



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



THOMAS FERREIRA JARDIM

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BROCAS TRICônicas 9 7/8"

**OURO PRETO - MG
2017**

THOMAS FERREIRA JARDIM
tho_jardim@hotmail.com

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BROCAS TRICÔNICAS 9 7/8”

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Minas.

Professor orientador: Prof^a. Mestre Flávia Gomes

OURO PRETO – MG
2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 24 dias do mês de março de 2017, às 15:00h, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BROCAS TRICÔNICAS 9 7/8”**, pelo aluno **Thomas Ferreira Jardim**, sendo a comissão avaliadora formada por **Profª. M.Sc. Flavia Gomes (Orientadora)**, **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** e **Engª de Minas Mariana Queiroz Pinho**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação... do candidato, com a nota 9,5... concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 24 de março de 2017.

Profª. M.Sc. Flávia Gomes Pinto

Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

Membro da Comissão Avaliadora

Engª de Minas Mariana Queiroz Pinho

Membro da Comissão Avaliadora

Thomas Ferreira Jardim

Prof. Ms.C. José Fernando Miranda

Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

AGRADECIMENTO

- A Deus;
- Aos meus pais pela confiança, Deuslânia, Dilermano e Vanderlei;
- A minha irmã Cecília e minha afilhada Isabela;
- A minha namorada Larissa pelo amor e companheirismo;
- Aos amigos que tive a honra de conhecer;
- A Gloriosa Republica Vaticano, moradores e Ex-Alunos pelo apoio nessa caminhada.
- Aos colegas de curso;
- A Fundação Gorceix.
- Ao DEMIN e todos seus professores pela formação de qualidade.
- A minha orientadora Flavia.

Veni, vidi, vici.

Júlio Cesar

RESUMO

No atual cenário da mineração do Brasil, a redução de custos se tornou essencial para todas as etapas do ciclo produtivo das empresas. A operação de perfuração de rocha é uma etapa muito importante na lavra de minas. Características do maciço rochoso, escala de produção e baixo custo operacional, finalidade da perfuração são informações cruciais para a determinação do(s) método(s) de perfuração aplicados pelas empresas. Foi realizado estudo de revisão bibliográfica acerca dos principais métodos de perfuração, parâmetros de controle, ferramentas de perfuração, desgaste, propriedades das rochas e custos. Os dados utilizados no presente trabalho, são de uma empresa de grande porte de mineração de ferro, localizada no quadrilátero ferrífero. Posteriormente apresenta-se um estudo de caso visando a investigação do método ideal de perfuração para as litologias friáveis da mina. A metodologia utilizada visou a redução de custos na operação de perfuração, resultando em ganhos econômicos para a empresa.

Palavras chaves: Mineração, Perfuração, Brocas Tricônicas, Taxa de Perfuração, *Total drilling cost*.

ABSTRACT

In the current Brazilian mining scenario, cost reduction has become essential for all stages of the companies' productive cycle. The operation of rock drilling is a very important stage in mining. Characteristics of the rock mass, scale of production, low operating cost and drilling purpose are crucial information for the determination of the method or methods of drilling applied by the companies. A bibliographic review study was carried out on the main drilling methods, control parameters, drilling tools, wear, rock properties and costs. The data used in this work are from a large iron mining company located in the Iron Quadrangle. Afterwards, a case study is presented to investigate the ideal drilling method for the friable lithologies of the mine. The methodology used aimed at reducing costs in the drilling operation, resulting in economic gains for the company.

Keywords: Mining, Drilling, Tricone Bits, Drilling Ratio, Total drilling cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Componentes de uma perfuratriz percussiva.	14
Figura 2.2 - Componentes de uma perfuratriz Rotopercussiva.	15
Figura 2.3 - Funcionamento de uma perfuratriz DTH – Down the Hole.	16
Figura 2.4 - Componentes de uma perfuratriz de Rotativa.....	17
Figura 2.5 - Componentes das ferramentas seccionadas.	21
Figura 2.6 - Classificação da dureza Mohs com a dureza Rockwell.	24
Figura 2.7 - Resistência a compressão uniaxial.....	26
Figura 4.1 - Economia mensal.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fatores para seleção de perfuratrizes.....	13
Tabela 2.2 - Conversão de velocidade a diâmetros distintos.....	19
Tabela 2.3 - Geometria dos botões e suas aplicações.....	22
Tabela 4.1 - Levantamentos de dados.	34
Tabela 4.2 - Custos diretos e indiretos da perfuração.....	34
Tabela 4.3 - Custo metro perfurado.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Formulação do Problema	9
1.2	Justificativa	10
1.3	Objetivos	10
1.3.1	Objetivo geral.....	10
1.3.2	Objetivos específicos.....	10
1.4	Estrutura do Trabalho.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	Perfuração em rocha.....	12
2.2	Principais métodos	12
2.2.1	Perfuração percussiva.....	13
2.2.2	Perfuração rotopercussiva	15
2.2.3	Perfuratrizes de Martelo de Fundo (DTH – Down the Hole).....	16
2.2.4	Perfuração rotativa	17
2.3	Taxa de Penetração.....	18
2.4	Ferramentas de perfuração	19
2.4.1	Punho.....	20
2.4.2	Haste.....	20
2.4.3	Luvras	20
2.4.4	Brocas de Perfuração.....	21
2.5	Desgaste	22
2.6	Propriedades das rochas que afetam a perfuração	23
2.6.1	Dureza	24
2.6.2	Resistência.....	25
2.6.3	Elasticidade:	27
2.6.4	Plasticidade.....	27
2.6.5	Abrasividade.....	27
2.6.6	Textura	28
2.6.7	Estrutura	28
2.7	Custo de Perfuração	28
3	METODOLOGIA.....	30
4	ESTUDO DE CASO	32
4.1	Esquema de perfuração	32
4.2	Análise segundo o custo de produção	32
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	38
	ANEXO	39

1 INTRODUÇÃO

Com a economia globalizada e com a grande competitividade do mercado, as empresas necessitam reduzir o custo de produção ao máximo sem que haja perda na qualidade do produto final. Produzir cada vez mais, com menos recursos e com maior velocidade, passaram a ser desafios comuns para as empresas que se preocupam em permanecer no mercado.

Pomorski (1997) enuncia que as inovações de produto, melhoria dos serviços aos clientes e a excelência de produção tem se tornado pontos fortes para aumentar a competitividade das empresas.

Assim, os processos produtivos deverão ser cada vez mais aprimorados e simplificados para maiores resultados para as empresas. Estas exigências visam buscar maior desempenho de seus ativos. Aprimorar seus controles através de indicadores assertivos considerando as principais variáveis de seu processo contribui para se tornar um diferencial competitivo no mercado cada vez mais concorrido como o de mineração.

Na mineração a perfuração é uma operação unitária de grande importância e impacto no orçamento da mina. Esta operação precede às demais e tem grande relevância na obtenção de bons resultados no desmonte e carregamento dos materiais o que implica na necessidade de aumentar o conhecimento acerca dos principais parâmetros envolvidos.

Um dos principais elementos que formam os custos na operação de perfuração é o custo com ferramentas de desgaste. A escolha e uso correto das ferramentas de perfuração estão diretamente relacionados com sua vida útil e perfurabilidade do maciço rochoso, proporciona o aumento de sua performance e conseqüentemente permite uma considerável economia.

1.1 Formulação do Problema

A operação de perfuração é sempre alvo de constantes estudos a fim de melhorar os indicadores de produção. O método atual utilizado pela empresa, consiste na perfuração por rotopercussão com martelo de fundo *Down the Hole* estava sendo questionado por não apresentar os resultados esperados em todas as litologias da mina, gerando a necessidade de estudos para assegurar uma melhor eficiência da operação unitária.

Como o estudo e implantação de novas ferramentas de desgaste podem contribuir para o desenvolvimento e/ou melhoria dos processos de perfuração de grandes indústrias do setor mineral do nosso país?

1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho é pautada na necessidade de definir a ferramenta de perfuração mais propícia para uso nas diversas litologias da mina em estudo. Neste estudo serão tratados elementos como indicadores, padronização e a atuação da área de operação de mina no Departamento de Infraestrutura.

Segundo Tangen (2003), as medições de desempenho são frequentemente usadas para a melhoria da competitividade e lucratividade dos sistemas de manufatura. Medições de desempenho mais apropriadas asseguram aos gestores uma perspectiva em longo prazo que permite alocar os recursos de maneira mais eficiente.

A etapa de perfuração de rocha torna-se complexa, pois necessita de equipamentos de grande porte com baixa capacidade de deslocamento. Possui acessórios com vida útil curta e frequência de manutenção extremamente alta, sua eficiência é altamente variável com a geologia do local trabalhado. Esses fatores fazem dessa etapa ainda mais onerosa e, dada a importância no processo produtivo, indica a necessidade de estudos profundos sobre formas de avaliar e melhorar seu desempenho.

Para tanto, esta investigação tem como problema de pesquisa os estudos do desempenho das brocas tricônicas 9 7/8" e determinar o planejamento para a implantação de ações que possibilitem um avanço nos indicadores de resultado da perfuração.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral é analisar através de indicadores de desempenho se o uso de brocas tricônicas oferece retorno significativo em relação ao método já utilizado na empresa.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar um estudo de revisão bibliográfica sobre a operação unitária de perfuração, utilizando-se de artigos científicos e base de dados disponíveis na literatura atual.
- Apresentar um estudo de caso a respeito da análise de desempenho de brocas tricônicas 9 7/8" utilizadas em uma grande empresa do setor minerário de Minas Gerais – Brasil.

- Compilação e análise dos resultados obtidos.

