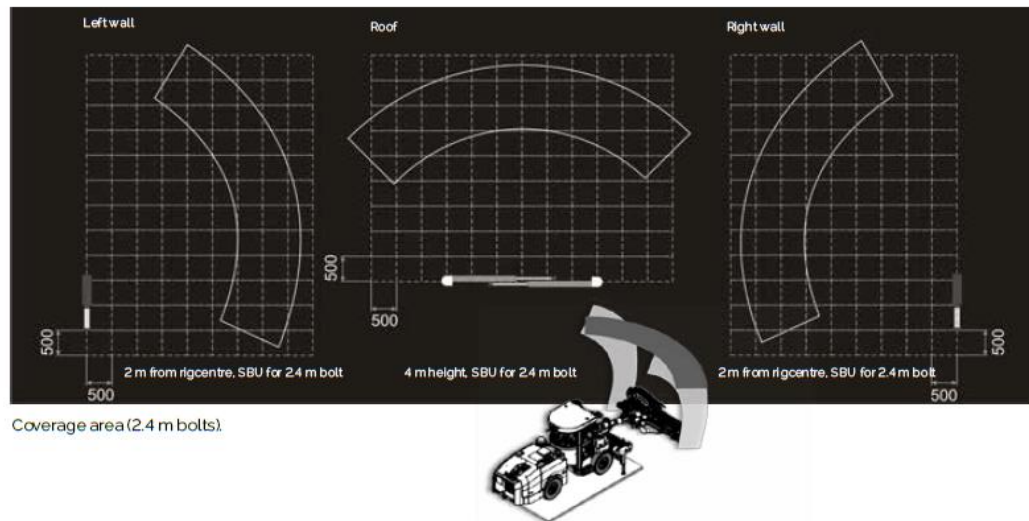
Swingable seat for drilling and tramming	●
--	---

## Anexo 16 – Especificações Boltec S.

## Technical specifications



Dimension illustration (optional equipment mounted).



Coverage area (2.4 m bolts).

### Weight

Total	13 700 kg
Boomside	9 000 kg
Engine side	4 700 kg

### Recommended cable sizes and lengths

Voltage	Dimension, mm <sup>2</sup>	Diameter	Length
380-400 V	3x70+3G16+2x1.5	37 mm	110 m
440 V	3x70+3G16+2x1.5	37 mm	110 m
500-525 V	3x70+3G16+2x1.5	37 mm	110 m
550-575 V	3x50+3G6+2x1.5	32 mm	150 m
660-690 V	3x35+3G6+2x1.5	28 mm	200 m
1 000 V	3x35+3G6+2x1.5	28 mm	200 m

Recommendations are given for surrounding temperature of 40°C and altitude of 2 000 m.

### Dimensions

Width	2 115 mm
Height, roof down	2 100 mm
Height, roof up	2 841 mm
Cabin height (option)	2 841 mm
Lowered cabin height (option)	2 691 mm
Length, tramming	10 020 mm
Ground clearance	365 mm
Turning radius outer/inner	5 200 mm/ 2 780 mm

### Tramming speed

On flat ground (rolling resistance 0.05)	>15 km/h
On incline 1:8	>5 km/h

## Anexo 16 – Especificações Boltec S (continuação).

Fonte: Epiroc Rock Drills AB.

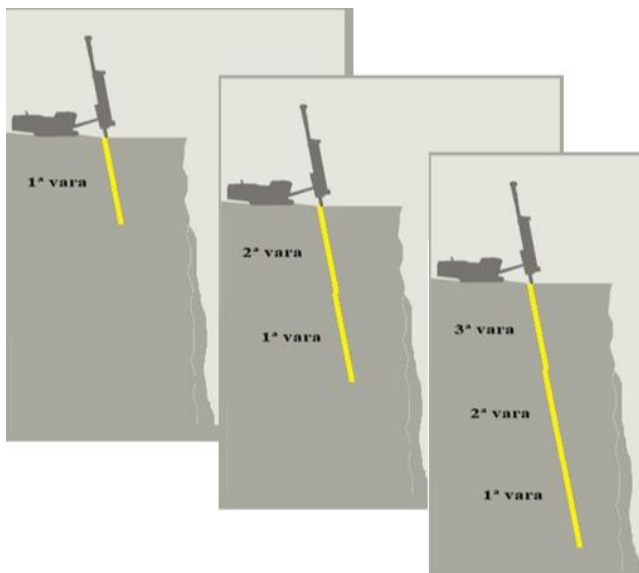
TURNOS	MOVIMENTOS	JUMBO JF	JUMBO JF	ANOTAÇÕES / OBSERVAÇÕES	Mensal		Acumulado
					JF	JF	
1º Turno	Saída	46	47		12.272	32.167	
	Entrada	8	8		11.834	24.925	
	Perdas	8	8				
	Afiados	3	3		24.106 out	57.092 out	
	Gastos						
2º Turno	Saída	8	8				
	Entrada	8	8				
	Perdas						
	Afiados	5	6				
	Gastos						
3º Turno	Saída	12	8				
	Entrada	12	8				
	Perdas						
	Afiados	3					
	Gastos						
Total Furação				679	666		
Totais				JF 46	JF 47		

**Anexo 17** – Exemplo do registo de movimentos de stock nas ferramentas de perfuração durante um ensaio.

## Conceito de metro-vara

O número de metros perfurados por uma vara, aquando da utilização de aço extensível, não corresponde necessariamente ao comprimento de furação, isto porque à medida que se adicionam varas até atingir o comprimento pretendido, a distribuição de metros perfurados por vara passa a ser diferente, assim como o desgaste associada a cada uma das varas.

Para melhor ilustrar este conceito, vejamos um exemplo concreto na furação de um furo com 9 m utilizando varas com 3 m de comprimento:



- 1ª vara perfura o seu comprimento (3 m);
- 2ª vara perfura apenas o seu comprimento (3 m), no entanto a 1ª vara continua no furo;
- 3ª vara perfura apenas o seu comprimento (3 m), no entanto a 1ª e 2ª vara continuam no furo.

**Figura 112** – Esquema tipo de furação com aço extensível.

Desta forma, temos a seguinte relação de metros perfurados por cada vara, expressa na tabela seguinte:

**Tabela 20** – Relação de metros perfurados por cada vara num furo de 9 m, usando aço extensível.

<b>Posição da vara no furo</b>	<b>Metros perfurados por vara</b>
1	9 m
2	6 m
3	3 m
<b>Total</b>	<b>18 m</b>

Daqui evidenciamos que para um furo com 9 m de comprimento, a distribuição de metros perfurados por vara não é igual para cada uma destas, a primeira vara perfura mais metros que a última (estando também por isso sujeita a um maior desgaste), havendo no seu conjunto um total de 18 m\*vara perfurados.

Este conceito pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$MV = MF \times K \quad \text{[equação 10]}$$

Onde  $MV = \text{Metros*vara}$

$MF = \text{Metros perfurados}$

$$K = \frac{L+C}{2C} \quad \text{[equação 11]}$$

Em que  $L = \text{comprimento do furo}$

$C = \text{comprimento da vara}$

**Anexo 18** – Conceito de metro-vara (continuação).

No exemplo dado como explicação deste conceito, teríamos:

$$MV = 9 \times 2 = \mathbf{18 \text{ m*vara}}$$

$$\text{Onde } K = \frac{9+3}{2*3} = \frac{12}{6} = 2$$

Com este conceito, é possível valorizar o real rendimento das varas aquando da perfuração com material extensível, tornando por isso o seu valor comparável com os restantes elementos da coluna de perfuração.

Como ressalva e, caso estejam a ser utilizadas, este conceito é também ele extensível às uniões nos elementos da coluna de perfuração.



### FOLHA DE DISTRIBUIÇÃO DE BITS

Data: / /

1º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída					
Entrada					
Diferença					
Afiados					
Gastos					

2º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída					
Entrada					
Diferença					
Afiados					
Gastos					

3º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída					
Entrada					
Diferença					
Afiados					
Gastos					

TOTAL	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Diferença					
Afiados					
Gastos					

Anexo 19 – Modelo utilizado para registo da distribuição dos *bits* de botões.

### FOLHA DE DISTRIBUIÇÃO DE BITS

Data: 06/06/2014

1º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída				16	
Entrada				15	
Diferença				-1	
Afiados				12	
Gastos				3	

2º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída				16	
Entrada				16	
Diferença				0	
Afiados				16	
Gastos				0	

3º Turno	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Saída				16	
Entrada				16	
Diferença				0	
Afiados				14	
Gastos				2	

TOTAL	38	51			76
		Drift	Cabos	Teste	
Diferença				-1	
Afiados				42	
Gastos				5	

Anexo 20 – Exemplo do registo da distribuição dos bits de botões durante um ensaio.

Day	Customer		Machine		Drifter	N° of hole
	Drilling status	Water	Operator	Setting		
Feed	Rotation	Percussion	Unit	Unit conversion	Left boom	Right boom
			MPa	1		
			bar	10		
			at	10,197		
			psi	145,04		
	Left boom	Hole length			Hole length	
1		16		1		16
2		17		2		17
3		18		3		18
4		19		4		19
5		20		5		20
6		21		6		21
7		22		7		22
8		23		8		23
9		24		9		24
10		25		10		25
11		26		11		26
12		27		12		27
13		28		13		28
14		29		14		29
15		30		15		30

Anexo 21 – Modelo utilizado para registo dos dados de perfuração durante os ensaios.





