

LÍVIA SILVA ROSA

**PERFURAÇÃO EM MINA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO
PROCESSOS AUTOMATIZADOS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2022

LÍVIA SILVA ROSA

PERFURAÇÃO EM MINA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO PROCESSOS
AUTOMATIZADOS

Projeto de fim de curso apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, com parte dos requisitos para a obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECATRÔNICA.**

Orientador: Prof^a. Dr. Priscila Ferreira
Barbosa de Sousa

**Uberlândia – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

À minha avó Geni Lima Fonseca por todo apoio, paciência, e compreensão durante o curso e por acreditar tanto na minha capacidade. Ao meus pais por todo incentivo e apoio.

A todos os meus amigos e familiares que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, com palavras de conforto, carinho e conselhos.

A Prof^ª. Dr. Priscila Ferreira Barbosa de Sousa pelo incentivo, motivação e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

E, finalmente, à Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Mecânica pela oportunidade de participar do curso de Engenharia Mecatrônica e por toda a infraestrutura oferecida.

A Nexa Resources, pelo desenvolvimento profissional, e crescimento pessoal. A turma da manutenção, que me recebeu com tanto carinho, me guiando quando necessário e me deixando voar quando era possível. Ao meu gestor, Renato Miller, por acreditar no meu trabalho, por me permitir cuidar de um projeto tão grande e tão esperado por todos.

E as minhas queridas companheiras de casa, que nos momentos de dificuldades me deram todo apoio. Obrigada pelas risadas, pelos momentos de descontração, por me ajudarem a seguir em frente em momentos que pareciam impossível.

Resumo

A automatização de processos contribui para a sistematização e aumento da produção. A automatização de um equipamento de perfuração, usado na mineração, além de aumentar a produção, melhora os resultados dos indicadores do equipamento aumentando a confiabilidade do processo. O Simba M6 C-ITH é um equipamento utilizado para perfuração de produção, ou seja, o produto obtido da perfuração é o resultado desejado, o qual é composto de minério e estéril. Os indicadores deste equipamento são analisados neste trabalho sendo de suma importância para determinar as melhorias proporcionadas no desempenho do equipamento com a inclusão do ABC Total.

O ABC Total é uma funcionalidade que permite que o equipamento seja operado de forma automática. A operação automática elimina as interferências externas que podem causar danos ao ativo da empresa, uma vez que, a máquina não trabalha fora dos padrões operacionais. O ABC Total é na verdade o controle avançado da lança que permite controlar todo o processo de perfuração realizado pelo equipamento. Por outro lado, o modo automático, exige cuidados específicos de manutenção e operação. Quando um equipamento trabalha em condições extremas e adversas é necessário cuidar de seus componentes para manter o bom funcionamento.

Com a inclusão do ABC Total no equipamento Simba M6 C-ITH observa-se que houve alterações nos indicadores, sugerindo uma melhora significativa.

Palavras-chave: perfuração, equipamento de mineração, Simba M6 C-ITH, ABC Total, operação automática, indicadores do equipamento.

Abstract

The automation of processes contributes to the systematization and increase of production. The automation of drilling equipment used in mining, in addition to increasing production, improves the results of the equipment's indicators, increasing the reliability of the process. The Simba M6 C-ITH is an equipment used for production drilling, that is, the product obtained from drilling is the desired result, which is composed of ore and waste. The indicators of this equipment are analyzed in this work being of paramount importance to determine improvements provided in the performance of the equipment with the inclusion of ABC Total.

ABC Total is a feature that allows the equipment to be operated automatically. The automatic operation eliminates external interference that can cause damage to the company's assets, since the machine does not work outside of operating standards. ABC Total is actually the advanced boom control that allows you to control the entire drilling process performed by the equipment. On the other hand, the automatic mode requires specific maintenance and operation care. When equipment works in extreme and adverse conditions, it is necessary to take care of its components to keep it working properly.

With the inclusion of ABC Total in the Simba M6 C-ITH equipment, it is observed that significant changes in the indicators, suggesting an improvement.