1.4 Estrutura do Trabalho

No primeiro capítulo faz uma breve introdução acerca da necessidade da melhoria constante das operações unitárias em uma mineradora de grande porte, contendo a formulação do problema, a justificativa, o objetivo geral e específicos bem como a estrutura do trabalho. Já no segundo capítulo diz respeito a uma revisão bibliográfica afim de construir um embasamento teórico e metodológico do assunto estudado. No terceiro capítulo abrange a metodologia empregada no levantamento de dados, além dos métodos utilizados na realização das análises necessárias. O quarto capítulo concretiza as demais partes do trabalho, afim de aplicar os conhecimentos teóricos em um desafio do cotidiano enfrentado pela empresa. Por fim o quinto capítulo espõem as conclusões e propõem trabalhos futuros para um melhor aproveitamento das operações unitárias do departamento de perfuração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Perfuração em rocha

Ao falar de desmonte de rochas, a perfuração é a primeira operação a ser realizada para obtenção de furos no maciço rochoso capazes de alojar as cargas explosivas e os acessórios iniciadores. O método mais simples para se executar furos em uma rocha é golpeá-la, batendo a ponta de uma barra de aço contra a superfície rochosa, e procurando girar um pouco a barra entre dois golpes sucessivos. Este é o princípio básico da precursão, aliado á rotação da ferramenta (GERALDI, 2011).

De acordo com Felix A. *et al.* (2009), a perfuração de rocha é o perfeito sincronismo de quatro movimentos:

- Impacto ou percussão – sua função é de provocar o cisalhamento do material a ser perfurado (rocha ou refratário). O impacto ou percussão é gerado pelo movimento do pistão, e é transmitido pelo punho para as hastes, para a coroa e para o material que está sendo perfurado.
- Rotação – Sua função é reposicionar as pastilhas da coroa, abrindo toda a área do furo. A rotação é feita através de motores e redutores.
- Avanço – Tem como função manter as ferramentas constantemente em contato com a rocha ou refratário, evitando-se assim a flutuação das hastes (aço). Uma perfuratriz pneumática trabalha normalmente com 23 a 27 libras de pressão de avanço.
- Limpeza – Tem como finalidade manter o furo limpo. Furo com detritos prejudica a perfuração, quanto mais limpo o furo maior a velocidade de penetração.

A perfuração de rocha é extremamente importante no sucesso do desmonte de rocha com explosivos. Uma perfuração incorreta no maciço pode acarretar uma série de problemas, tais como fragmentação deficiente, excesso de vibrações, excesso de ruídos, ultralancamento e etc. (QUAGLIO, 2003).

2.2 Principais métodos

Existem três principais métodos de perfuração para o desmonte de rochas com explosivos utilizados na mineração, perfuração percussiva, rotopercussiva e rotativa.

Observa-se na Tabela 2.1 a comparação de diversos fatores para seleção dos diferentes tipos de perfuratrizes.

Tabela 2.1 - Fatores para seleção de perfuratrizes

Fatores	Perfuratriz Rotativa	Perfuratriz de martelo de superfície	Perfuratriz de martelo de fundo de furo
Diâmetro do Furo (mm)	165 a 228 em rocha macia a média 250 a 432 em todas formações, incluindo muito dura.	38 a 127.	152 a 228 em formações média a muito dura; diâmetros menores em furos longos.
Tipo de Rocha	Formações na faixa de macia a muito dura.	Média a muito dura.	Média a muito dura. Restrições em rochas muito fraturadas.
Profundidade Máxima do Furo (m)	Menor que 60 m.	Menor que 20 m.	Maior que 60 m.
Volume de ar requerido	Grandes vazões para se ter uma limpeza eficiente do furo.	O ar tem dupla função: limpeza do furo e acionamento do martelo. Não pode usar pressões tão altas como no martelo de fundo. Máquinas Hidráulicas reduzem bastante o consumo de ar.	A taxa de penetração aumenta com o aumento da pressão do ar, mas o consumo de ar requerido também.
Avanço (<i>pull</i> down) requerido	Baixo em formações macias a muito alto em formações duras.	Altas taxas de penetração podem ser alcançadas com menores pressões de avanço. Rotação para o bit é	Boa penetração com menos carga de avanço.
Velocidade de rotação (rpm)	Requer alta velocidade em rocha macia e velocidade mais baixas em rocha dura.	aproximadamente de 100 a 120 rpm para furos de 64mm, em rocha macia; em rocha dura, 75 a 100 rpm para furos de 64 mm e 40 a 50 rpm para furos de 127 mm.	Opera com menores velocidades de rotação: 30 a 50 rpm para rocha macia; 20 a 40 para rochas intermediárias e 10 a 30 rpm para rochas duras.
Taxa de penetração	Aumenta com o aumento do diâmetro da broca; diminui com o aumento da resistência da rocha.	Taxas iniciais mais altas que o método de martelo de fundo. Taxa cai com cada haste adicionada. Taxa decresce com o aumento do diâmetro.	Taxas relativamente constantes ao longo do furo. Maiores taxas em rochas duras, na faixa de diâmetro de 152 mm a 228 mm, comparando-se com o método rotativo.
Níveis de ruído	Geralmente baixo.	Ruído é crítico: Impacto do martelo e ar comprimido. Máquinas hidráulicas possuem menor nível de ruído.	Nível de ruído é mais baixo que o método de martelo de superfície. Ruído é dissipado dentro do furo.

Fonte: Apostila de Operações Mineiras – SILVA. V. C (2011)

2.2.1 Perfuração percussiva

Reproduz o trabalho manual de perfuração em rocha. A maioria dos modelos de perfuratriz é acionada por ar comprimido apesar de existirem modelos acionados a gasolina, diesel, etc. (GERALDI, 2011).

As perfuratrizes percussivas, transmitem à broca a percussão e, no intervalo entre 2 percussões sucessivas, há uma rotação parcial para mudar a posição do impacto na rocha. Simultaneamente ocorre a introdução de ar ou água de limpeza. As peças que compõe o conjunto são feitas de aço de alta resistência conforme a Figura 2.1.

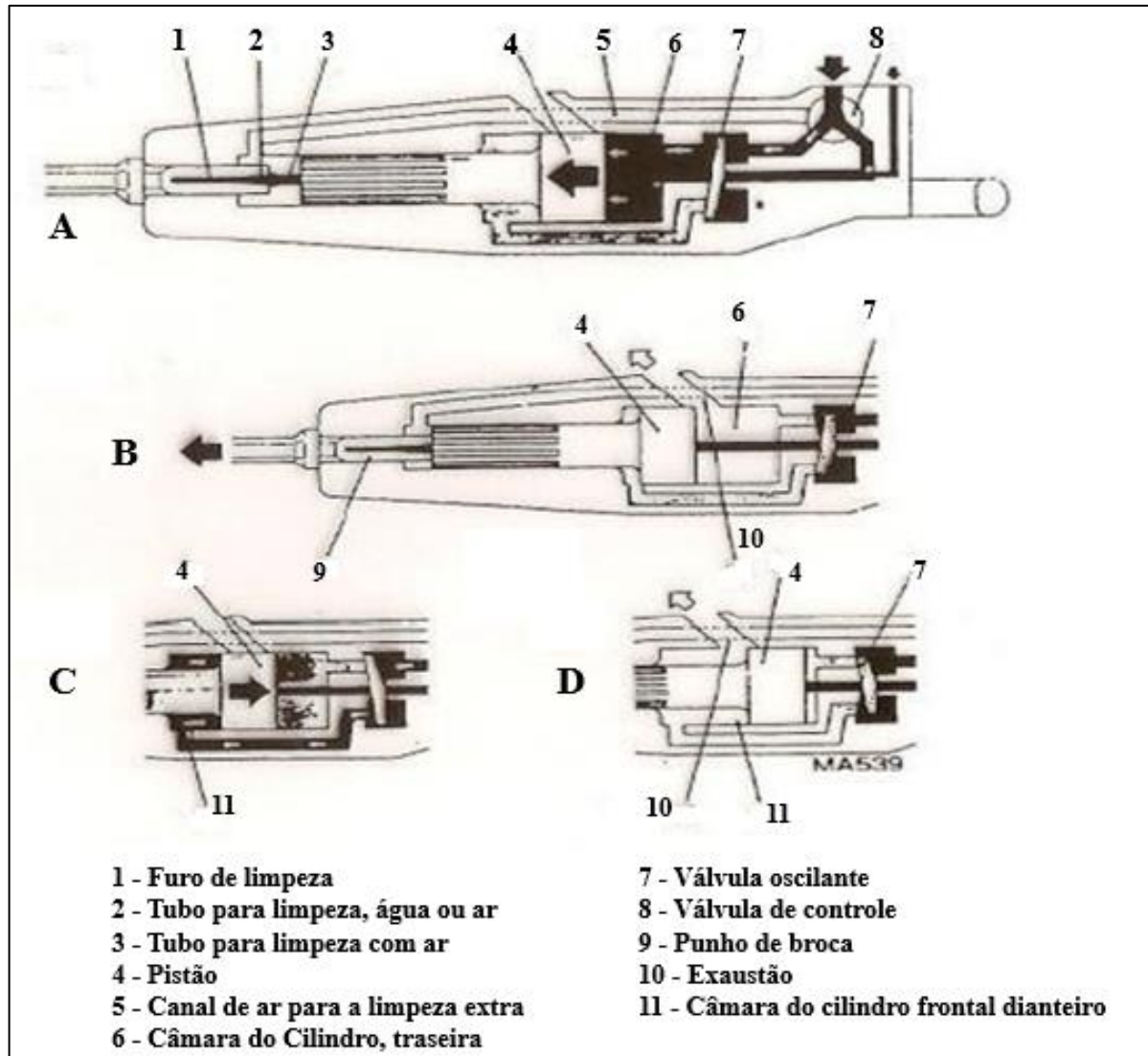


Figura 2.1 - Componentes de uma perfuratriz percussiva (UFPR, 2009).

A Perfuração percussiva é utilizada em várias áreas da operação unitária:

- Perfuratrizes manuais (marteleto): utilizados em perfurações auxiliares esporádicas, exploração de pedreira de pequeno porte, desmonte de maticões, cortes rodoviários de pequeno porte;
- Perfuratrizes de grande porte, são montadas em carretas de perfuração automotrizes, sobre pneus ou esteiras.
- Rompedores

Pode ter acionamento pneumático, elétrico ou hidráulico. Transmitem á broca a percussão, mas não promovem a rotação da mesma. Tem ampla utilização na fragmentação de rochas, principalmente em blocos isolados e maticões.

2.2.2 Perfuração rotopercussiva

Segundo Jimeno (1995), a perfuração a rotopercussão é o sistema mais clássico de perfuração de bancadas e sua aparição no tempo coincide com a evolução industrial do século XIX.