Data ent.	Nº Bit	Opera	Bit Nd	1ª Af.	2ª Af.	3ª Af.	4ª Af.	5ª Af.	6ª Af.	7ª Af.	8ª Af.	9ª Af.	10ª Af.	T.Tiros	Tot.Met.	Data Saída	Jumb
<b>Bits com 5 furos de limpeza</b>																	
02-01-2017	1	3887	60	44	26	27	10							167	384,1	24-01-2017	4
02-01-2017	2	3887	60	26	26	29	27	28	27	7				230	529	02-03-2017	4
02-01-2017	3	3887	40	20	27	27	54	32						200	460	17-01-2017	4
03-01-2017	4	3887	60	28	54	52	26	20						240	552	20-01-2017	4
03-01-2017	5	3887	60	30	21									111	255,3	26-01-2017	4
02-01-2017	6	3846	54	54										108	248,4	04-01-2017	4
02-01-2017	7	3846	57	42	27	37	30	7						200	460	11-01-2017	4
03-01-2017	8	2242	54	23	27	30	35	27	27	34	28	15		300	690	26-01-2017	4
03-01-2017	9	2242	54	29	34	28	26	29	5					205	471,5	17-01-2017	4
03-01-2016	10	2242	26	27	30	34	34	8						159	365,7	16-01-2017	4
04-01-2017	11	3920	54	28	30	29	49	31	60	32				313	719,9	25-01-2017	4
04-01-2017	12	3920	54	27	54	28	27	33	26	26				275	632,5	21-01-2017	4
06-01-2017	13	3920	28	54	27	27	53	26	26	30	27	29		327	752,1	01-02-2017	4
11-01-2017	14	4026	45	26	26	27	30	34	34	34	6			262	602,6	30-01-2017	4
11-01-2017	15	4026	54	29	27	32	27	28						197	453,1	30-01-2017	4
11-01-2017	16	4026	54	26	31	28								139	319,7	24-02-2017	4
11-01-2017	17	3920	81	54	27	29	31	36						258	593,4	26-01-2017	4
12-01-2017	18	4026	56	53	26	22	20							177	407,1	27-01-2017	4
16-01-2017	19	3920	79	26	27	27	27	30						216	496,8	31-01-2017	4
16-01-2017	20	3920	27	28	32	27	27	36	30					207	476,1	01-02-2017	4
18-01-2016	21	4039	59	41	27	29	27	8						191	439,3	31-01-2017	4
19-01-2017	22	4071	98	30	27	27	26	31	38	27	8			312	717,6	27-02-2017	4
23-01-2017	23	3920	27	27	27	38	33							152	349,6	27-01-2017	4
20-01-2017	24	3929	54	33	29	27	26							169	388,7	31-01-2017	4
20-01-2017	25	3929	52	35	27	55								169	388,7	31-01-2017	4
20-01-2017	26	3920	101	33	29	26								189	434,7	27-01-2017	4
23-01-2017	27	4026	56	63	32	27	34	6						218	501,4	31-01-2017	4
24-01-2017	28	4071	62	49	22	32								165	379,5	27-01-2017	4
27-01-2017	29	4071	65	26	27	35								153	351,9	27-02-2017	4
01-02-2017	30	4039	96	47	26	19								188	432,4	27-02-2017	4
<b>Total</b>														<b>6197</b>	<b>14253,1</b>	<b>Média: 475,1</b>	
<b>Bits com 4 furos de limpeza</b>																	
17-02-2017	31	2242	55	48	30	27	27							187	430,1	01-03-2017	4
31-01-2017	32	3920	22	60	47	35	7							171	393,3	01-03-2017	4
01-02-2017	33	4039	4											4	9,2	01-02-2017	4
01-02-2017	34	4039	34											34	78,2	01-02-2017	4
22-02-2017	35	3920	92	29	56	20	27	63	27					314	722,2	Perdido	4
22-02-2017	36	3920	106	24	29	27	28	32	27	27	7			307	706,1	15-03-2017	4
22-02-2017	37	3920	22	52	30	27	27	29	27	27				241	554,3	08-03-2017	4
22-02-2017	38	2242	41	26	27	30	27	27						178	409,4	08-03-2017	4
22-02-2017	39	2242	69	53	27	27	26	26						228	524,4	06-03-2017	4
07-03-2017	40	4026	55	27	27	45								154	354,2	15-03-2017	4
07-03-2017	41	4026	61	26	27	52	22							188	432,4	14-03-2017	4
07-03-2017	42	4026	27	27	29	34								117	269,1	Perdido	4
01-03-2017	43	4039	80	30	37	27	27	27	32	30	12			302	694,6	17-03-2017	4
01-03-2017	44	4039	62	30	43	29	41	4						209	480,7	08-03-2017	4
01-03-2017	45	3920	88	47	32									167	384,1	10-03-2017	4
01-03-2017	46	3920	54	30	27	31	26							168	386,4	16-07-2017	4
01-03-2017	47	3920	54	27	27	27	27	31	30	4				227	522,1	17-03-2017	4
02-03-2017	48	4039	54	18	30	34	30	27						193	443,9	15-03-2017	4
02-03-2017	49	4039	53	33	27									113	259,9	03-03-2017	4
03-03-2017	50	3887	60	30	36	27	27	4						184	423,2	15-03-2017	4
03-03-2017	51	3887	53	27	27	27	54	20						208	478,4	14-03-2017	4
03-03-2017	52	3920	56	27	35	28	29	7						182	418,6	16-03-2017	4
07-03-2017	53	4026	59	30	23	30								142	326,6	17-03-2017	4
16-03-2017	54	3887	21	39	53									113	259,9	17-03-2017	4
17-03-2017	55	3920	70	18										88	202,4	17-03-2017	4
10-03-2017	56	3887	47	26	36	22								131	301,3	15-03-2017	4
13-03-2017	57	3920	69	95										164	377,2	17-03-2017	4
13-03-2017	58	3920	54	51	45	32	19							201	462,3	17-03-2017	4
15-03-2017	59	3920	84	30	35									149	342,7	17-03-2017	4
16-03-2017	60	3920	3											3	6,9		4
<b>Total</b>														<b>5067</b>	<b>11654,1</b>	<b>Média: 388,5</b>	

Anexo 22 – Exemplo do registo dos dados de perfuração durante um ensaio (continuação).



DATA		TURNO		NOME		MOVIMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTO		PERCUSSÃO - CONTADOR 1		PERCUSSÃO - CONTADOR 2		JF Nº	
Inicio	Fim	1	2	3				B1	B2	B1	B2		
08/02/14	19:50	1						2681	2688	2637	2641		18
<b>MOVIMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTO</b>													
HORA	TIPO	CÓDIGO DE FRENTE	MINÉRIO	INTERRUPÇÕES / ACTIVIDADES	FURAÇÃO	CONSUMO DE AÇO	TIPO	Quant.	Med.	OBSERVAÇÕES			
19:45	MZ	LS 801-2B	MZ	ME ESC X FS SR SS DF D FA IS AV	28	4,5	BITS						
19:50	MZ	LS 803-1A	MZ	ME ESC FP FS SR SS X D FA IS AV			BIT-ALARGADOR						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			ENCABADOURO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			UNIÃO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			BARRAS						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			PILOTO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			BITS A RODAR						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			Nº DE FUROS						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			Braco Esq.						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			1	12					
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			2	10					
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			3	20	14				
HORAS ABASTECIMENTO													
HORAS MAQUINA													
LITROS GAS.													
BOMBA ABASTECIMENTO													
CHAVE GAS.													
1º													
2º													

DATA		TURNO		NOME		MOVIMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTO		PERCUSSÃO - CONTADOR 1		PERCUSSÃO - CONTADOR 2		JS Nº	
Inicio	Fim	1	2	3				B1	B2	B1	B2		
06/02/14	12:00	1						3121	3125	3125	3125		12
<b>MOVIMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTO</b>													
HORA	TIPO	CÓDIGO DE FRENTE	MINÉRIO	INTERRUPÇÕES / ACTIVIDADES	FURAÇÃO	CONSUMO DE AÇO	TIPO	Quant.	Med.	OBSERVAÇÕES			
12:00	MZ	LS 270-1A	MZ	ME ESC FP FS SR SS X DF D FA IS AV	32	2,5	BITS						
12:30	MZ	LS 270-2B	MZ	ME ESC FP FS SR SS X D FA IS AV			BIT-ALARGADOR						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			ENCABADOURO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			UNIÃO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			BARRAS						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			PILOTO						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			BITS A RODAR A CADA 16 FUROS (2º CARREGAMENTO DA CASSETE)						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			1º Bit						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			2º Bit						
	MZ		MZ	ME ESC FP FS SR SS DF D FA IS AV			3º Bit						
HORAS ABASTECIMENTO													
HORAS MAQUINA													
LITROS GAS.													
BOMBA ABASTECIMENTO													
CHAVE GAS.													
1º													
2º													

Anexo 22 – Exemplo do registo dos dados de perfuração durante um ensaio (continuação).

Variáveis	1					
Descrição	Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)					
Código Variável	CMF					
Modalidade	<0,315]	]0,315 - 0,576]	]0,576-1,020]	]1,020-1,359]	]1,359-1,701]	]1,701>
Código Modalidade	CMF1	CMF2	CMF3	CMF4	CMF5	CMF6
c1	0	1	0	0	0	0
c2	0	1	0	0	0	0
c3	0	1	0	0	0	0
c4	0	1	0	0	0	0
c5	0	1	0	0	0	0
c6	0	1	0	0	0	0
c7	1	0	0	0	0	0
c8	1	0	0	0	0	0
c9	1	0	0	0	0	0
c10	0	0	0	0	1	0
c11	0	0	0	0	1	0
c12	0	0	0	0	1	0
c13	0	0	0	0	1	0
c14	0	0	0	0	1	0
c15	0	0	0	0	1	0
c16	0	0	0	0	0	1
c17	0	0	0	0	0	1
c18	0	0	0	0	0	1
c19	0	0	1	0	0	0
c20	0	0	0	1	0	0
c21	0	0	1	0	0	0
c22	0	0	0	1	0	0
c23	0	0	0	0	0	1
c24	0	0	1	0	0	0
c25	0	1	0	0	0	0
c26	0	0	1	0	0	0
c27	0	1	0	0	0	0
c28	0	1	0	0	0	0
c29	1	0	0	0	0	0
c30	1	0	0	0	0	0
c31	1	0	0	0	0	0
c32	1	0	0	0	0	0
c33	0	1	0	0	0	0
c34	0	1	0	0	0	0
c35	0	1	0	0	0	0
c36	0	1	0	0	0	0
c37	0	1	0	0	0	0
c38	0	1	0	0	0	0
c39	0	0	1	0	0	0
c40	0	1	0	0	0	0
c41	0	0	1	0	0	0
c42	0	1	0	0	0	0
c43	0	1	0	0	0	0
c44	0	1	0	0	0	0
c45	0	0	0	1	0	0
c46	0	0	0	1	0	0
c47	0	0	0	1	0	0
c48	0	0	1	0	0	0
c49	0	0	1	0	0	0
c50	0	0	1	0	0	0
c51	1	0	0	0	0	0
c52	1	0	0	0	0	0
c53	1	0	0	0	0	0
c54	1	0	0	0	0	0
c55	1	0	0	0	0	0
c56	1	0	0	0	0	0
c57	1	0	0	0	0	0
c58	1	0	0	0	0	0
c59	1	0	0	0	0	0
c60	1	0	0	0	0	0
c61	1	0	0	0	0	0
c62	1	0	0	0	0	0
c63	1	0	0	0	0	0

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios.