As perfuratrizes rotopercussiva ilustrada na Figura 2.1 têm sua aplicação limitada a pequenas e médias minerações, perfuração secundária, trabalhos de desenvolvimento e desmonte secundário. Isto se deve aos diâmetros dos furos das perfuratrizes percussivas que variam entre 2¹/₂" a 6" (62mm a 150mm), não alcançando diâmetros maiores, tais como 9" a 10¹/₂" (229mm a 267mm), que têm grande aceitação nas operações de grande porte. A taxa de penetração das perfuratrizes percussivas decresce com o aumento do diâmetro dos furos e com o aumento da resistência das rochas (Crosby, 1998).

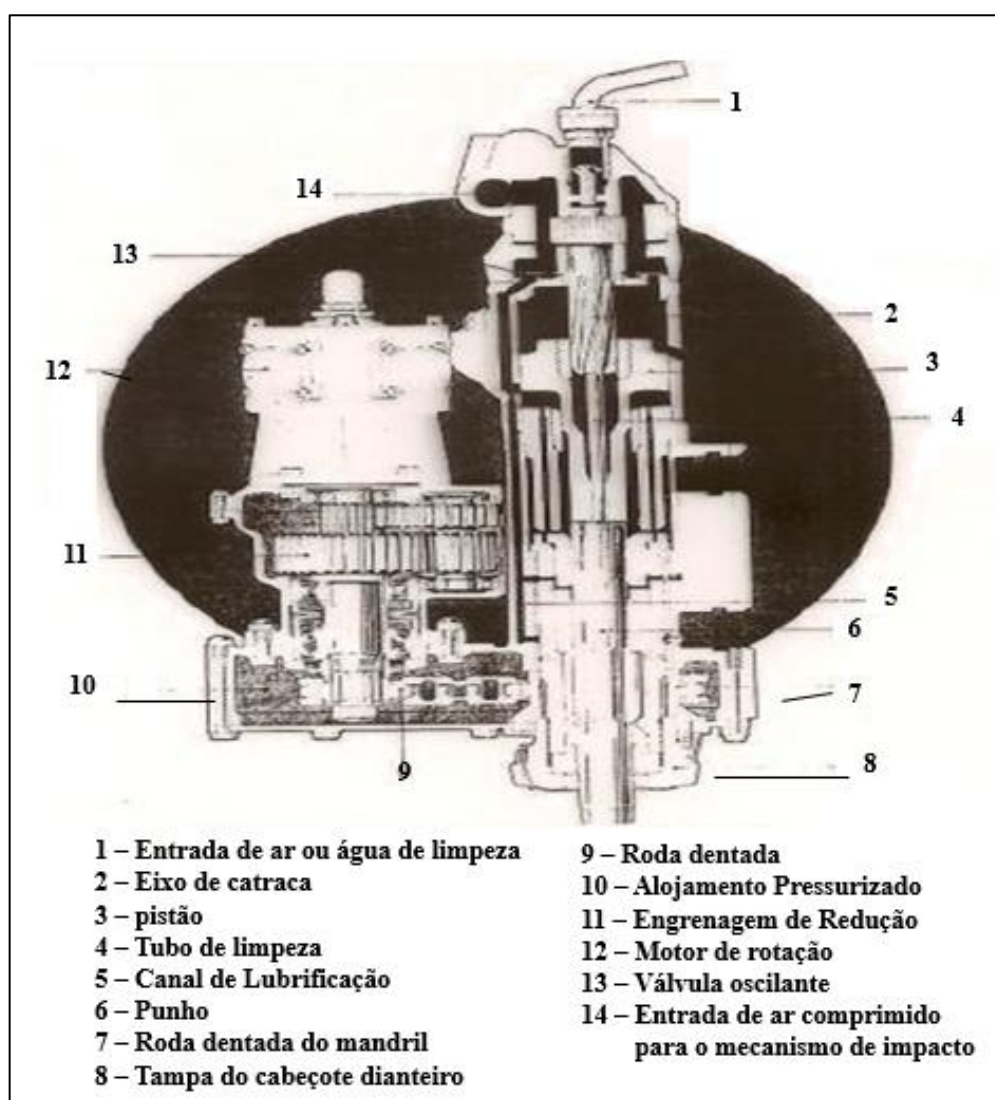


Figura 2.2 - Componentes de uma perfuratriz Rotopercussiva (UFPR, 2009).

2.2.3 Perfuratrizes de Martelo de Fundo (DTH – *Down the Hole*)

Executam furos com diâmetros ainda maiores e profundidades, operando por meio de movimentos independentes de percussão e rotação. Segundo Geraldi J. L. P (2011), nas DTH a percussão é feita por uma perfuratriz de acionamento pneumático que atua com alta pressão sobre a rocha (até 250 MPa). Esta perfuratriz desce dentro do furo durante sua execução, acoplada diretamente à ferramenta de perfuração. A pressão de trabalho e a rotação necessárias são fornecidas por um sistema hidráulico que permanece em superfície.

O mecanismo de percussão, ao invés de ficar na superfície, localiza-se junto à coroa. Segundo Ricardo e Catalani (1997), desta maneira, quase toda energia do ar comprimido, convertida em percussões, é aplicada na perfuração, ficando praticamente eliminadas as dissipações ao longo da coluna de hastes conforme apresentado na Figura 2.3.

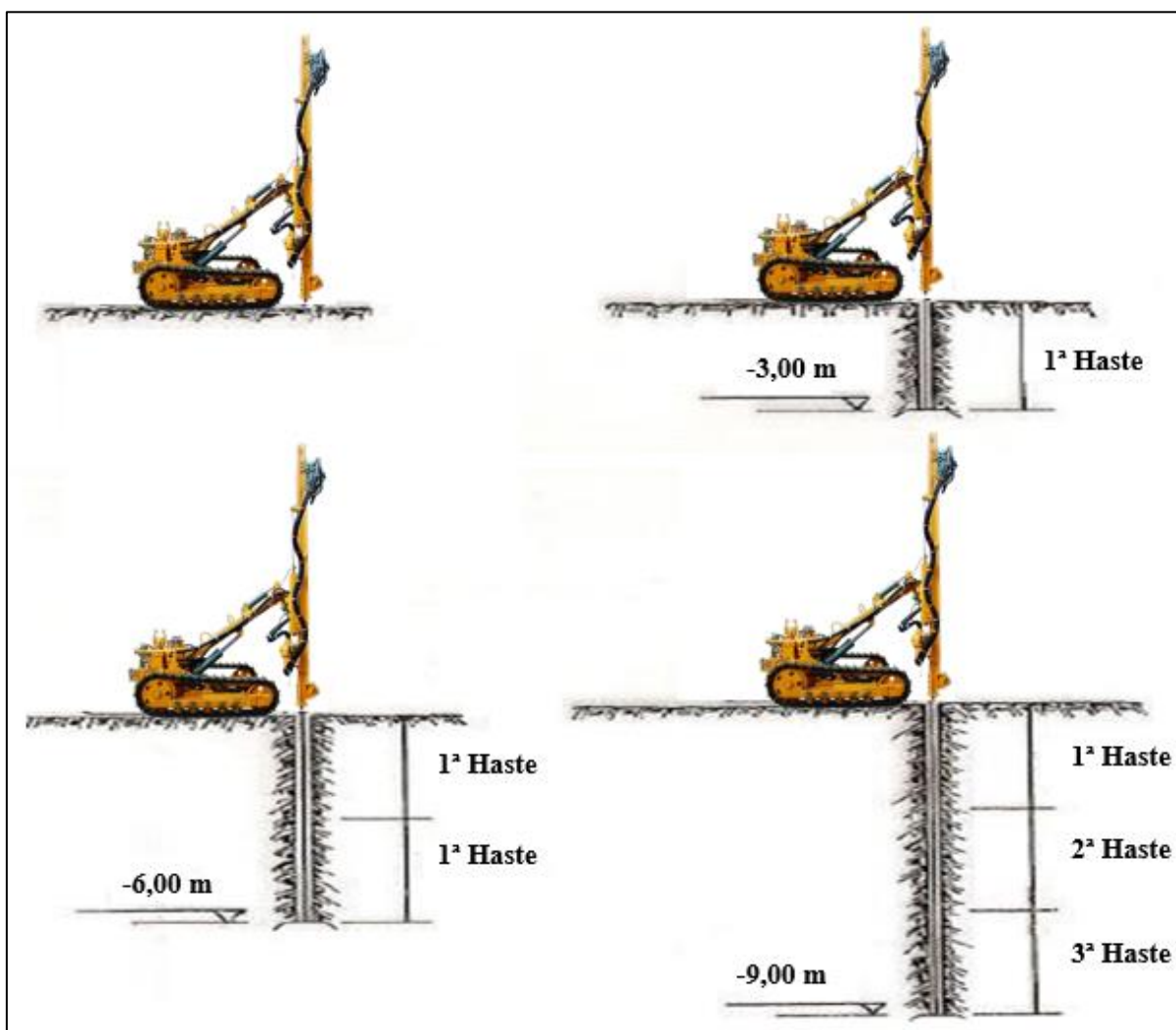


Figura 2.3 - Funcionamento de uma perfuratriz DTH – *Down the Hole* (UFPR, 2009).

Sua principal aplicação é a perfuração em rochas duras quando se usa brocas de 152 a 229 mm (6" a 9"). Atualmente, podem executar furos de cinco a trinta e duas polegadas de diâmetro. O método necessita de moderada força de avanço (250 a 500 lbf/in de diâmetro de broca). Não tem necessidade de hastes pesadas e altas pressões de avanço. Requer menor torque de rotação e a velocidade de rotação (rpm) que o método rotativo. A faixa normal de operação é de 10 a 60 rpm (JIMENO, 2003).

2.2.4 Perfuração rotativa

Segundo Jimeno (2003), o início das grandes explorações de carvão nos Estados Unidos na década de 50, e a descoberta do ANFO (explosivo barato e de grande eficiência energética), foram acontecimentos que impulsionaram a fabricação de perfuratrizes de grande porte, capazes de alcançar grandes profundidades e velocidades de penetração. Simultaneamente, começaram a utilizar na mineração as brocas denominadas tricônicas de acordo com a Figura 2.4, e a aplicar o ar comprimido como fluido de evacuação dos detritos formados durante a perfuração.

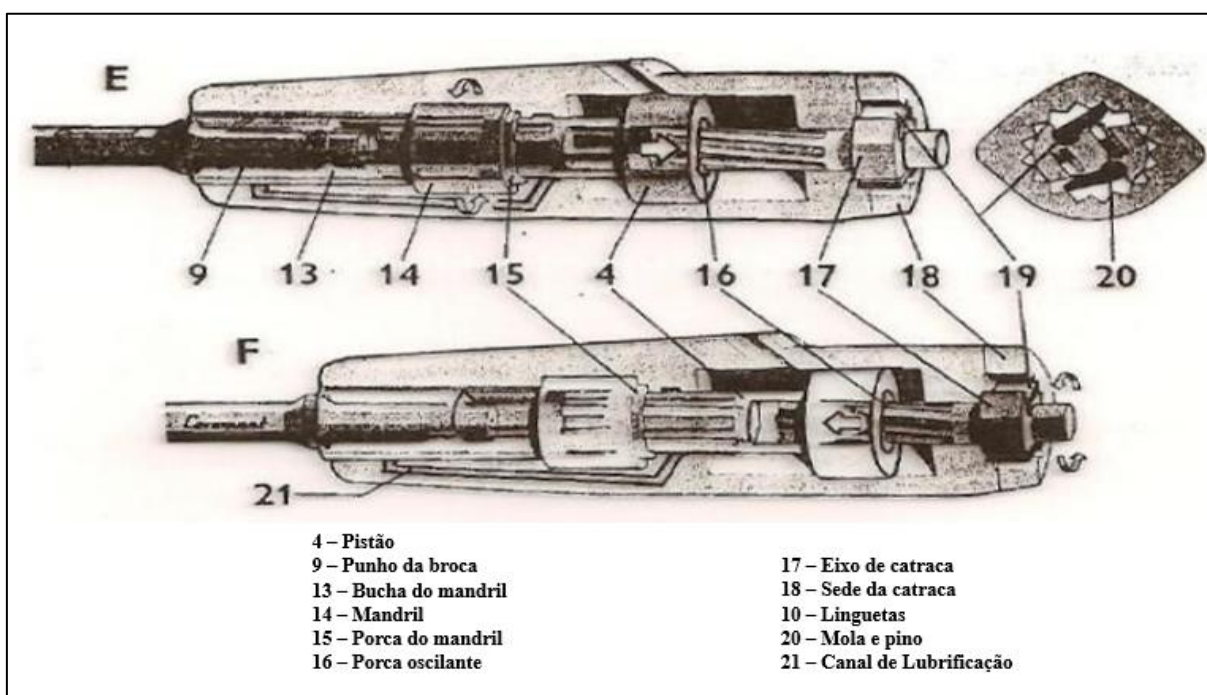


Figura 2.4 - Componentes de uma perfuratriz Rotativa (UFPR, 2009).

Jimeno (2003) afirma, ainda, que esse método de perfuração é muito versátil, e que é aplicável a uma grande gama de rochas, desde as mais brandas até as mais duras. Os diâmetros dos furos variam entre 2" a 17 1/2" (50 a 444mm), sendo a faixa de aplicação mais frequente na mineração a céu aberto de 6" a 12 1/4" (152 a 311mm).

2.3 Taxa de Penetração

Taxa de Penetração é a velocidade com que uma perfuratriz avança uma broca em uma rocha, e pode ser expressa em cm/min. Essa variável na perfuração varia de acordo com a litologia, perfuratriz, diâmetro da broca, pressão de ar, etc. De forma que não existe uma “perfuratriz-padrão”, que possa ser utilizada para comparação.

A definição da taxa de penetração é essencial no planejamento da lavra. O custo total da perfuração deve ser calculado a partir de equações que são definidas. Essas equações podem ser utilizadas para definir o tipo de perfuração, qual é melhor para determinadas condições (Hoseinie, 2008).

A fim de se estabelecer uma medida padrão, foram fixadas constantes, que transformaram a velocidade de perfuração em perfurabilidade. Assim pôde-se comparar rochas ou perfuratrizes diversas.

Perfurabilidade – de uma certa rocha é a velocidade expressa em cm/min, com que uma perfuratriz de 20 a 22 kg, trabalhando a uma pressão de avanço de 143 kg, a uma pressão de ar de 6,5 kg/cm² e uma pressão de água de 4 kg/cm² avança uma broca de 33 mm de diâmetro, em furo horizontal, medida esta velocidade entre 0,80 e 1,60 m da profundidade do furo resultante. (Hoseinie, 2008)

Dada a velocidade de perfuração, calcula-se a perfurabilidade utilizando a equação 1:

$$B_b = B_v \left(\frac{6,5 - 2,5}{P_v - 2,5} \right) \times \left(\frac{D_v + 30}{33 + 30} \right)^{2,3} \quad (1)$$

Onde,

B_b = Perfurabilidade

B_v = Velocidade de perfuração

P_V = Pressão de trabalho

d_V = Diâmetro da broca

Para as variáveis perfuratriz, pressão de avanço e a pressão de água se supõe igualdade de condições. A constituição geológica do maciço rochoso pode acarretar pequenas variações no valor da perfuratriz. A dureza de uma rocha influi na sua perfurabilidade conforme classificação a seguir, que considera granito com perfurabilidade índice = 1.

- Rochas muito duras (perfurabilidade índice = 0,5 ou menos) – hematitas duras, etc.
- Rochas duras (PI= 0,6 a 1,0) – granitos, gnaisses, quartzitos e intrusivas ígneas de grão fino. A PI do quartzo depende a firmeza da cimentação de seus grãos
- Rochas de dureza média (PI = 1,0 a 1,5) – calcários, dolomitos, mármore, xistos e pórfiros. A variação de dureza pode ser grande.
- Rochas brandas (PI = 1,5 ou mais) – calcários, arenitos, xistos. Quando se conhece a velocidade de perfuração para um diâmetro dado pode estimar-se qual será essa velocidade com o mesmo equipamento e um diâmetro diferente conforme tabela Xi.

Quando se conhece a velocidade de perfuração para um diâmetro dado pode estimar-se qual será essa velocidade com o mesmo equipamento e um diâmetro diferente conforme a Tabela 2.2 - Conversão de velocidade a diâmetros distintos. Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Conversão de velocidade a diâmetros distintos.

Diâmetro (mm)	127	114	102	89	76	70	64	57	51	48	44	41	38
127	1	1,17	1,4	1,71	2,15	2,46	2,83	3,31	3,96	4,35	4,82	5,41	6,1
114	0,85	1	1,19	1,45	1,83	2,09	2,41	2,82	3,37	3,71	4,11	4,61	5,19
102	0,72	1,84	1	1,22	1,54	1,75	2,02	2,36	2,82	3,11	3,45	3,86	4,35
89	0,59	0,69	0,82	1	1,26	1,44	1,65	1,94	2,32	2,55	2,82	3,17	3,56
76	0,46	0,55	0,65	0,79	1	1,14	1,31	1,54	1,84	2,02	2,24	2,51	2,82
70	0,41	0,48	0,57	0,7	0,88	1	1,15	1,35	1,61	1,77	1,97	2,2	2,48
64	0,35	0,42	0,5	0,61	0,76	0,87	1	1,17	1,4	1,54	1,71	1,91	2,15
57	0,3	0,35	0,42	0,52	0,65	0,74	0,85	1	1,19	1,31	1,46	1,63	1,84
51	0,25	0,3	0,35	0,43	0,54	0,62	0,72	0,84	1	1,1	1,22	1,37	1,54
48	0,23	0,28	0,32	0,39	0,49	0,56	0,65	0,76	0,91	1	1,11	1,24	1,4
44	0,21	0,24	0,29	0,35	0,45	0,51	0,59	0,69	0,82	0,9	1	1,12	1,26
41	0,19	0,22	0,26	0,32	0,4	0,45	0,52	0,61	0,73	0,81	0,89	1	1,08
38	0,16	0,19	0,23	0,28	0,34	0,4	0,46	0,54	0,65	0,72	0,79	0,89	1

Fonte: JIMENO (1995)

2.4 Ferramentas de perfuração

As ferramentas de perfuração, devidamente acopladas ao corpo das perfuratrizes, recebem a energia produzida nestas máquinas, percussão e rotação, e a transferem para a rocha, executando os furos com suas profundidades e diâmetros variados (GERALDI, 2011).

As ferramentas quando utilizadas para execução de furos menores são peças únicas como as brocas integrais utilizadas em perfuratrizes manuais mais leves e nos marteletes. São fabricadas com barra de aço especial com diâmetros que variam de 3/4" a 1".

A broca é vazada por um furo longitudinal o que permite a passagem dos agentes de limpeza. A parte que realmente executa o furo é formada por uma pastilha de carboneto de tungstênio, o comprimento dessa pastilha determina o diâmetro de perfuração. J. L. P. Geraldi (2011) afirma que as brocas integrais são normalmente utilizadas para a execução de furos entre 0,8 e 6,4 m de profundidade, embora alguns fabricantes confeccionem peças sob encomenda com comprimento de até 8m.

Quando os furos a serem realizados são maiores, com diâmetros entre 38 e 102 mm, utiliza-se um equipamento seccionado que inclui coroa de perfuração, hastes e luvas de acoplamento. O conjunto das peças acopladas é chamado “coluna de perfuração”. Este tipo de equipamento é utilizado em perfuratrizes de maior potência, montadas sobre jumbos de perfuração e carretas auto propulsoras.

Vamos nos ater aqui as ferramentas seccionadas compostas por punhos, hastes, luvas e brocas.

2.4.1 Punho

É a peça que entra em contato com a perfuratriz e transmite os impactos e a rotação aos demais componentes da coluna de perfuração. Nas perfuratrizes pneumáticas os impactos podem atingir até 22t de força, com frequência de 30/40 Hz, enquanto nos modernos equipamentos hidráulicos os impactos são da ordem de 60 t, com frequência de 60 Hz. (GERALDI, 2011)

2.4.2 Haste

São barras de aço, de seção circular ou hexagonal que possibilita a execução de furos a maior profundidade. Seu comprimento deve ser adequado ao porte da perfuratriz. Possuem um orifício central para a passagem de fluidos de limpeza. As hastes são fabricadas normalmente nos diâmetros de 28, 32, 38, 45 e 51 mm, e comprimentos variando entre 1,20 e 4,70 m (GERALDI, 2011).