Variáveis	1					
Descrição	Custo Por Metro (CPM) de furação (€/m)					
Código Variável	CMF					
Modalidade	<0,315]	]0,315 - 0,576]	]0,576-1,020]	]1,020-1,359]	]1,359-1,701]	]1,701>
c64	1	0	0	0	0	0
c65	1	0	0	0	0	0
c66	1	0	0	0	0	0
c67	1	0	0	0	0	0
c68	1	0	0	0	0	0
c69	0	1	0	0	0	0
c70	0	0	1	0	0	0
c71	0	0	1	0	0	0
c72	0	0	1	0	0	0
c73	1	0	0	0	0	0
c74	1	0	0	0	0	0
c75	1	0	0	0	0	0
c76	1	0	0	0	0	0
	CMF1	CMF2	CMF3	CMF4	CMF5	CMF6
Total	29	20	12	5	6	4
Total de variáveis	76					
Percentual	38%	26%	16%	7%	8%	5%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	2				3		
Descrição	Numero de afiações por bit (und)				Diametro de furação (mm)		
Código Variável	NAB				DF		
Modalidade	[0]	]0-2]	]2-6]	]6>	[38]	[43-51]	[57]
Código Modalidade	NAB1	NAB2	NAB3	NAB4	DF1	DF2	DF3
c1	0	0	1	0	0	1	0
c2	0	0	1	0	0	1	0
c3	0	0	0	1	0	1	0
c4	0	0	1	0	0	1	0
c5	0	0	1	0	0	1	0
c6	0	0	1	0	0	1	0
c7	0	0	1	0	0	1	0
c8	0	0	0	1	0	1	0
c9	0	0	0	1	0	1	0
c10	0	0	0	1	0	0	1
c11	0	0	1	0	0	0	1
c12	0	0	1	0	0	0	1
c13	0	0	1	0	0	0	1
c14	0	0	1	0	0	0	1
c15	0	0	1	0	0	0	1
c16	0	0	1	0	0	0	1
c17	0	0	1	0	0	0	1
c18	0	0	1	0	0	0	1
c19	1	0	0	0	1	0	0
c20	1	0	0	0	1	0	0
c21	0	1	0	0	1	0	0
c22	0	1	0	0	1	0	0
c23	1	0	0	0	1	0	0
c24	1	0	0	0	1	0	0
c25	0	1	0	0	1	0	0
c26	0	0	1	0	1	0	0
c27	0	1	0	0	0	1	0
c28	0	0	1	0	0	1	0
c29	0	0	1	0	0	1	0
c30	0	1	0	0	0	1	0
c31	0	1	0	0	0	1	0
c32	0	1	0	0	0	1	0
c33	0	1	0	0	0	1	0
c34	0	1	0	0	0	1	0
c35	0	0	1	0	0	1	0
c36	0	0	1	0	0	1	0
c37	0	0	1	0	0	1	0
c38	0	0	1	0	0	1	0
c39	0	1	0	0	1	0	0
c40	0	1	0	0	1	0	0
c41	0	1	0	0	1	0	0
c42	0	1	0	0	1	0	0
c43	0	1	0	0	1	0	0
c44	0	1	0	0	1	0	0
c45	1	0	0	0	1	0	0
c46	1	0	0	0	1	0	0
c47	1	0	0	0	1	0	0
c48	0	1	0	0	1	0	0
c49	0	1	0	0	1	0	0
c50	0	1	0	0	1	0	0
c51	0	0	1	0	0	1	0
c52	0	0	1	0	0	1	0
c53	0	0	1	0	0	1	0
c54	0	0	0	1	0	1	0
c55	0	0	1	0	0	1	0
c56	0	0	0	1	0	1	0
c57	0	0	1	0	0	1	0
c58	0	0	1	0	0	1	0
c59	0	0	1	0	0	1	0
c60	0	0	1	0	0	1	0
c61	0	0	0	1	0	1	0
c62	0	0	1	0	0	1	0
c63	0	0	1	0	0	1	0

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	2				3		
Descrição	Numero de afiações por bit (und)				Diametro de furação (mm)		
Código Variável	NAB				DF		
Modalidade	[0]	]0-2]	]2-6]	]6>	[38]	[43-51]	[57]
c64	0	0	1	0	0	1	0
c65	0	0	1	0	0	1	0
c66	0	0	0	1	0	1	0
c67	0	0	1	0	0	1	0
c68	0	0	1	0	0	1	0
c69	0	1	0	0	0	1	0
c70	0	1	0	0	0	1	0
c71	0	1	0	0	0	1	0
c72	0	0	1	0	0	1	0
c73	0	1	0	0	0	1	0
c74	0	1	0	0	0	1	0
c75	0	0	1	0	0	1	0
c76	0	0	1	0	0	1	0
	NAB1	NAB2	NAB3	NAB4	DF1	DF2	DF3
Total	7	23	38	8	20	47	9
Total de variáveis	76				76		
Percentual	9%	30%	50%	11%	26%	62%	12%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	4		5		
Descrição	Sentido furação (n/a)		Metros furados (m)		
Código Variável	SF		MF		
Modalidade	Horizontal	Vertical ascendente	<28.000]	]28.000-76.000]	]76.000>
Código Modalidade	SF1	SF2	MF1	MF2	MF3
c1	1	0	0	1	0
c2	1	0	0	1	0
c3	1	0	0	1	0
c4	1	0	0	1	0
c5	1	0	0	1	0
c6	1	0	1	0	0
c7	1	0	0	1	0
c8	1	0	0	1	0
c9	1	0	1	0	0
c10	0	1	1	0	0
c11	0	1	1	0	0
c12	0	1	1	0	0
c13	0	1	1	0	0
c14	0	1	1	0	0
c15	0	1	1	0	0
c16	0	1	1	0	0
c17	0	1	1	0	0
c18	0	1	1	0	0
c19	0	1	1	0	0
c20	0	1	1	0	0
c21	0	1	1	0	0
c22	0	1	1	0	0
c23	0	1	1	0	0
c24	0	1	1	0	0
c25	0	1	1	0	0
c26	0	1	1	0	0
c27	1	0	1	0	0
c28	1	0	1	0	0
c29	1	0	1	0	0
c30	1	0	1	0	0
c31	1	0	1	0	0
c32	1	0	0	1	0
c33	1	0	0	1	0
c34	1	0	0	0	1
c35	1	0	0	1	0
c36	1	0	0	1	0
c37	1	0	0	1	0
c38	1	0	0	1	0
c39	0	1	1	0	0
c40	0	1	1	0	0
c41	0	1	1	0	0
c42	0	1	1	0	0
c43	0	1	1	0	0
c44	0	1	1	0	0
c45	0	1	1	0	0
c46	0	1	1	0	0
c47	0	1	1	0	0
c48	0	1	1	0	0
c49	0	1	1	0	0
c50	0	1	1	0	0
c51	1	0	0	0	1
c52	1	0	0	0	1
c53	1	0	0	0	1
c54	1	0	0	0	1
c55	1	0	0	0	1
c56	1	0	0	0	1
c57	1	0	0	0	1
c58	1	0	0	1	0
c59	1	0	0	0	1
c60	1	0	0	0	1
c61	1	0	0	0	1
c62	1	0	0	0	1
c63	1	0	0	0	1

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	4		5		
Descrição	Sentido furação (n/a)		Metros furados (m)		
Código Variável	SF		MF		
Modalidade	Horizontal	Vertical ascendente	<28.000]	]28.000-76.000]	]76.000>
c64	1	0	0	0	1
c65	1	0	0	0	1
c66	1	0	0	0	1
c67	1	0	0	0	1
c68	1	0	0	0	1
c69	1	0	0	1	0
c70	1	0	0	1	0
c71	1	0	0	1	0
c72	1	0	1	0	0
c73	1	0	1	0	0
c74	1	0	1	0	0
c75	1	0	1	0	0
c76	1	0	1	0	0
	SF1	SF2	MF1	MF2	MF3
Total	47	29	41	17	18
Total de variáveis	76		76		
Percentual	62%	38%	54%	22%	24%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	6						7					
Descrição	BIT (m/und)						VARA (m/und)					
Código Variável	RB						RV					
Modalidade	<133]	]133-188]	]188-212]	]212-287]	]287-541]	]541>	<310]	]310-430]	]430-664]	]664-899]	]899-2027]	]2027>
Código Modalidade	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6	RV1	RV2	RV3	RV4	RV5	RV6
c1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
c11	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
c12	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
c13	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
c14	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
c15	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
c16	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
c17	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
c19	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c20	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c21	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c22	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c23	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c24	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c25	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
c26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c27	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
c32	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c34	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c35	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c36	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c39	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c40	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
c41	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c42	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c43	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c44	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
c45	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c46	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c47	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c48	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c49	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
c50	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
c51	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c52	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c53	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c54	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c55	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c56	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c57	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c58	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c59	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c60	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c61	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c62	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c63	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	6						7					
Descrição	BIT (m/und)						VARA (m/und)					
Código Variável	RB						RV					
Modalidade	<133]	]133-188]	]188-212]	]212-287]	]287-541]	]541>	<310]	]310-430]	]430-664]	]664-899]	]899-2027]	]2027>
c64	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c65	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c66	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c67	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c68	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c69	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c70	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
c71	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
c72	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c73	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c74	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
c75	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
c76	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	RB1	RB2	RB3	RB4	RB5	RB6	RV1	RV2	RV3	RV4	RV5	RV6
Total	8	10	6	4	39	9	9	7	9	4	18	29
Total de variáveis	76						76					
Percentual	11%	13%	8%	5%	51%	12%	12%	9%	12%	5%	24%	38%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	8			9				
Descrição	UNIÃO (m/und)			SHANK (m/und)				
Código Variável	RU			RS				
Modalidade	<3.000]	]3.000>	n/a	<1.049]	]1.049-1.559]	]1.559-2.110]	]2.110-6.530]	]6.530>
Código Modalidade	RU1	RU2	RU3	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5
c1	0	1	0	0	0	0	1	0
c2	1	0	0	0	0	1	0	0
c3	0	1	0	0	0	0	0	1
c4	0	1	0	0	0	0	1	0
c5	0	1	0	0	0	1	0	0
c6	0	1	0	0	0	0	1	0
c7	0	1	0	0	0	0	1	0
c8	0	1	0	0	0	0	1	0
c9	0	1	0	0	0	0	1	0
c10	0	0	1	1	0	0	0	0
c11	0	0	1	1	0	0	0	0
c12	0	0	1	1	0	0	0	0
c13	0	0	1	0	1	0	0	0
c14	0	0	1	1	0	0	0	0
c15	0	0	1	1	0	0	0	0
c16	0	0	1	1	0	0	0	0
c17	0	0	1	1	0	0	0	0
c18	0	0	1	0	1	0	0	0
c19	0	0	1	0	1	0	0	0
c20	0	0	1	0	0	1	0	0
c21	0	0	1	0	0	1	0	0
c22	0	0	1	0	1	0	0	0
c23	1	0	0	1	0	0	0	0
c24	1	0	0	0	1	0	0	0
c25	0	0	1	0	1	0	0	0
c26	0	0	1	0	0	1	0	0
c27	0	1	0	0	0	0	1	0
c28	0	1	0	0	0	0	1	0
c29	0	1	0	0	0	0	1	0
c30	0	1	0	0	0	0	1	0
c31	0	1	0	0	0	0	1	0
c32	0	1	0	0	0	0	0	1
c33	0	1	0	0	1	0	0	0
c34	0	1	0	0	1	0	0	0
c35	0	1	0	0	1	0	0	0
c36	0	1	0	0	1	0	0	0
c37	0	1	0	0	1	0	0	0
c38	0	1	0	0	1	0	0	0
c39	0	0	1	0	1	0	0	0
c40	0	0	1	0	1	0	0	0
c41	0	0	1	0	1	0	0	0
c42	0	0	1	0	0	0	1	0
c43	0	0	1	0	0	0	1	0
c44	0	0	1	0	0	0	1	0
c45	0	0	1	1	0	0	0	0
c46	0	0	1	1	0	0	0	0
c47	0	0	1	1	0	0	0	0
c48	0	0	1	1	0	0	0	0
c49	0	0	1	1	0	0	0	0
c50	0	0	1	1	0	0	0	0
c51	0	1	0	0	0	0	1	0
c52	0	1	0	0	0	0	1	0
c53	0	1	0	0	0	0	1	0
c54	0	1	0	0	0	0	0	1
c55	0	1	0	0	0	0	1	0
c56	0	1	0	0	0	0	1	0
c57	0	1	0	0	0	0	1	0
c58	0	1	0	0	0	0	0	1
c59	0	1	0	0	0	0	1	0
c60	0	1	0	0	0	0	1	0
c61	0	1	0	0	0	0	0	1
c62	0	1	0	0	0	0	0	1
c63	0	1	0	0	0	0	1	0

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).



Variáveis	10			
Descrição	Configuração de bit (n/a)			
Código Variável	CB			
Modalidade	Face plana, botões R	Face plana, botões SB	Face convexa, botões R	Face convexa, botões SB
Código Modalidade	CB1	CB2	CB3	CB4
c1	1	0	0	0
c2	1	0	0	0
c3	1	0	0	0
c4	1	0	0	0
c5	1	0	0	0
c6	1	0	0	0
c7	1	0	0	0
c8	1	0	0	0
c9	1	0	0	0
c10	0	0	1	0
c11	0	0	0	1
c12	0	0	0	1
c13	0	0	0	1
c14	0	0	0	1
c15	0	0	0	1
c16	0	0	0	1
c17	0	0	0	1
c18	0	0	0	1
c19	0	0	1	0
c20	0	0	1	0
c21	0	0	1	0
c22	0	0	1	0
c23	0	0	1	0
c24	0	0	1	0
c25	0	0	1	0
c26	0	0	1	0
c27	0	1	0	0
c28	0	1	0	0
c29	0	1	0	0
c30	0	1	0	0
c31	0	1	0	0
c32	0	1	0	0
c33	1	0	0	0
c34	1	0	0	0
c35	1	0	0	0
c36	1	0	0	0
c37	1	0	0	0
c38	1	0	0	0
c39	0	0	1	0
c40	0	0	1	0
c41	0	0	1	0
c42	0	0	1	0
c43	0	0	1	0
c44	0	0	1	0
c45	0	0	1	0
c46	0	0	1	0
c47	0	0	1	0
c48	0	0	1	0
c49	0	0	1	0
c50	0	0	1	0
c51	0	0	0	1
c52	0	0	0	1
c53	0	0	0	1
c54	0	0	0	1
c55	0	0	0	1
c56	0	0	0	1
c57	0	0	0	1
c58	0	0	0	1
c59	0	0	0	1
c60	0	0	0	1
c61	0	0	0	1
c62	0	0	0	1
c63	0	0	1	0

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	10			
Descrição	Configuração de bit (n/a)			
Código Variável	CB			
Modalidade	Face plana, botões R	Face plana, botões SB	Face convexa, botões R	Face convexa, botões SB
c64	0	0	1	0
c65	0	0	1	0
c66	0	0	1	0
c67	0	0	1	0
c68	0	0	1	0
c69	0	1	0	0
c70	0	1	0	0
c71	1	0	0	0
c72	1	0	0	0
c73	0	1	0	0
c74	0	1	0	0
c75	0	0	0	1
c76	0	0	0	1
	CB1	CB2	CB3	CB4
Total	17	10	27	22
Total de variáveis	76			
Percentual	22%	13%	36%	29%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Descrição	Furos de limpeza na face do bit (und)						Secção de varas (mm)			
Código Variável	FL						SV			
Modalidade	1+1	1+2	2+2	3+1	3+2	3+3	H28	H32	H35	R35
Código Modalidade	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5	FL6	SV1	SV2	SV3	SV4
c1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c4	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c7	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c8	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c9	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
c11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c18	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
c19	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
c20	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c21	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c22	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c23	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c24	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c25	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c26	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c27	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
c28	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c29	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c31	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c32	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c33	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c34	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c35	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c36	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c37	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c38	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c39	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c40	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c41	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c42	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c43	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c44	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
c45	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c46	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c47	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c48	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c49	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c50	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
c51	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c52	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c53	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c54	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c55	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c56	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c57	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c58	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c59	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c60	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c61	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c62	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c63	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	11						12			
Descrição	Furos de limpeza na face do bit (und)						Secção de varas (mm)			
Código Variável	FL						SV			
Modalidade	1+1	1+2	2+2	3+1	3+2	3+3	H28	H32	H35	R35
c64	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c65	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c66	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c67	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c68	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
c69	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c70	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c71	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c72	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c73	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c74	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
c75	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
c76	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5	FL6	SV1	SV2	SV3	SV4
Total	20	5	2	6	28	15	10	10	47	9
Total de variáveis	76						76			
Percentual	26%	7%	3%	8%	37%	20%	13%	13%	62%	12%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	13		14		
Descrição	Tipo de rocha		Abrasividade		
Código Variável	TR		ABR		
Modalidade	Dura	Mto. Dura >220Mpa	Baixa <20%SiO2	Intermédia	Alta >40%SiO2
Código Modalidade	TR2	TR3	ABR1	ABR2	ABR3
c1	0	1	0	0	1
c2	0	1	0	0	1
c3	0	1	0	0	1
c4	0	1	0	0	1
c5	0	1	0	0	1
c6	0	1	0	0	1
c7	0	1	0	0	1
c8	0	1	0	0	1
c9	0	1	0	0	1
c10	0	1	0	0	1
c11	0	1	0	0	1
c12	0	1	0	0	1
c13	0	1	0	0	1
c14	0	1	0	0	1
c15	0	1	0	0	1
c16	0	1	0	0	1
c17	0	1	0	0	1
c18	0	1	0	0	1
c19	0	1	0	0	1
c20	0	1	0	0	1
c21	0	1	0	1	0
c22	0	1	0	1	0
c23	0	1	0	1	0
c24	0	1	0	1	0
c25	0	1	0	1	0
c26	0	1	0	1	0
c27	0	1	0	1	0
c28	0	1	0	1	0
c29	0	1	0	1	0
c30	0	1	1	0	0
c31	0	1	1	0	0
c32	0	1	0	0	1
c33	0	1	0	1	0
c34	0	1	0	1	0
c35	0	1	0	1	0
c36	0	1	1	0	0
c37	0	1	1	0	0
c38	0	1	1	0	0
c39	0	1	1	0	0
c40	0	1	1	0	0
c41	0	1	1	0	0
c42	0	1	0	1	0
c43	0	1	0	1	0
c44	0	1	0	1	0
c45	0	1	1	0	0
c46	0	1	1	0	0
c47	0	1	1	0	0
c48	0	1	1	0	0
c49	0	1	1	0	0
c50	0	1	1	0	0
c51	1	0	0	1	0
c52	1	0	0	1	0
c53	1	0	0	1	0
c54	1	0	0	1	0
c55	1	0	0	1	0
c56	1	0	0	1	0
c57	1	0	0	1	0
c58	1	0	0	1	0
c59	1	0	0	1	0
c60	1	0	0	1	0
c61	1	0	0	1	0
c62	1	0	0	1	0
c63	1	0	0	1	0

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	13		14		
Descrição	Tipo de rocha		Abrasividade		
Código Variável	TR		ABR		
Modalidade	Dura	Mto. Dura >220Mpa	Baixa <20%SiO2	Intermédia	Alta >40%SiO2
c64	1	0	0	1	0
c65	1	0	0	1	0
c66	1	0	0	1	0
c67	1	0	0	1	0
c68	1	0	0	1	0
c69	1	0	0	1	0
c70	1	0	0	1	0
c71	1	0	0	1	0
c72	1	0	0	1	0
c73	1	0	1	0	0
c74	1	0	1	0	0
c75	1	0	1	0	0
c76	1	0	1	0	0
	TR1	TR2	ABR1	ABR2	ABR3
Total	26	50	18	37	21
Total de variáveis	76		76		
Percentual	34%	66%	24%	49%	28%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	15		16			17		
Descrição	Condição da rocha		Perda diam. bit			Perda botões bit		
Código Variável	CR		PDB			PBB		
Modalidade	Sólida	Fraturada/partida	<18%	18% - 25%	>25%	<9,5%	9,5% - 15,5%	>15,5%
Código Modalidade	CR1	CR2	PDB1	PDB2	PDB3	PBB1	PBB2	PBB3
c1	1	0	1	0	0	1	0	0
c2	1	0	1	0	0	1	0	0
c3	1	0	1	0	0	1	0	0
c4	1	0	1	0	0	0	0	1
c5	1	0	1	0	0	0	0	1
c6	1	0	1	0	0	0	0	1
c7	1	0	1	0	0	1	0	0
c8	1	0	0	1	0	1	0	0
c9	1	0	0	0	1	1	0	0
c10	1	0	1	0	0	0	0	1
c11	0	1	1	0	0	1	0	0
c12	0	1	0	0	1	0	0	1
c13	0	1	1	0	0	0	1	0
c14	0	1	1	0	0	1	0	0
c15	0	1	1	0	0	1	0	0
c16	0	1	0	1	0	0	0	1
c17	0	1	1	0	0	0	1	0
c18	0	1	0	1	0	1	0	0
c19	0	1	1	0	0	1	0	0
c20	0	1	1	0	0	1	0	0
c21	0	1	1	0	0	1	0	0
c22	0	1	1	0	0	1	0	0
c23	0	1	1	0	0	1	0	0
c24	0	1	1	0	0	1	0	0
c25	0	1	1	0	0	1	0	0
c26	0	1	0	1	0	1	0	0
c27	0	1	0	1	0	1	0	0
c28	0	1	0	0	1	0	1	0
c29	0	1	0	0	1	1	0	0
c30	0	1	0	0	1	0	0	1
c31	0	1	0	0	1	0	0	1
c32	0	1	0	0	1	0	0	1
c33	0	1	1	0	0	0	0	1
c34	0	1	1	0	0	0	1	0
c35	0	1	1	0	0	0	1	0
c36	0	1	1	0	0	1	0	0
c37	0	1	1	0	0	1	0	0
c38	0	1	0	1	0	1	0	0
c39	0	1	0	0	1	1	0	0
c40	0	1	0	1	0	1	0	0
c41	0	1	0	1	0	1	0	0
c42	0	1	0	1	0	1	0	0
c43	0	1	0	0	1	0	1	0
c44	0	1	1	0	0	1	0	0
c45	0	1	1	0	0	1	0	0
c46	0	1	1	0	0	1	0	0
c47	0	1	1	0	0	1	0	0
c48	0	1	0	0	1	1	0	0
c49	0	1	0	0	1	1	0	0
c50	0	1	0	0	1	1	0	0
c51	0	1	0	1	0	0	0	1
c52	0	1	0	0	1	0	0	1
c53	0	1	0	0	1	0	0	1
c54	0	1	0	0	1	0	0	1
c55	0	1	0	1	0	0	0	1
c56	0	1	0	0	1	0	0	1
c57	0	1	0	0	1	0	0	1
c58	0	1	0	0	1	0	0	1
c59	0	1	0	0	1	0	0	1
c60	0	1	0	0	1	0	0	1
c61	0	1	0	0	1	0	0	1
c62	0	1	0	0	1	0	0	1
c63	0	1	0	0	1	0	0	1