2.4.3 Luvas

Além de promover o acoplamento através de roscas especiais, as luvas possuem em sua parte mediana um separador (batente) que proporciona perfeito contato de topo entre as duas hastes acopladas, minimizando as perdas de energia ao longo da coluna de perfuração (GERALDI, 2011).

2.4.4 Brocas de Perfuração

A coroa ilustrada pela Figura 2.5 recebe através das hastes e do punho, a energia fornecida pela perfuratriz e a transforma no trabalho de perfuração. Recebe também o fluxo de ar ou água de limpeza que passa através da perfuratriz e do punho, desce pelo furo central da haste e é lançado no furo através de orifícios criteriosamente colocados, de modo a proporcionar a máxima remoção de detritos possível, além de controlar a poeira, refrigerar as coroas e estabilizar as paredes dos furos (RICARDO e CATALANI, 1977).

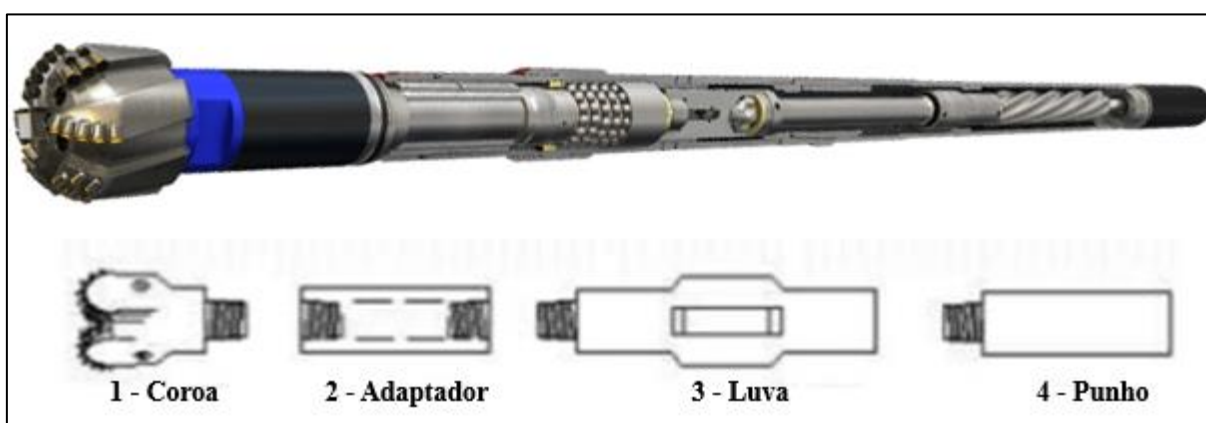


Figura 2.5 - Componentes das ferramentas seccionadas (Modificado de UFPE, 2009).

F

Podem ser de dois tipos, de pastilhas ou de botões. As brocas de pastilha são fabricadas com pastilhas de metal duro dispostas em cruz. Já as brocas de botões tem insertos de metal duro de forma cilíndrica no seu topo.

As brocas mais utilizadas na perfuração de maciços rochosos são as brocas de botões que tem a superfície coberta por botões de aço de carboneto de tungstênio. Elas são fabricadas na faixa de 50 a 250 mm. Se comparadas as brocas de pastilhas as de botões se adaptam melhor a perfuração por rotação com velocidades de avanço superiores. Além disso apresentam maior resistência a desgaste graças ao posicionamento estratégico dos botões na face da broca.

No mercado atual são encontradas brocas com diâmetros de 38, 45, 51, 64, 76, 89 e 102 mm de diâmetro, para trabalhar com perfuratrizes de superfície, percussivas, ou rotopercussivas. Com o advento dos *Top Hammers*, mais potentes, já é possível encontrar brocas com diâmetros de até 152 mm. (Geraldi, 2011).

Algumas características comuns a todos os tipos de brocas são as seguintes (Jimeno, 2003):

- As hastes são acopladas pela rosca da broca com a finalidade de que a transmissão da energia de impacto seja a mais direta possível sobre a rocha.
- As brocas dispõem de uma série de orifícios centrais e laterais pelos quais se injetam o fluido de perfuração para remover os detritos e têm fendas pelas quais se passam e sobem as partículas da rocha.
- As brocas são projetadas com uma pequena coincidência, sendo a parte maior a que está em contato com a rocha, com o objetivo de combater o desgaste que sofre esse acessório e evitar um ajuste excessivo com as paredes do furo.

Observa-se na Tabela 2.3 as principais geometrias dos botões de carboneto de tungstênio com suas respectivas aplicações.

Tabela 2.3 - Geometria dos botões e suas aplicações.

Formação Geológica	Formas do inserto	Forma do inserto	Aplicação	Resistência à Compressão
Macia		Dente Alongado	Perfura economicamente formações macias que podem ser perfuradas com brocas de dentes de aço. Máxima taxa de penetração com mínimo de força de avanço	0 - 10.000 psi / 0 - 69 Mpa
Média		Em forma de dente	Para formação média e pouco abrasiva. Alta taxa de penetração com baixa carga sobre a broca.	10.000 - 20.000 psi / 69 - 138 Mpa
Dura		Cônico	Para a formação dura e abrasiva. Requer alta carga sobre a broca.	20.000 - 40.000 psi / 138 - 276 Mpa
Muito Dura		Ovóide	Para formação muito dura e abrasiva, querendo altíssima força de avanço. Estrutura de corte durável e de longa vida.	40.000 - 100.000 psi / 276 - 689 Mpa

Fonte: Apostila de perfuração de rochas, UFPE (2009).

2.5 Desgaste

A maioria das brocas tende a perfurar mais devagar com o tempo de acordo com o desgaste dos botões que são continuamente reduzidos durante a perfuração. A maior parte do desgaste é causada por abrasão contra o fundo e as paredes do furo quando a broca gira. Com

o desgaste a taxa de penetração diminui e os botões e o resto do equipamento sofrem esforços excessivos. Até mesmo a perfuratriz sofrerá os efeitos nocivos da execução de um furo com brocas mal afiadas, pois a alta energia de impacto produzida no equipamento não conseguirá quebrar a rocha da forma esperada e assim surgirão energias reativas em sentido inverso. (Geraldi, 2011). Por isso o botão deve ser novamente afiado até a sua forma original em intervalos de tempo determinados durante a perfuração.

A via útil de uma broca é determinada pelo desgaste de seus botões, laterais e rolamentos. Este desgaste pode ser:

- Frontal – Ocorre principalmente em rocha dura. Os botões da periferia são mais prejudicados que os frontais, por percorrerem maior distância sob a abrasão da rocha.
- Lateral – É comum em certos tipos de rocha como o quartzito. O maior desgaste também se dá na periferia. Com o tempo o ângulo de limpeza da broca desaparece, e a broca só pode voltar a ser utilizada depois do ângulo ser reestabelecido.
- Pele de cobra – É formado por rochas que provocam pouca abrasão. A camada superficial do botão sofre fadiga e se desgasta até ficar parecido com pele de cobra. Essa camada deve ser removida antes que as trincas penetrem ainda mais no botão.

2.6 Propriedades das rochas que afetam a perfuração

Segundo Jimeno (2003), as principais propriedades físicas das rochas que influenciam no mecanismo de penetração e consequentemente, na escolha do método de perfuração são:

- Dureza.
- Resistência à compressão.
- Deformabilidade.
- Abrasividade.
- Textura.
- Estrutura.

Segundo Howarth, as propriedades das rochas como: o valor da densidade, a resistência à compressão e a porosidade aparente têm uma forte relação com a taxa de penetração (Howarth, 1986).

2.6.1 Dureza

Segundo Jimeno (2003), se entende por dureza a resistência de uma camada superficial de um corpo à penetração de outro corpo mais duro. A dureza das rochas é o principal tipo de resistência a superar durante a perfuração, pois quando se realiza a penetração do equipamento, as outras ações acontecem mais facilmente.

De acordo com De Castro e Parras (1986), normalmente é utilizada a escala de Mohs para definir a dureza dos minerais. Contudo, a determinação da dureza das rochas é mais complexa e difícil, pois a dureza dos graus individuais dos minerais constituintes pode ser bastante diversa em relação ao da rocha como um todo.

Observa-se na Figura 2.6 uma correlação entre a classificação da dureza MOHS e a dureza Rockwell.