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	15		16			17		
Descrição	Condição da rocha		Perda diam. bit			Perda botões bit		
Código Variável	CR		PDB			PBB		
Modalidade	Sólida	Fraturada/partida	< 18%	18% - 25%	> 25%	< 9,5%	9,5% - 15,5%	> 15,5%
c64	0	1	0	0	1	0	0	1
c65	0	1	0	0	1	0	0	1
c66	0	1	0	0	1	0	0	1
c67	0	1	0	0	1	0	0	1
c68	0	1	0	0	1	0	0	1
c69	0	1	1	0	0	1	0	0
c70	0	1	1	0	0	1	0	0
c71	0	1	1	0	0	1	0	0
c72	0	1	1	0	0	1	0	0
c73	0	1	0	1	0	0	0	1
c74	0	1	1	0	0	1	0	0
c75	0	1	0	0	1	0	1	0
c76	0	1	0	0	1	0	0	1
	CR1	CR2	PDB1	PDB2	PDB3	PBB1	PBB2	PBB3
Total	10	66	34	12	30	39	7	30
Total de variáveis	76		76			76		
Percentual	13%	87%	45%	16%	39%	51%	9%	39%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).



Variáveis	18			19		
Descrição	Perda material (no circuito ou terreno)			Quebra na coluna de furação		
Código Variável	PM			QC		
Modalidade	<22%]	]22% - 37%]	]37% >	<30%]	]30% - 38%]	]38% >
Código Modalidade	PM1	PM2	PM3	QC1	QC2	QC3
c1	0	1	0	0	0	1
c2	0	0	1	0	0	1
c3	1	0	0	0	0	1
c4	1	0	0	0	0	1
c5	0	1	0	0	1	0
c6	1	0	0	0	0	1
c7	0	1	0	0	0	1
c8	1	0	0	0	0	1
c9	1	0	0	0	0	1
c10	0	1	0	1	0	0
c11	0	1	0	0	0	1
c12	1	0	0	1	0	0
c13	1	0	0	0	0	1
c14	0	1	0	0	0	1
c15	0	1	0	0	0	1
c16	1	0	0	0	0	1
c17	1	0	0	0	0	1
c18	1	0	0	0	0	1
c19	0	0	1	1	0	0
c20	0	0	1	1	0	0
c21	0	0	1	0	0	1
c22	0	1	0	0	0	1
c23	0	0	1	1	0	0
c24	0	0	1	0	1	0
c25	0	0	1	0	0	1
c26	0	0	1	0	1	0
c27	0	1	0	0	0	1
c28	1	0	0	1	0	0
c29	0	1	0	0	1	0
c30	0	1	0	1	0	0
c31	0	1	0	1	0	0
c32	0	1	0	1	0	0
c33	0	0	1	1	0	0
c34	0	0	1	1	0	0
c35	0	0	1	1	0	0
c36	0	0	1	0	0	1
c37	0	0	1	0	1	0
c38	0	0	1	0	1	0
c39	0	0	1	1	0	0
c40	0	1	0	0	1	0
c41	0	0	1	1	0	0
c42	0	0	1	1	0	0
c43	0	0	1	1	0	0
c44	0	0	1	1	0	0
c45	0	0	1	0	1	0
c46	0	0	1	0	1	0
c47	0	0	1	1	0	0
c48	0	1	0	0	1	0
c49	0	1	0	0	1	0
c50	0	1	0	0	1	0
c51	1	0	0	0	1	0
c52	1	0	0	1	0	0
c53	1	0	0	1	0	0
c54	1	0	0	1	0	0
c55	1	0	0	0	0	1
c56	1	0	0	1	0	0
c57	1	0	0	1	0	0
c58	1	0	0	1	0	0
c59	1	0	0	1	0	0
c60	1	0	0	1	0	0
c61	1	0	0	1	0	0
c62	1	0	0	1	0	0
c63	1	0	0	1	0	0

Anexo 23 – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Variáveis	18			19		
Descrição	Perda material (no circuito ou terreno)			Quebra na coluna de furação		
Código Variável	PM			QC		
Modalidade	< 22%]	]22% - 37%]	]37% >	< 30%]	]30% - 38%]	]38% >
c64	1	0	0	1	0	0
c65	1	0	0	1	0	0
c66	1	0	0	1	0	0
c67	1	0	0	1	0	0
c68	1	0	0	1	0	0
c69	0	0	1	0	0	1
c70	0	0	1	1	0	0
c71	0	0	1	0	0	1
c72	1	0	0	0	0	1
c73	1	0	0	0	0	1
c74	1	0	0	0	0	1
c75	1	0	0	0	0	1
c76	1	0	0	0	1	0
	PM1	PM2	PM3	QC1	QC2	QC3
Total	34	17	25	35	14	27
Total de variáveis	76			76		
Percentual	45%	22%	33%	46%	18%	36%

**Anexo 23** – Computação de dados dos diferentes ensaios (continuação).

Eixos Fatoriais → Indivíduos ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
c1			5.17			
c2			3.72	3.05		
c3			4.69	2.33		
c4			2.50	1.94		
c5			2.66	3.28		1.61
c6			2.68			
c7			3.03	1.47	2.33	1.40
c8			2.08	1.31	1.48	1.45
c9				1.18	2.47	2.04
c10		5.55				
c11		9.01				
c12		9.39				
c13		8.06				
c14		9.21				
c15		9.03				
c16		9.11				
c17		7.18				2.45
c18		6.04			2.92	1.41
c19	2.65				1.47	
c20	3.71			6.23		
c21	2.40					
c22	2.96					
c23	3.01			3.58		5.62
c24	3.01					
c25	2.21					
c26	2.42					2.15
c27				2.28		
c28				1.68	1.32	
c29					3.74	
c30				2.28	7.71	2.27
c31				2.28	7.71	2.27
c32					3.11	1.35
c33		1.58	2.47		3.43	
c34		1.39	2.25		3.13	
c35			3.33		5.41	
c36			4.49		2.09	
c37		1.62	3.62		1.97	
c38		1.57	3.25		2.39	
c39	2.33			1.88	1.40	3.15
c40	1.99			2.42		1.81
c41	2.46			3.42	3.65	1.63
c42	1.39			2.31	1.40	
c43				3.16	3.43	
c44	1.42			2.04		
c45	4.65			6.10	1.89	1.59
c46	4.65			6.10	1.89	1.59
c47	4.23		1.49	5.69	1.36	1.74
c48	2.99				1.76	2.03
c49	2.82					4.08
c50	2.82					4.08
c51	1.37					
c52	1.84		1.67			
c53	1.84		1.67			
c54	1.85		2.23			
c55	1.34					
c56	1.72		1.89			
c57	1.84		1.67			
c58	1.80					
c59	1.84		1.67			
c60	1.84		1.67			
c61	2.09		2.08			
c62	1.98		2.00			
c63	1.47		1.80			
c64	1.47		1.80			
c65	1.59		2.14			
c66	1.35		2.03			
c67	1.38		2.29			
c68	1.27		1.94			
c69			1.28	1.42		2.46
c70		1.92		1.48		
c71		1.62				
c72					0.98	
c73				9.17	5.98	16.78
c74				6.60	4.86	15.16
c75						2.52
c76						1.04

**Anexo 24 - Contribuições absolutas (>1,32) de cada individuo nos eixos fatoriais retidos**

-1ºensaio -

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
CMF1	2,15	0,65	0,15	0,16	0,02	0,29
CMF2	3,47	1,88	0,00	1,31	0,11	0,07
CMF3	0,66	12,78	0,76	0,36	0,01	0,75
NAB1	2,54	0,63	0,04	8,24	0,08	5,52
NAB2	0,76	2,70	0,17	11,75	0,24	0,79
NAB3	0,97	1,94	0,07	0,78	0,01	0,69
NAB4	0,67	0,25	0,00	1,44	0,12	6,25
DF1	5,50	2,32	0,20	0,28	0,62	0,58
DF2	3,34	0,45	0,42	0,01	0,25	0,16
DF3	0,46	14,46	0,68	0,94	0,00	0,05
SF1	3,34	0,45	0,42	0,01	0,25	0,16
SF2	5,41	0,73	0,69	0,01	0,40	0,26
MF1	2,68	0,19	0,24	1,40	1,25	0,01
MF2	0,71	0,01	11,67	0,13	0,17	0,09
MF3	2,72	0,31	6,63	2,04	1,64	0,17
RB1	4,69	0,91	0,15	3,48	0,07	0,00
RB2	0,14	0,48	0,17	15,99	1,17	5,29
RB3	2,24	0,81	0,00	0,47	0,11	1,12
RV1	3,76	0,15	0,21	0,94	0,00	2,37
RV2	1,40	0,91	0,48	1,01	1,40	3,18
RV3	3,07	0,52	0,40	0,00	0,38	0,00
RU1	0,01	0,22	0,07	0,12	2,62	17,51
RU2	3,24	0,37	0,29	0,31	0,01	0,58
RU3	4,83	1,00	0,66	0,27	0,48	1,39
RS1	2,52	3,30	0,97	1,87	5,09	0,56
RS2	0,93	0,12	2,45	0,13	6,42	0,23
RS3	2,49	0,65	0,26	1,07	0,20	0,01
CB1	0,66	0,05	13,76	1,88	0,77	0,06
CB2	0,21	1,06	0,21	13,02	9,16	0,70
CB3	2,65	1,77	1,32	0,89	1,05	1,77
CB4	0,61	3,88	5,28	0,03	0,02	1,28
FL1	2,89	3,04	0,09	2,01	2,35	0,48
FL2	1,59	1,67	0,05	1,11	1,30	0,26
SV1	2,17	1,27	0,02	3,88	9,76	4,65
SV2	3,40	1,05	0,25	7,36	4,03	1,17
SV3	3,34	0,45	0,42	0,01	0,25	0,16
SV4	0,46	14,46	0,68	0,94	0,00	0,05
TR1	2,74	0,69	4,01	0,00	0,08	3,61

Anexo 25 - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais

-2º ensaio-

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
<b>TR2</b>	1,42	0,36	2,08	0,00	0,04	1,88
<b>ABR1</b>	0,84	1,55	0,03	0,00	9,36	0,11
<b>ABR2</b>	0,57	1,58	1,95	0,10	4,06	0,40
<b>ABR3</b>	0,02	7,96	2,87	0,17	0,02	1,32
<b>CR1</b>	0,42	1,15	9,45	2,04	0,10	4,49
<b>CR2</b>	0,06	0,17	1,43	0,31	0,01	0,68
<b>PDB1</b>	0,61	0,40	4,69	0,35	1,50	5,26
<b>PDB2</b>	0,06	0,01	0,01	2,22	0,02	1,82
<b>PDB3</b>	0,97	0,53	5,59	0,10	1,47	2,53
<b>PBB1</b>	1,92	0,15	2,60	0,00	0,04	0,06
<b>PBB2</b>	0,00	0,47	0,02	1,46	2,06	2,42
<b>PBB3</b>	2,45	0,01	3,15	0,42	0,21	1,08
<b>PM1</b>	2,22	0,55	2,58	0,27	0,03	0,35
<b>PM2</b>	0,34	0,44	0,55	0,85	11,73	8,37
<b>PM3</b>	1,59	1,98	1,60	0,02	6,84	2,88
<b>QC1</b>	0,28	0,67	3,39	0,01	3,36	1,25
<b>QC2</b>	0,85	0,88	0,07	4,20	7,21	0,24
<b>QC3</b>	0,00	2,58	3,61	1,91	0,02	2,64

**Anexo 25** - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais

-2º ensaio- (continuação).