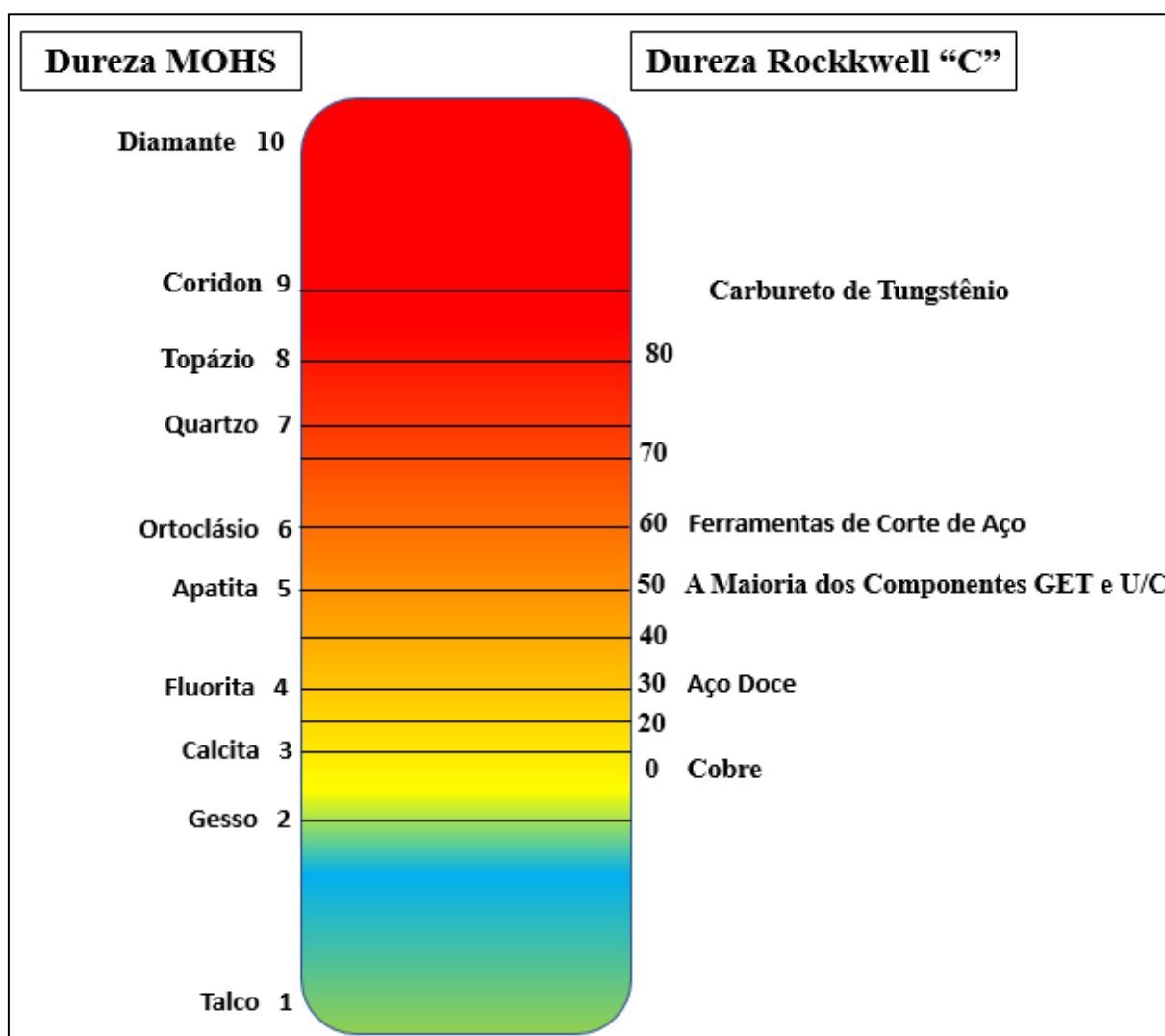


Figura 2.6 - Classificação da dureza Mohs com a dureza Rockwell. Caterpillar (2000),

A dureza depende da composição dos grãos minerais presentes na rocha e quantidade do material preenchimento, da porosidade da rocha, da direção de penetração que é aplicada em relação às estruturas da rocha, do grau de umidade, da temperatura e do estado de tensão no maciço (Leal, 1997).

2.6.2 Resistência

A resistência mecânica de uma rocha é a sua propriedade de se opor à destruição a partir de uma força exterior, estática ou dinâmica (Jimeno, 2003).

Segundo o mesmo autor, a composição das rochas depende fundamentalmente de sua composição mineralógica. Entre os minerais integrantes das rochas, o quartzo é o mais sólido, sua resistência supera os 500 Mpa, enquanto que as de silicatos ferromagnéticos e os alumínios silicatados variam de 200 a 500 Mpa, e a de calcita de 10 a 20 Mpa.

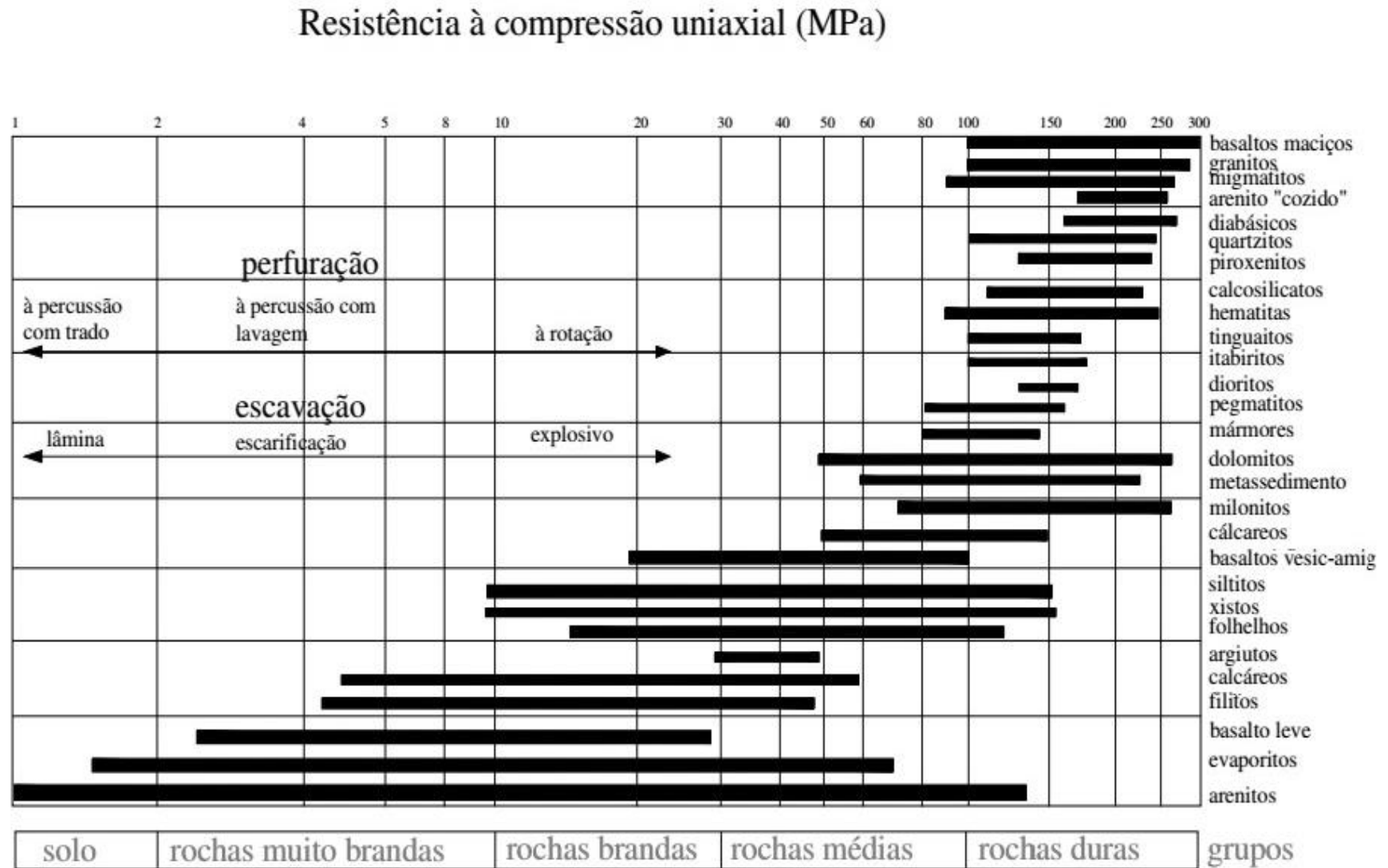


Figura 2.7 - Resistência a compressão uniaxial.

Fonte: ABGE (1998).

2.6.3 Elasticidade:

Capacidade de um material de se deformar sob tensão, de forma reversível. Quando cessada a força aplicada sobre ele, desde que essa não ultrapasse o seu limite de elasticidade, a rocha recupera sua forma inicial.

O Módulo de Young (E), também conhecido como módulo de elasticidade, é a relação entre a tensão (σ) e a deformação (ϵ) sofrida pela rocha e na maioria das rochas varia entre $0,03 \times 10^4$ e $1,7 \times 10^5$.

Os valores dos módulos de elasticidade dependem fundamentalmente da composição mineralógica, porosidade, tipo de deformação e magnitude da carga aplicada.

Entretanto, como nem sempre se observa o comportamento elástico em rochas, tem-se usado o módulo de deformação para esta propriedade. O coeficiente de Poisson (ν) é a relação entre a deformação lateral e a deformação longitudinal, sofrida pela rocha e na maioria das rochas está entre 0,2 e 0,4.

2.6.4 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade de uma rocha de mudar de forma permanentemente. Acontece quando a força aplicada sobre ela é superior ao seu limite de elasticidade e inferior ao limite de plasticidade. A plasticidade depende da composição mineral das rochas e é menor quanto maior é seu teor de quartzo, feldspato e outros minerais duros. As argilas e algumas rochas homogêneas possuem grande propriedade plástica.

2.6.5 Abrasividade

A abrasividade é a propriedade relacionada a perda de volume por rochas e minerais ao entrarem em contato com outros materiais. A capacidade abrasiva das rochas é consequência da dureza, forma e tamanho dos grãos, da porosidade e heterogeneidade das rochas. Os fatores que interferem na abrasividade das rochas são os seguintes:

- Dureza dos grãos da rocha: As rochas que contêm grãos de quartzo são muito abrasivas.
- Forma dos grãos: Os grãos agudos são mais abrasivos.
- Rocha com muitos grãos: Estes grãos desagregam-se e tornam a rocha abrasiva.

- A porosidade da rocha aumenta a rugosidade da superfície e a concentração de tensões nos planos de contato entre a ferramenta e a rocha.
- Grau de heterogeneidade das rochas: As rochas mono minerais são menos abrasivas. Em rochas poli minerais os minerais de menor dureza (micas, feldspatos), desagregando-se, dão origem a uma superfície de maior aspereza.
- Umidade: A umidade das rochas reduz suas durezas e abrasividades.

Algumas tentativas para correlacionar a abrasividade da rocha com sua perfurabilidade têm sido feitas. No caso de perfuração percussiva, tem sido mostrado que a taxa de penetração diminui com o aumento na abrasividade da rocha. De maneira oposta, para perfuração diamantada, a taxa de penetração é maior em rochas abrasivas, como os arenitos.

2.6.6 Textura

Os aspectos de textura que afetam a resistência e a perfurabilidade de uma rocha são: tamanho, orientação, forma dos grãos e grau de interligação entre eles, além da porosidade da rocha. A perfuração se mostra mais difícil em rochas com grãos lenticulares e mais fácil quando os grãos são arredondados. A disposição dos cristais, por sua vez, influi na porosidade. Rochas mais porosas, de menor densidade tem menor resistência a trituração.

Uma rocha com granulação grosseira apresenta maior facilidade de perfuração e menor desgaste das ferramentas que uma rocha de granulação fina, mantendo-se constante as outras variáveis. Isto significa que tipos de rocha com a mesma composição mineral podem ter perfurabilidade diferente. Por exemplo, o quartzito pode ser de granulação graúda (partículas de 0,5 a 1mm) ou fina (0,05mm) enquanto que a do granito pode ser de graúda (até 5mm), média (1 a 5mm) ou mais fina.

2.6.7 Estrutura

Aspectos da geologia, tais como, fraturas, falhas, dobras, planos de acamamento e outras descontinuidades, possuem grande influência na perfurabilidade das rochas.

2.7 Custo de Perfuração

O cenário ótimo para qualquer processo produtivo é que haja aumento de produtividade aliado à redução de custo. O processo de perfuração de rocha, como qualquer outro processo de um empreendimento capitalista, requer avaliações que buscam otimizar a produção. Assim, são

desenvolvidas fórmulas que auxiliam os estudos. Segundo Jimeno (1994), o custo por metro perfurado é calculado conforme a equação 2.

$$C_T = \frac{C_h}{T_p} + \frac{C_B}{V_B} \quad (2)$$

- C_T = Custo total por metro perfurado [R\$/m];
- C_h = Custo horário da perfuratriz [R\$/m];
- T_p = Taxa de penetração [m/h];
- C_B = Custo de brocas [R\$];
- V_B = Vida útil da broca [m].

Sendo os custos indiretos evidenciados na equação 3.

$$C_h = C_A + C_I + C_M + C_{MO} + C_E + C_L + C_H \quad (3)$$

- C_A = Custo de amortização [R\$/h];
- C_I = Custo de impostos e seguros [R\$/h];
- C_M = Custo de manutenção [R\$/h];
- C_{MO} = Custo de mão-de-obra [R\$/h];
- C_E = Custo de energia [R\$/h];
- C_L = Custo de lubrificação [R\$/h];
- C_H = Custo de hastes e estabilizadores [R\$/h]

Então, a expressão mais detalhada que representa o custo total por metro perfurado é exemplificado na equação 4.

$$C_T = \frac{C_A + C_I + C_M + C_{MO} + C_E + C_L}{T_p} + \frac{C_B}{V_B} \quad (4)$$

3 METODOLOGIA

Conforme foi apresentada na revisão bibliográfica a definição operacional de cada parâmetro necessário para quantificar o desempenho da perfuração, é necessário consolidar as definições exemplificadas com os parâmetros de desempenho da broca, que servirão de base para o desenvolvimento deste trabalho.

A metodologia escolhida para o estudo e desenvolvimento do trabalho foi baseada em pesquisa bibliográfica e de campo. A pesquisa bibliográfica contribuiu para acrescentar informações sobre o tema e ampliar os conhecimentos. A pesquisa de campo foi de grande importância para analisar o cenário que a Mina em estudo se encontra em relação a performance das ferramentas de perfuração.

A pesquisa de campo foi gerada a partir do sistema de controle utilizado na empresa. O controle dos materiais de desgastes é computado a partir da análise da parte diária das perfuratrizes, e é computado gerando dados importantes para o controle dos indicadores da perfuração. O controle da perfuração fornece relatórios a cada turno, indicando o tipo de perfuratriz e a identificação das ferramentas utilizadas (brocas, luvas, hastes), o local de trabalho, a profundidade e o tempo de duração de cada furo. O controle das ferramentas de perfuração é realizado com planilhas de Excel. Os responsáveis anotam a data do início do uso, o número de manutenções e a data de descarte de cada ferramenta.

Para este trabalho analisou-se, utilizando os relatórios da empresa, a produção em metros perfurados durante toda a vida útil de 2 brocas adquiridas e descartadas no período de fevereiro de 2015 a maio do mesmo ano, além de reuniões com colaboradores de nível operacional, supervisores, técnicos, engenheiros, todos que tinham trabalhos relacionados ou responsabilidades associado a eficiência da operação de perfuração.

Metodologia do estudo de caso

No período de estudo, foram analisadas perfurações em diferentes áreas do minério e estéril. Estudos anteriores provaram que as coroas de tamanho 9 7/8", usados na perfuração rotopercussiva com face plana e botões periféricos maiores que os centrais são mais eficientes no corpo rochoso abrasivo e com alto índice de rocha dura. Porém a eficiência da ferramenta de perfuração na porção friável da mina, que de acordo com o de departamento de planejamento da empresa, no período de estudo, seria por volta de 70% de toda a área a ser perfurada, não estava apresentando bons indicadores de produção, além do desgaste prematuro das ferramentas

de perfuração. Por isso motivou o início dos testes do método rotativo utilizando a broca tricônica 9 7/8” e a comparação entre os dois métodos com as mesmas condições de operação.

4 ESTUDO DE CASO

Foi realizado um estudo de investigação comparando durante um período de 4 meses dois métodos distintos de perfuração em litologias friáveis da mina em estudo. As áreas para teste foram pré-definidas pelo departamento de planejamento da empresa, contemplando as litologias que não estavam oferecendo a eficiência esperada para a operação de perfuração.

Foram utilizadas duas perfuratrizes do mesmo modelo, trabalhando nas mesmas condições de operação, variando apenas a ferramenta de perfuração.

- Perfuratriz 1 – Utilizando o método rotopercussivo, com a utilização de martelo e Coroa 9 7/8”.
- Perfuratriz 2 – Utilizando o método rotativo, com a utilização de Broca (Coroa) Tricônica de 9 7/8”.

Através do número de série da coroa/broca, registrou-se sua vida útil, analisando se houve perda de botões até o descarte. Assim, criou-se um banco de dados que fora conclusivo para a determinação do método e equipamento mais adequado para a litologia estudada.

4.1 Esquema de perfuração

Em condições normais, perfura-se em malha estagiada (conhecida como “pé de galinha”), de dimensões 4,5mx9m, ou seja, perfura-se com 4,5m de afastamento e 9m de espaçamento. A inclinação utilizada é de 10° e a altura da bancada desejada é de 13 m.

As perfuratrizes utilizadas para o estudo são de grande porte e híbridas podendo trabalhar com os dois métodos investigados. Os furos têm a finalidade de alocação dos explosivos necessários para o desmonte de rocha.

4.2 Análise segundo o custo de produção

A análise segundo o custo conforme discutido no tópico 2.7, onde o custo de produção se resume na equação matemática (5) definida por Jimeno (1994):

$$C_T = \frac{C_h}{T_p} + \frac{C_B}{V_B} \quad (5)$$

C_T = Custo total por metro perfurado [R\$/m];

C_h = Custo horário da perfuratriz [R\$/m];

T_p = Taxa de penetração [m/h];

C_B = Custo de brocas [R\$];

V_B = Vida útil da broca [m];

A empresa optou por a utilização de uma variação da formula matemática definida pela equação 5, seguindo uma recomendação do fabricante dos componentes que foram testados, levando em consideração também o custo/vida útil das ferramentas auxiliares necessárias para a sua operação:

- No método rotopercussivo: Utilização do Martelo
- No método rotativo: Utilização do Adaptador

As fórmulas matemáticas utilizadas pela empresa são descritas a seguir nas equações 6 e 7.

$$C_T = \frac{C_{BR}}{V_{BR}} + \frac{C_A}{V_A} + \frac{C_h}{T_p} \quad (6)$$

C_T = Custo total por metro perfurado [R\$/m];

C_h = Custo horário da perfuratriz [R\$/m];

T_p = Taxa de penetração [m/h];

C_{BR} = Custo da Broca Tricônica [R\$];

V_{BR} = Vida útil da broca [m];

C_A = Custo do adaptador[R\$];

V_A = Vida útil adaptador[m].

$$C_T = \frac{C_C}{V_C} + \frac{C_M}{V_M} + \frac{C_h}{T_p} \quad (7)$$

C_T = Custo total por metro perfurado [R\$/m];

C_h = Custo horário da perfuratriz [R\$/m];

T_p = Taxa de penetração [m/h];

C_C = Custo da Coroa [R\$];

V_C = Vida útil da Coroa [m];

C_M = Custo do Martelo[R\$];

V_M = Vida útil Martelo [m].

Através da análise do banco de dados da empresa, observa-se na Tabela 4.1 as informações necessárias para a realização do estudo. É importante ressaltar que os preços de compra das ferramentas de desgaste foram computados em cada mês do estudo, assim como as informações de vida útil e taxa de penetração.

Tabela 4.1 - Levantamentos de dados.

Preços	Custo de ferramentas de desgaste			
	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Preço Coroa	R\$ 6.446,77	R\$ 6.481,80	R\$ 6.440,34	R\$ 6.444,69
Preço Broca Tricônica	R\$ 7.977,12	R\$ 7.962,01	R\$ 8.392,18	R\$ 9.729,88
Preço Adaptador Broca	R\$ 3.938,38	R\$ 4.201,77	R\$ 4.417,18	R\$ 5.496,23
Preço Martelo	R\$ 21.748,20	R\$ 23.495,61	R\$ 24.451,10	R\$ 24.456,09
Custo Hora do Equipamento (R\$/h)	R\$ 1.065,17	R\$ 1.665,89	R\$ 1.077,48	R\$ 1.243,78
Vida Útil Broca (m)	19300	19300	19300	19300
Vida Útil Coroa (m)	2500	2500	2500	2500
Vida Útil Martelo (m)	25000	35000	35000	35000
Vida Útil Adaptador (m)	35000	25000	25000	25000
Velocidade de Perfuração Coroa (m/h)	34,42	34,08	33,84	26,68
Velocidade de Perfuração Broca (m/h)	42,46	47,83	59,24	45,83

Fonte: Autor (2017).

O cálculo do custo hora do equipamento foi realizados com base nos dados do centro de custo do departamento de perfuração, computados na Tabela 4.2. Levou-se em consideração todas as perfuratrizes da frota, calculando individualmente o custo por equipamento.

Tabela 4.2 - Custos diretos e indiretos da perfuração.

	Custos diretos e indiretos da perfuração			
	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Custo Total da Perfuração	R\$ 5.726.378,00	R\$ 9.915.368,00	R\$ 6.982.068,00	R\$ 8.328.344,00
Horas do Mês (Fevereiro)	672	744	720	744
Número de Perfuratrizes	8	8	9	9

Fonte: Autor (2017).