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
CMF1	-0,57	-0,23	-0,09	0,08	0,03	0,09
CMF2	1,23	-0,66	-0,01	-0,38	-0,10	-0,07
CMF3	0,70	2,24	0,47	0,26	0,04	-0,31
NAB1	1,64	-0,60	0,12	-1,48	-0,14	-1,02
NAB2	0,49	-0,68	-0,15	0,97	0,13	0,21
NAB3	-0,44	0,45	0,07	-0,20	-0,02	-0,16
NAB4	-0,79	0,35	-0,02	-0,58	-0,16	1,02
DF1	1,43	-0,68	0,17	-0,16	-0,23	0,20
DF2	-0,73	-0,19	-0,16	-0,02	0,09	-0,07
DF3	0,62	2,52	0,47	0,44	0,02	-0,08
SF1	-0,73	-0,19	-0,16	-0,02	0,09	-0,07
SF2	1,18	0,31	0,26	0,03	-0,15	0,11
MF1	0,70	0,14	0,13	0,25	0,23	-0,01
MF2	-0,56	-0,05	-1,42	-0,12	-0,13	-0,09
MF3	-1,06	-0,26	1,04	-0,46	-0,39	0,11
RB1	1,39	-0,45	0,16	-0,60	0,08	0,00
RB2	0,32	-0,43	-0,22	1,72	-0,44	-0,84
RB3	-0,59	0,26	-0,01	-0,13	0,06	0,18
RV1	1,32	0,19	0,20	-0,33	0,00	-0,44
RV2	0,90	0,52	0,33	0,38	-0,42	0,57
RV3	-0,70	-0,21	-0,16	0,01	0,12	-0,01
RU1	0,10	-0,35	-0,17	0,18	0,79	-1,82
RU2	-0,76	-0,19	-0,14	-0,12	-0,02	0,14
RU3	1,15	0,38	0,27	0,14	-0,17	0,26
RS1	1,16	0,96	0,45	-0,50	0,78	-0,23
RS2	0,59	-0,16	-0,60	-0,11	-0,73	0,12
RS3	-0,67	-0,25	0,13	0,22	0,09	0,02
CB1	-0,54	0,11	-1,54	-0,45	-0,28	0,07
CB2	-0,39	-0,64	-0,25	1,55	1,24	-0,30
CB3	0,86	-0,51	0,38	-0,25	-0,25	0,29
CB4	-0,45	0,83	0,84	-0,05	-0,04	-0,28
FL1	0,89	-0,67	0,10	0,37	0,38	0,15
FL2	-0,49	0,37	-0,05	-0,20	-0,21	-0,08
SV1	1,27	-0,71	0,07	0,85	-1,28	0,78
SV2	1,59	-0,64	0,27	-1,17	0,82	-0,39
SV3	-0,73	-0,19	-0,16	-0,02	0,09	-0,07
SV4	0,62	2,52	0,47	0,44	0,02	-0,08
TR1	-0,89	-0,32	0,67	-0,01	-0,07	-0,43

Anexo 26 - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais – 2º ensaio -

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
TR2	0,46	0,17	-0,35	0,00	0,04	0,22
ABR1	0,59	-0,58	-0,07	0,00	0,93	-0,09
ABR2	-0,34	-0,41	0,39	0,07	-0,43	-0,12
ABR3	0,09	1,22	-0,63	-0,12	-0,04	0,29
CR1	-0,56	0,67	-1,66	-0,61	0,13	0,77
CR2	0,08	-0,10	0,25	0,09	-0,02	-0,12
PDB1	0,36	0,21	-0,64	-0,14	-0,27	-0,45
PDB2	0,19	0,05	-0,04	0,59	0,05	0,45
PDB3	-0,49	-0,26	0,74	-0,08	0,29	0,33
PBB1	0,61	-0,12	-0,44	0,01	0,04	-0,05
PBB2	-0,03	0,51	0,09	0,62	-0,70	-0,68
PBB3	-0,78	0,04	0,55	-0,16	0,11	0,22
PM1	-0,70	0,25	0,47	-0,12	-0,04	-0,12
PM2	0,38	0,32	-0,31	0,30	1,07	0,81
PM3	0,69	-0,56	-0,43	-0,04	-0,68	-0,39
QC1	-0,25	-0,27	0,53	0,02	-0,40	0,22
QC2	0,67	-0,50	-0,12	-0,75	0,93	0,15
QC3	-0,03	0,61	-0,63	0,36	0,04	-0,36

**Anexo 26** - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais – 2º ensaio – (continuação).

Eixos Fatoriais → Indivíduos ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
c1			6.19			
c2			7.59			1.51
c3			5.22			
c4			3.84			
c5			5.11	1.70		1.85
c6			2.24			
c7			6.19			
c8			4.45			2.36
c9			2.00			2.28
c10		7.55				5.90
c11		9.33				
c12		7.70	2.46			
c13		8.61			1.55	
c14		8.89				
c15		8.00		1.38		1.42
c16		8.80				
c17		8.71				2.77
c18		7.60				
c19	2.81				5.01	
c20	3.38				3.73	
c21	2.41			2.65	4.13	
c22	2.70					
c23	2.91			2.53		7.55
c24	3.09			2.99		3.00
c25	2.26					
c26	2.62					
c27				4.65	3.02	
c28				1.49		
c29					5.04	
c30				2.45	5.64	1.49
c31				2.45	5.64	1.49
c32				1.78	2.82	2.02
c33			1.67		1.57	
c34					3.29	
c35			1.87		3.09	
c36			4.03			
c37			3.45			
c38			2.83			
c39	2.60				1.47	3.26
c40	1.87					5.53
c41	2.86				1.78	3.54
c42				6.29	3.31	1.83
c43				6.17	4.35	
c44	1.37			3.36	3.12	
c45	4.44			5.29	1.34	1.54
c46	4.44			5.29	1.34	1.54
c47	4.00			3.77		1.44
c48	3.20				5.20	2.38
c49	3.38				6.27	
c50	3.38				6.27	
c51	1.28					
c52	1.73		2.00			
c53	1.73		2.00			
c54	1.85		1.92			
c55	1.47					
c56	1.85		1.92			
c57	1.73		2.00			
c58	1.58					
c59	1.73		2.00			
c60	1.73		2.00			
c61	1.85		1.92			
c62	1.73		2.00			
c63	1.35		1.63			
c64	1.35		1.63			
c65	1.35		1.63			
c66	1.45		1.56			
c67	1.35		1.63			
c68	1.35		1.63			
c69				4.30		3.84
c70				2.88		2.84
c71			2.10			3.31
c72						0.82
c73				8.10	4.02	4.31
c74				6.69	3.24	8.09
c75						6.03
c76					3.24	2.34

Anexo 27 – Contribuições absolutas (>1,32) de cada individuo nos eixos fatoriais retidos

-2º ensaio -



AFCB 1º Ensaio – 76 indivíduos, 19 variáveis, 71 modalidades

Eixos Factoriais	Valor Proprio	% Exp	% Acum
1	0,5	19,9	19,9
2	0,3	10,9	30,8
3	0,3	9,5	40,4
4	0,2	6,3	46,7
5	0,2	5,5	52,2
6	0,1	4,8	57,1

**Anexo 28** - Valores próprios e taxa de inércia transporta por eixo fatorial.

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
<b>CMF1</b>	3,2	0,0	3,0	0,0	1,2	0,0
<b>CMF2</b>	0,0	1,9	5,7	0,0	1,8	0,1
<b>CMF3</b>	1,5	0,9	0,3	1,2	0,5	2,1
<b>CMF4</b>	1,9	0,4	0,9	6,9	1,4	2,0
<b>CMF5</b>	0,3	8,8	0,9	0,2	0,2	0,1
<b>CMF6</b>	0,4	2,7	0,0	0,0	0,4	3,8
<b>NAB1</b>	2,5	0,4	1,2	7,7	0,8	3,3
<b>NAB2</b>	0,7	2,4	0,0	9,0	0,2	0,3
<b>NAB3</b>	0,9	1,5	0,1	0,4	1,1	0,2
<b>NAB4</b>	0,6	0,3	0,0	1,4	0,5	2,8
<b>DF1</b>	5,2	1,3	1,5	0,0	0,1	0,6
<b>DF2</b>	3,1	0,7	0,1	0,0	0,1	0,1
<b>DF3</b>	0,4	12,7	1,1	0,3	0,0	0,3
<b>SF1</b>	3,1	0,7	0,1	0,0	0,1	0,1
<b>SF2</b>	5,1	1,1	0,2	0,0	0,1	0,1
<b>MF1</b>	2,4	0,3	0,0	1,3	1,4	0,0
<b>MF2</b>	0,5	1,5	6,8	1,2	0,1	0,0
<b>MF3</b>	2,6	0,1	5,0	0,4	2,1	0,0
<b>RB1</b>	2,8	0,5	1,5	6,9	1,9	2,2
<b>RB2</b>	1,7	0,0	0,1	1,8	1,4	3,4
<b>RB3</b>	0,1	1,1	0,0	3,2	0,3	1,2
<b>RB4</b>	0,0	0,0	0,3	3,4	0,9	3,7
<b>RB5</b>	1,8	0,8	0,0	0,5	1,5	0,1
<b>RB6</b>	0,3	0,0	1,8	0,0	5,3	4,9
<b>RV1</b>	2,7	0,1	0,8	5,5	0,2	3,4
<b>RV2</b>	1,0	1,5	0,0	1,7	0,1	0,6
<b>RV3</b>	1,1	1,3	0,0	0,2	0,0	1,9
<b>RV4</b>	0,2	0,0	0,0	1,8	3,6	0,0
<b>RV5</b>	0,2	2,5	5,2	1,3	0,0	1,9
<b>RV6</b>	3,2	0,0	1,9	1,0	0,3	0,8
<b>RU1</b>	0,0	0,2	0,0	0,1	2,5	11,4
<b>RU2</b>	3,0	0,6	0,1	0,3	0,1	0,6
<b>RU3</b>	4,5	1,4	0,1	0,3	0,2	0,5
<b>RS1</b>	2,3	3,7	0,1	0,6	2,3	0,1
<b>RS2</b>	0,7	0,5	1,3	0,1	8,0	0,0
<b>RS3</b>	0,3	0,3	0,1	1,8	0,0	0,2
<b>RS4</b>	1,6	0,4	0,1	1,2	1,0	0,2
<b>RS5</b>	1,1	0,0	0,8	0,5	0,0	0,9