No estudo onde se comparou a performance das duas ferramentas de perfuração, utilizou-se as equações (6) e (7), para a realização dos cálculos de custo metro perfurado, os resultados estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Custo metro perfurado.

	Custo por metro perfurado			
	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Custo por Metro Broca	R\$ 25,61	R\$ 35,36	R\$ 18,75	R\$ 27,80
Custo por Metro Coroa	R\$ 34,40	R\$ 52,41	R\$ 35,39	R\$ 50,17
Economia	R\$ 8,78	R\$ 17,05	R\$ 16,65	R\$ 22,37
Economia TOTAL	R\$ 246.085,81	R\$ 509.389,17	R\$ 401.468,46	R\$ 517.897,50

Fonte: Autor (2017).

Com a análise de todas as informações descritas, observou-se que a utilização da broca tricônica apresentou-se satisfatória em relação ao método utilizado anteriormente pela a empresa. No primeiro mês de estudo a economia foi menor em comparação aos outros meses. Neste mês os operadores das máquinas estavam em fase de treinamento com a nova ferramenta, ou seja, ainda tímidos e receosos na realização da operação, impondo pouca rotação na máquina, a fim de se conhecer gradativamente os limites da ferramenta. Após esse período de treinamento e aperfeiçoamento os ganhos para empresa são evidentes nos meses seguintes, como pode-se observar na Figura 4.1.

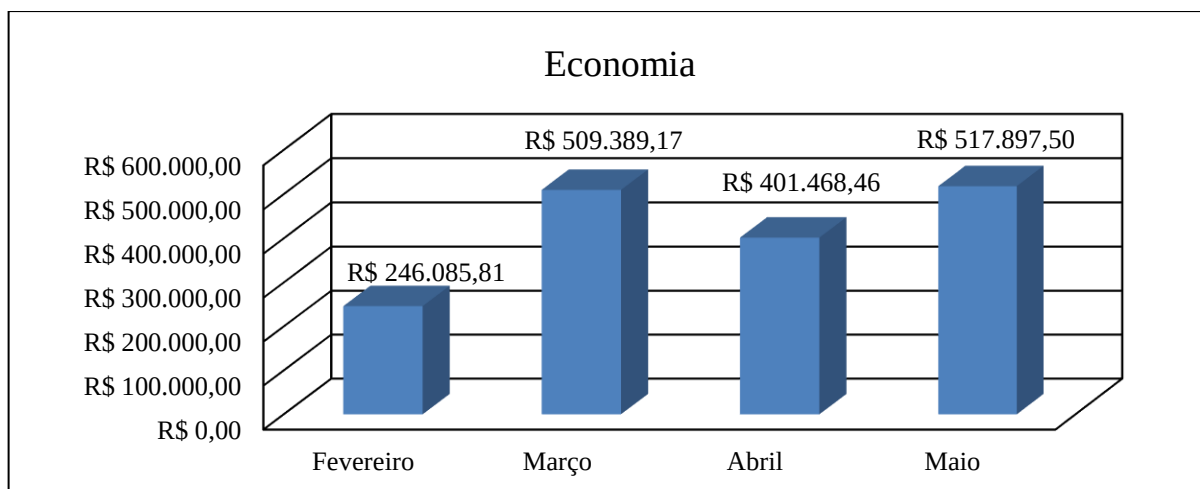


Figura 4.1 - Economia mensal.

Fonte: Autor (2017).

5 CONCLUSÃO

O estudo de revisão bibliográfica foi de suma importância para a realização do trabalho, devido a necessidade de um embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do projeto de melhoria na empresa em estudo.

Com base no estudo de caso realizado, percebeu-se que a utilização do método rotativo associado ao uso de brocas tricônicas, foi um grande acerto para áreas de litologia friável da mina em estudo. O método além de ser mais barato para a empresa gera um melhor aproveitamento das ferramentas de perfuração.

O estudo ressalta a importância de um monitoramento constante das ferramentas, obtendo a eficiência que a operação requer, além da necessidade da variação de método de perfuração conforme a litologia a ser perfurada obtendo em cada caso o máximo que as ferramentas podem oferecer.

Portando, sugere-se para trabalho futuros, a análise de desempenho das ferramentas de perfuração em todas as litologias a ser perfurada na mina, aperfeiçoando o banco de dados e obtendo dados concretos para a escolha correta das ferramentas de perfuração.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CATERPILLAR, 1996. **Ferramentas de penetração do solo Caterpillar**.

COSTA E SILVA, Valdir. **Apostila de Operações Mineiras**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas. 2011.

CROSBY, W., A., 1998. **International Drilling, Blasting and Explosives Technology Course**. Ouro Preto, p. 1 – 29, ago. 1998.

FELIX, A. et al. **Apostila de Perfuração de Rochas**. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Minas. 2009.

GERALDI, J.L. P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. P 40-72.

HARTMAN, H. L.; BAUER E.; CROSBY W.A. In: KENNEDY, B. A. (1990). **Surface Mining**. 2ª edição. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. p 513-524; 540-565.

JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; FRANCISCO J. A. C. (1995). **Manual de Perforacion y Voladura de Rocas**. Instituto Geologico y Minero de Espanã.

MATOSKI, A. **Apostila de Perfuratrizes**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil. 2009.

QUAGLIO, O. A. **Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes dos agregados através do sistema laser profile e boretrak**. 2003. 152f. Dissertação (Mestrado em lavra de minas) - Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, 2003.

RICARDO, H., S., CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1977, 489 p.

HOSEINIE S H, AGHABABAEI H, POURRAHIMIAN Y. **Development of a new classification system for assessing of rock mass drillability index (RDi)**. Int J Rock Mech Min Sci 2008; 45: 110.

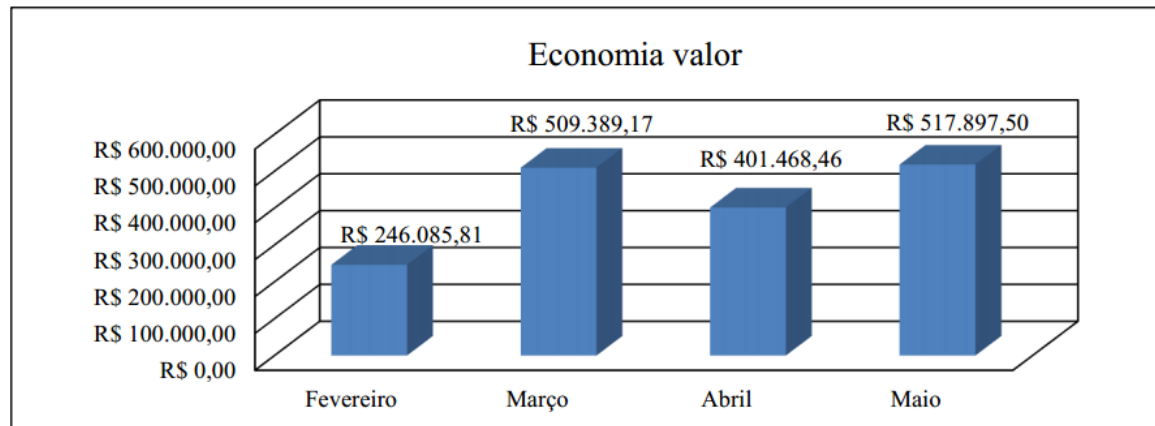
DE CASTRO, R. S., and PARRAS, M. M., **Manual de Ferramentas de Perfuração**. Rio de Janeiro: Fagersta secoroc, 1986, 225 p.

ANEXO

PLANILHA DE CÁLCULOS (TOTAL DRILLING COST)

Custo de ferramentas de desgaste				
Preços	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Preço Bit	R\$ 6.446,77	R\$ 6.481,80	R\$ 6.440,34	R\$ 6.444,69
Preço Broca Triconica	R\$ 7.977,12	R\$ 7.962,01	R\$ 8.392,18	R\$ 9.729,88
Preço Adptador Broca	R\$ 3.938,38	R\$ 4.201,77	R\$ 4.417,18	R\$ 5.496,23
Preço Martelo	R\$ 21.748,20	R\$ 23.495,61	R\$ 24.451,10	R\$ 24.456,09
Custo Hora do Equipamento (R\$/h)	R\$ 1.065,17	R\$ 1.665,89	R\$ 1.077,48	R\$ 1.243,78
Vida Util Broca (m)	19300	19300	19300	19300
Vida Util Bit (m)	2500	2500	2500	2500
Vida Util Martelo (m)	25000	35000	35000	35000
Vida Util Adaptador(m)	35000	25000	25000	25000
Velocidade de Perfuração Bit (m/h)	34,42	34,08	33,84	26,68
Velocidade de Perfuração Broca (m/h)	42,46	47,83	59,24	45,83

Custos diretos e indiretos da perfuração				
	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Custo Total da Perfuração	R\$ 5.726.378,00	R\$ 9.915.368,00	R\$ 6.982.068,00	R\$ 8.328.344,00
Horas do Mês (Fevereiro)	672	744	720	744
Numero de Perfuratrizes	8	8	9	9



Custo por metro perfurado	
Fevereiro	
Custo por Metro Broca	R\$ 25,61
Custo por Metro Bit	R\$ 34,40
Economia	R\$ 8,78
Economia Fevereiro TOTAL	R\$ 246.085,81
Março	
Custo por Metro Broca	R\$ 35,36
Custo por Metro Bit	R\$ 52,41
Economia	R\$ 17,05
Economia Março TOTAL	R\$ 509.389,17
Abril	
Custo por Metro Broca	R\$ 18,75
Custo por Metro Bit	R\$ 35,39
Economia	R\$ 16,65
Economia Abril TOTAL	R\$ 401.468,46
Maio	
Custo por Metro Broca	R\$ 27,80
Custo por Metro Bit	R\$ 50,17
Economia	R\$ 22,37
Economia Maio TOTAL	R\$ 517.897,50

Economia	
Mês	valor
Fevereiro	R\$ 246.085,81
Março	R\$ 509.389,17
Abril	R\$ 401.468,46
Maio	R\$ 517.897,50