**Anexo 29** - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais

- 1ºensaio -

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
<b>CB1</b>	0,4	1,2	8,9	2,8	0,5	0,2
<b>CB2</b>	0,3	1,0	0,2	7,5	9,1	0,9
<b>CB3</b>	2,4	0,5	2,9	0,1	0,2	1,2
<b>CB4</b>	0,6	5,8	1,0	0,0	0,9	1,0
<b>FL1</b>	4,6	1,4	1,2	0,0	0,0	0,5
<b>FL2</b>	0,2	0,2	0,0	2,3	7,5	2,5
<b>FL3</b>	0,0	0,3	0,0	4,8	3,8	12,7
<b>FL4</b>	0,0	1,5	3,9	0,1	6,2	0,4
<b>FL5</b>	2,1	0,0	0,0	1,8	0,1	0,2
<b>FL6</b>	0,0	7,6	0,1	0,1	1,2	0,4
<b>SV1</b>	2,1	0,9	0,3	1,1	2,7	0,8
<b>SV2</b>	3,1	0,4	1,4	1,5	1,4	0,0
<b>SV3</b>	3,1	0,7	0,1	0,0	0,1	0,1
<b>SV4</b>	0,4	12,7	1,1	0,3	0,0	0,3
<b>TR2</b>	2,8	0,0	3,7	0,2	0,3	2,3
<b>TR3</b>	1,4	0,0	1,9	0,1	0,1	1,2
<b>ABR1</b>	0,7	1,3	0,1	1,0	2,1	0,2
<b>ABR2</b>	0,5	0,6	1,9	0,1	2,8	0,0
<b>ABR3</b>	0,0	4,1	4,4	1,7	0,8	0,4
<b>CR1</b>	0,3	0,0	5,4	4,7	2,6	2,9
<b>CR2</b>	0,0	0,0	0,8	0,7	0,4	0,4
<b>PDB1</b>	0,7	0,0	3,3	2,1	0,0	2,0
<b>PDB2</b>	0,1	0,0	0,1	2,4	0,7	0,1
<b>PDB3</b>	1,1	0,0	4,4	0,3	0,3	2,9
<b>PBB1</b>	1,9	0,5	0,8	0,0	0,2	0,0
<b>PBB2</b>	0,0	0,1	0,6	0,5	1,9	0,7
<b>PBB3</b>	2,5	0,5	1,8	0,1	0,0	0,1
<b>PM1</b>	2,2	1,2	1,0	0,0	0,1	0,9
<b>PM2</b>	0,3	0,3	0,6	0,8	7,1	6,0
<b>PM3</b>	1,7	3,1	0,3	0,3	3,3	0,8
<b>QC1</b>	0,3	0,1	2,4	0,0	1,0	0,7
<b>QC2</b>	0,8	0,7	0,1	0,3	0,5	0,8
<b>QC3</b>	0,0	0,8	4,0	0,1	0,4	2,5

**Anexo 29** - Contribuição absoluta de cada modalidade na construção dos eixos fatoriais

- 1º ensaio -(continuação).

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
CMF1	-0,93	0,02	0,63	-0,06	-0,31	-0,01
CMF2	-0,03	-0,64	-1,04	-0,04	0,45	0,10
CMF3	0,99	-0,56	0,29	-0,49	0,30	0,58
CMF4	1,75	-0,60	0,84	1,85	-0,77	-0,88
CMF5	0,61	2,51	-0,76	-0,25	-0,27	0,20
CMF6	0,84	1,71	-0,14	0,14	0,46	-1,35
NAB1	1,67	-0,52	0,82	1,66	-0,48	-0,95
NAB2	0,48	-0,67	-0,06	-0,99	-0,13	0,16
NAB3	-0,43	0,42	-0,12	0,15	0,25	-0,09
NAB4	-0,78	0,39	0,01	0,66	-0,38	0,81
DF1	1,42	-0,52	0,53	0,04	0,11	0,23
DF2	-0,72	-0,25	-0,10	0,04	-0,06	-0,05
DF3	0,61	2,47	-0,67	-0,29	0,09	-0,23
SF1	-0,72	-0,25	-0,10	0,04	-0,06	-0,05
SF2	1,17	0,41	0,16	-0,06	0,10	0,09
MF1	0,67	0,19	0,06	-0,28	-0,27	-0,04
MF2	-0,49	-0,61	-1,23	0,42	0,11	0,04
MF3	-1,07	0,15	1,02	0,24	0,51	0,06
RB1	1,66	-0,54	0,83	1,46	-0,73	-0,73
RB2	1,15	-0,14	0,22	-0,67	0,56	0,81
RB3	0,38	-0,90	-0,10	-1,16	0,32	-0,63
RB4	0,24	0,15	-0,49	-1,45	-0,70	-1,33
RB5	-0,61	0,29	0,04	0,17	0,29	-0,06
RB6	-0,49	-0,11	-0,86	0,12	-1,13	1,02
RV1	1,54	-0,21	0,58	1,24	-0,23	-0,86
RV2	1,04	0,95	-0,12	-0,78	-0,16	0,40
RV3	0,98	0,79	0,02	-0,24	0,10	0,64
RV4	0,63	0,11	-0,02	-1,07	1,41	0,13
RV5	-0,30	-0,78	-1,04	-0,43	0,05	-0,45
RV6	-0,94	0,06	0,49	0,29	-0,15	0,23
RU1	0,06	-0,39	0,14	-0,16	-0,88	-1,76
RU2	-0,75	-0,24	-0,09	0,13	0,06	0,17
RU3	1,15	0,48	0,11	-0,16	0,14	0,19
RS1	1,14	1,06	0,12	0,32	-0,60	-0,09
RS2	0,61	-0,38	-0,58	-0,15	1,08	0,00
RS3	0,71	-0,51	-0,34	0,96	0,08	0,24
RS4	-0,60	-0,22	0,11	-0,30	-0,26	-0,11
RS5	-1,04	0,08	0,63	0,40	0,08	0,47

Anexo 30 - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais – 1º ensaio -

Modalidades	Eixos Fatoriais					
	1	2	3	4	5	6
<b>CB1</b>	-0,45	-0,54	-1,40	0,64	0,24	0,16
<b>CB2</b>	-0,47	-0,66	-0,24	-1,37	-1,41	-0,42
<b>CB3</b>	0,84	-0,29	0,63	0,11	0,13	0,29
<b>CB4</b>	-0,48	1,07	0,42	-0,01	0,29	-0,29
<b>FL1</b>	1,35	-0,55	0,48	-0,05	0,02	0,22
<b>FL2</b>	-0,61	-0,45	-0,01	-1,08	-1,81	0,98
<b>FL3</b>	-0,40	-0,74	-0,15	-2,44	-2,03	-3,48
<b>FL4</b>	-0,25	-1,03	-1,56	0,25	1,50	-0,36
<b>FL5</b>	-0,77	-0,05	-0,07	0,40	-0,10	0,12
<b>FL6</b>	0,00	1,48	0,15	-0,10	0,42	-0,22
<b>SV1</b>	1,28	-0,61	0,32	-0,53	0,77	0,40
<b>SV2</b>	1,57	-0,43	0,73	0,61	-0,55	0,06
<b>SV3</b>	-0,72	-0,25	-0,10	0,04	-0,06	-0,05
<b>SV4</b>	0,61	2,47	-0,67	-0,29	0,09	-0,23
<b>TR2</b>	-0,91	-0,04	0,73	-0,13	0,15	-0,41
<b>TR3</b>	0,47	0,02	-0,38	0,07	-0,08	0,21
<b>ABR1</b>	0,56	-0,55	0,14	-0,37	-0,50	-0,15
<b>ABR2</b>	-0,33	-0,26	0,44	-0,08	0,41	-0,03
<b>ABR3</b>	0,11	0,92	-0,89	0,45	-0,29	0,19
<b>CR1</b>	-0,51	0,04	-1,43	1,08	-0,76	0,74
<b>CR2</b>	0,08	-0,01	0,22	-0,16	0,11	-0,11
<b>PDB1</b>	0,41	-0,07	-0,60	0,39	0,00	-0,33
<b>PDB2</b>	0,20	0,03	-0,16	-0,70	0,36	-0,14
<b>PDB3</b>	-0,55	0,07	0,75	-0,16	-0,15	0,43
<b>PBB1</b>	0,62	-0,25	-0,27	0,02	-0,11	0,01
<b>PBB2</b>	0,02	0,27	-0,55	-0,42	0,77	-0,42
<b>PBB3</b>	-0,81	0,26	0,48	0,08	-0,04	0,09
<b>PM1</b>	-0,71	0,40	0,34	0,05	0,08	-0,23
<b>PM2</b>	0,34	0,29	-0,38	-0,34	-0,95	0,82
<b>PM3</b>	0,74	-0,73	-0,21	0,16	0,54	-0,25
<b>QC1</b>	-0,26	-0,09	0,50	-0,02	0,25	0,19
<b>QC2</b>	0,66	-0,46	0,18	0,23	-0,28	0,32
<b>QC3</b>	-0,01	0,35	-0,75	-0,10	-0,17	-0,42

Anexo 30 - Coordenadas de cada modalidade nos eixos fatoriais -1º ensaio - (continuação).

Eixos Fatoriais→ Indivíduos↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
c1	-0.37		-1.01			
c2	-0.23		-0.86	0.63		
c3	-0.49		-0.96	0.55		
c4	-0.59		-0.70	0.51		
c5	-0.37		-0.73	0.66		0.40
c6	-0.46		-0.73			
c7	-0.47		-0.78	0.44	-0.52	0.38
c8	-0.58		-0.64	0.42	-0.41	0.38
c9	-0.55			0.39	-0.53	0.45
c10	0.39	1.12			-0.54	0.68
c11	0.53	1.43				
c12	0.27	1.46				
c13	0.38	1.35				
c14	0.54	1.45				
c15	0.60	1.43				
c16	0.36	1.44				
c17	0.59	1.28				-0.50
c18	0.40	1.17			0.58	-0.38
c19	1.05	-0.08			0.41	
c20	1.24	-0.33		0.91		
c21	1.00	-0.45				
c22	1.11	-0.31				
c23	1.12	-0.14		0.69		-0.75
c24	1.12	-0.44				
c25	0.96	-0.24				
c26	1.00	-0.23				0.47
c27	-0.07			-0.55		
c28	-0.46			-0.47	-0.39	
c29	-0.39				-0.66	
c30	-0.43			-0.55	-0.94	0.48
c31	-0.43			-0.55	-0.94	0.48
c32	-0.53				-0.60	0.37
c33	-0.26	-0.60	-0.70		0.63	
c34	-0.23	-0.56	-0.67		0.60	
c35	-0.27		-0.81		0.79	
c36	-0.14		-0.94		0.49	
c37	-0.09	-0.61	-0.85		0.48	
c38	-0.11	-0.60	-0.80		0.52	
c39	0.98	-0.33		-0.50	0.40	0.56
c40	0.91	-0.43		-0.56		0.43
c41	1.01	-0.39		-0.67	0.65	0.41
c42	0.76	-0.37		-0.55	0.40	
c43	0.64			-0.64	0.63	
c44	0.77	-0.26		-0.52		
c45	1.39	-0.34		0.90	-0.47	-0.40
c46	1.39	-0.34		0.90	-0.47	-0.40
c47	1.32	-0.31	0.54	0.87	-0.39	-0.42
c48	1.11	-0.15			-0.45	0.45
c49	1.08	-0.09				0.64
c50	1.08	-0.09				0.64
c51	-0.75	0.06				
c52	-0.87	0.10	0.58			
c53	-0.87	0.10	0.58			
c54	-0.87	0.28	0.67			
c55	-0.75	0.29				
c56	-0.84	0.25	0.61			
c57	-0.87	0.10	0.58			
c58	-0.86	0.06				
c59	-0.87	0.10	0.58			
c60	-0.87	0.10	0.58			
c61	-0.93	0.13	0.64			
c62	-0.90	0.13	0.63			
c63	-0.78	-0.03	0.60			
c64	-0.78	-0.03	0.60			
c65	-0.81	0.00	0.65			
c66	-0.75	0.12	0.63			
c67	-0.76	0.15	0.67			
c68	-0.72	0.12	0.62			
c69	-0.30	-0.53	-0.50	-0.43		-0.50
c70	-0.24	-0.66		-0.44		
c71	-0.22	-0.61				
c72	-0.18				0.34	
c73	-0.36			-1.10	-0.83	-1.30
c74	-0.23			-0.93	-0.75	-1.24
c75	-0.55					-0.50
c76	-0.56					-0.32

Anexo 31 – Coordenadas dos indivíduos nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 1º ensaio.

AFCB 2º Ensaio – 76 indivíduos, 19 variáveis, 56 modalidades

<b>Eixos Factoriais</b>	<b>Valor Próprio</b>	<b>% Exp</b>	<b>% Acum</b>
1	0,52	26,51	26,51
2	0,27	14,03	40,54
3	0,20	10,40	50,94
4	0,13	6,60	57,53
5	0,12	5,93	63,47
6	0,09	4,71	68,18

**Anexo 32** - Valores próprios e taxa de inércia transposta por eixo fatorial.

Eixos Fatoriais → Modalidades ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
CMF1	2.15					
CMF2	3.47	1.88				
CMF3		12.78				
NAB1	2.54			8.24		5.52
NAB2		2.70		11.75		
NAB3		1.94				
NAB4						6.25
DF1	5.50	2.32				
DF2	3.34					
DF3		14.46				
SF1	3.34					
SF2	5.41					
MF1	2.68					
MF2			11.67			
MF3	2.72		6.63	2.04		
RB1	4.69			3.48		
RB2				15.99		5.29
RB3	2.24					
RV1	3.76					2.37
RV2						3.18
RV3	3.07					
RU1					2.62	17.51
RU2	3.24					
RU3	4.83					
RS1	2.52	3.30		1.87	5.09	
RS2			2.45		6.42	
RS3	2.49					
CB1			13.76	1.88		
CB2				13.02	9.16	
CB3	2.65					
CB4		3.88	5.28			
FL1	2.89	3.04		2.01	2.35	
FL2	1.59	1.67				
SV1	2.17			3.88	9.76	4.65
SV2	3.40			7.36	4.03	
SV3	3.34					
SV4		14.46				
TR1	2.74		4.01			3.61
TR2			2.08			1.88
ABR1		1.55			9.36	
ABR2		1.58	1.95		4.06	
ABR3		7.96	2.87			
CR1			9.45	2.04		4.49
CR2			1.43			
PDB1			4.69			5.26
PDB2				2.22		1.82
PDB3			5.59			2.53
PBB1	1.92		2.60			
PBB2					2.06	2.42
PBB3	2.45		3.15			
PM1	2.22		2.58			
PM2					11.73	8.37
PM3		1.98			6.84	2.88
QC1			3.39		3.36	
QC2				4.20	7.21	
QC3		2.58	3.61	1.91		2.64

**Anexo 33** – Contribuições absolutas (> 1,79) de cada modalidade nos eixos fatoriais retidos

- 2º ensaio -



<b>Eixos Fatoriais → Modalidades ↓</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 4</b>	<b>Eixo 5</b>	<b>Eixo 6</b>
CMF1	-0.57	-0.23				
CMF2	1.23	-0.66				
CMF3	0.70	2.24				
NAB1	1.64	-0.60		-1.48		-1.02
NAB2	0.49	-0.68		0.97		
NAB3	-0.44	0.45				
NAB4	-0.79					1.02
DF1	1.43	-0.68				
DF2	-0.73	-0.19				
DF3	0.62	2.52				
SF1	-0.73	-0.19				
SF2	1.18	0.31				
MF1	0.70	0.14				
MF2	-0.56		-1.42			
MF3	-1.06	-0.26	1.04	-0.46		
RB1	1.39	-0.45		-0.60		
RB2	0.32			1.72		-0.84
RB3	-0.59	0.26	-0.01	-0.13	0.06	0.18
RV1	1.32					-0.44
RV2	0.90					0.57
RV3	-0.70	-0.21				
RU1	0.10				0.79	-1.82
RU2	-0.76	-0.19				
RU3	1.15	0.38				
RS1	1.16	0.96		-0.50	0.78	
RS2	0.59		-0.60		-0.73	
RS3	-0.67	-0.25				
CB1	-0.54		-1.54	-0.45		
CB2	-0.39			1.55	1.24	
CB3	0.86	-0.51				
CB4	-0.45	0.83	0.84			
FL1	0.89	-0.67		0.37	0.38	
FL2	-0.49	0.37				
SV1	1.27	-0.71		0.85	-1.28	0.78
SV2	1.59	-0.64		-1.17	0.82	
SV3	-0.73	-0.19				
SV4	0.62	2.52				
TR1	-0.89	-0.32	0.67			-0.43
TR2	0.46		-0.35			0.22
ABR1	0.59	-0.58			0.93	
ABR2	-0.34	-0.41	0.39		-0.43	
ABR3	0.09	1.22	-0.63			
CR1	-0.56		-1.66	-0.61		0.77
CR2	0.08		0.25			
PDB1	0.36		-0.64			-0.45
PDB2	0.19			0.59		0.45
PDB3	-0.49		0.74			0.33
PBB1	0.61		-0.44			
PBB2	-0.03				-0.70	-0.68
PBB3	-0.78	0.04	0.55			
PM1	-0.70	0.25	0.47			
PM2	0.38				1.07	0.81
PM3	0.69	-0.56			-0.68	-0.39
QC1	-0.25		0.53		-0.40	
QC2	0.67			-0.75	0.93	
QC3	-0.03	0.61	-0.63	0.36		-0.36

**Anexo 34** – Coordenadas das modalidades nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 2º ensaio.

Eixos Fatoriais → Indivíduos ↓	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
c1	-0.45		-0.98			
c2	-0.28		-1.08			-0.32
c3	-0.56		-0.90			
c4	-0.63		-0.77			
c5	-0.41		-0.89	-0.41		0.36
c6	-0.54		-0.59			
c7	-0.45		-0.98			
c8	-0.57		-0.83			0.41
c9	-0.53		-0.55			0.40
c10	0.42	1.25				0.64
c11	0.51	1.39				
c12	0.25	1.26	0.62			
c13	0.35	1.34			-0.37	
c14	0.54	1.36				
c15	0.61	1.29		0.37		-0.31
c16	0.35	1.35				
c17	0.56	1.34				-0.44
c18	0.38	1.26				
c19	1.05	-0.18			-0.66	
c20	1.15	-0.29			-0.57	
c21	0.97	-0.37		0.51	-0.60	
c22	1.03	-0.28				
c23	1.07	-0.11		-0.50		-0.73
c24	1.10	-0.51		-0.54		-0.46
c25	0.94	-0.32				
c26	1.01	-0.34				
c27	-0.18			0.67	0.52	
c28	-0.44			0.38		
c29	-0.24				0.67	
c30	-0.28			0.49	0.70	0.32
c31	-0.28			0.49	0.70	0.32
c32	-0.41			0.42	0.50	0.38
c33	-0.37		-0.51		-0.37	
c34	-0.35				-0.54	
c35	-0.39		-0.54		-0.52	
c36	-0.25		-0.79			
c37	-0.20		-0.73			
c38	-0.22		-0.66			
c39	1.01	-0.49			-0.36	0.48
c40	0.86	-0.42				0.62
c41	1.06	-0.46			-0.39	0.50
c42	0.69			0.78	-0.54	0.36
c43	0.59			0.78	-0.62	
c44	0.73	-0.42		0.57	-0.52	
c45	1.32	-0.37		-0.72	0.34	-0.33
c46	1.32	-0.37		-0.72	0.34	-0.33
c47	1.25	-0.35		-0.61		-0.32
c48	1.12	-0.31			0.68	0.41
c49	1.15	-0.34			0.74	
c50	1.15	-0.34			0.74	
c51	-0.71	-0.08				
c52	-0.82	-0.09	0.56			
c53	-0.82	-0.09	0.56			
c54	-0.85	-0.10	0.54			
c55	-0.76	0.03				
c56	-0.85	-0.10	0.54			
c57	-0.82	-0.09	0.56			
c58	-0.79	-0.07				
c59	-0.82	-0.09	0.56			
c60	-0.82	-0.09	0.56			
c61	-0.85	-0.10	0.54			
c62	-0.82	-0.09	0.56			
c63	-0.73	-0.22	0.50			
c64	-0.73	-0.22	0.50			
c65	-0.73	-0.22	0.50			
c66	-0.75	-0.23	0.49			
c67	-0.73	-0.22	0.50			
c68	-0.73	-0.22	0.50			
c69	-0.37			0.65		-0.52
c70	-0.25			0.53		-0.44
c71	-0.25		-0.57			-0.48
c72	-0.13					-0.24
c73	-0.26			0.89	0.59	-0.55
c74	-0.14			0.81	0.53	-0.75
c75	-0.50					-0.65
c76	-0.50				0.53	-0.40

Anexo 35 – Coordenadas dos indivíduos nos eixos fatoriais. Resultado obtido no 2º ensaio.