keywords: drilling, mining equipment, Simba M6 C-ITH, ABC Total, automatic operation, equipment indicators.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - EPIROC SIMBA M6 C - ITH	13
FIGURA 2 - EPIROC M6 C-ITH, VISTA LATERAL.....	14
FIGURA 3 - ÁREAS DE COBERTURA E POSICIONAMENTO DO SIMBA	15
FIGURA 4 - (1)STINGER; (2)CONJUNTO HIDRÁULICO; (5)PLACA DE SUPORTE; (6)PINO DE MOLA; (21,22,23)PARAFUSO SEXTAVADO, PORCA E ARRUELA.....	15
FIGURA 5 - (1) TENAZES; (2) ACOPLAMENTO; (3) ACOPLAMENTO; (4) EIXO PARA BRAÇOS DE APERTO; (5) BRAÇO DE APERTO; (6) CILINDRO DE BLOQUEIO; (7) SEGMENTO; (8) CILINDRO DE OSCILAÇÃO; (9) CILINDRO ESTACIONÁRIO; (10) CILINDRO DE INDEXAÇÃO; (11) ARO; (12) SENSOR SOLUCIONADOR; (13) SENSOR INDUTIVO (X 3); (14) EXTREMIDADE; (15) EIXO DO CARROSSEL.	16
FIGURA 6 - MENU DE PERFURAÇÃO	19
FIGURA 7 - VALORES DO POSICIONAMENTO DO FURO.	20
FIGURA 8 - MENU DE CARREGAR E SALVAR OS PLANOS DE PERFURAÇÃO.....	21
FIGURA 9 - MAGAZINE.....	25
FIGURA 10 - SEGMENTOS POSICIONADOS NO CONJUNTO MAGAZINE.	26
FIGURA 11 – BRAÇO DO MAGAZINE.....	27
FIGURA 12 - BRAÇO EM UMA VISTA COM O CONJUNTO MAGAZINE	27
FIGURA 13 - SENSOR DE INCLINAÇÃO	29
FIGURA 14 - IMAGEM DOS SEGMENTOS, ANTES DE SER MONTADO NO CARROSSEL.....	30
FIGURA 15 - SENSORES INDUTIVOS B114 E B115.....	31
FIGURA 16 - MAGAZINE E COLUNA DE AVANÇO.....	32
FIGURA 17 - SENSOR DE ANCORAGEM, STINGER.....	33
FIGURA 18 - SENSOR DE PRESENÇA DO LADO DIREITO DO EQUIPAMENTO	34
FIGURA 19 - DISPONIBILIDADES DE JAN-NOV DE 2021	36
FIGURA 20 - DISPONIBILIDADE	37
FIGURA 21 - DISPONIBILIDADE ANTES E DEPOIS DA ATIVAÇÃO DO ABC TOTAL.....	38
FIGURA 22 - UTILIZAÇÃO DE JAN-NOV DE 2021	39
FIGURA 23 - UTILIZAÇÃO	40
FIGURA 24 - UTILIZAÇÃO ANTES E DEPOIS DA ATIVAÇÃO DO ABC TOTAL.....	40
FIGURA 25 - MTBF DE JAN-NOV DE 2021	41
FIGURA 26 - MTBF	42
FIGURA 27 - MTBF ANTES E DEPOIS DO ABC TOTAL	42
FIGURA 28 - MTTR DE JAN-NOV DE 2021	43
FIGURA 29 - MTTR	44
FIGURA 30 - MTTR ANTES E DEPOIS DO ABC TOTAL	44
FIGURA 31 - PRODUÇÃO DE MINÉRIO ANTES E DEPOIS DO ABC TOTAL.....	45
FIGURA 32 - POSIÇÃO DO BERÇO	50

FIGURA 33 - SEQUENCIAMENTO DA JUNÇÃO AUTOMÁTICA.....	53
FIGURA 34 - SEQUENCIAMENTO DA REMOÇÃO AUTOMÁTICA	55

Lista de Tabelas

TABELA 1 - RESULTADOS DOS INDICADORES DO SIMBA M6 C-ITH NO ANO DE 2021.	24
TABELA 2 - FUNÇÃO DE PERFURAÇÃO E REMOÇÃO DE HASTE	51

Sumário

1	Introdução	9
2	Objetivos	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivo Específicos.....	11
3	Justificativa.....	12
4	Fundamentação teórica.....	13
4.1	Equipamento móvel – Simba M6 C-IHT	13
4.2	Manuseio de Hastes.....	16
4.3	ABC Total.....	17
4.4	Indicadores.....	21
4.4.1	MTBF (<i>Mean Time Between Failure</i>).....	22
4.4.2	MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>).....	22
4.4.3	Disponibilidade	23
4.4.4	Utilização	23
5	Metodologia.....	24
6	Desenvolvimento.....	25
6.1	Estrutural.....	25
6.1.1	Magazine	25
6.1.2	Segmentos	26
6.2	Sensores	28
6.3	Ativação do ABC Total	35

7	Resultados e Discussões	36
7.1	Disponibilidade	36
7.2	Utilização.....	39
7.3	MTBF (<i>Mean Time Between Failure</i>)	41
7.4	MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>)	43
7.5	Produção.....	45
8	Conclusão	47
9	Referências Bibliográficas.....	48
10	Anexos	50
10.1	Posicionamento do berço.....	50

1 Introdução

Segundo Alvarenga (2012) a lavra subterrânea compreende uma sequência de operações que vai desde o desmonte ao transporte para superfície, onde será feito o beneficiamento e posterior comercialização. Cada método de lavra tem suas características básicas de aplicabilidade e uma mesma mina pode apresentar mais de um método de lavra ou mudar de método ao longo dos anos. Mineração subterrânea é necessária quando a profundidade do minério torna a mineração a céu aberto inviável.

Métodos subterrâneos são utilizados quando a profundidade do depósito mineral, a razão estéril/minério, ou ambos os fatores se tornam excessivos para lavra a céu aberto, Paiva (2016).

Segundo Geraldi (2011), em 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 percussão, aliado a rotação da ferramenta.

O equipamento Simba M6 C-ITH é usado para perfuração de produção, em mina subterrânea. Ele é capaz de perfurar ascendente e descendente, e ainda pode alargar os furos perfurados. Este equipamento é de suma importância para cumprimento da meta de produção para a lavra subterrânea em uma mineradora de zinco em Vazante-MG. A meta é proposta todos os anos de acordo com estudo de viabilidade de exploração da mina.

O funcionamento do Simba M6 C-ITH quando utilizado no modo básico, manual, depende da habilidade do operador do equipamento. Existe uma bancada de controle, com dois *JoySticks*, um botão de emergência e um teclado com diversos botões de controle do equipamento. Através desses controles o operador consegue entrar no menu desejado, por exemplo, o menu de perfuração. Nesse menu é possível determinar o ângulo de perfuração e outros

dados como profundidade do furo. Com o equipamento no modo básico é possível realizar apenas um furo por vez. Os *JoySticks* servem para posicionar os furos, mas também são utilizados para movimentar o braço e pegar as hastes que são usadas na perfuração. Esse trabalho requer habilidade do operador para que a abertura do pegador de haste fique posicionada para pegar a haste de aço sem que ocorra atrito. No modo manual os danos no equipamento eram recorrentes, como por exemplo a quebra do pegador de haste. O tempo necessário para executar todo o leque de furos é maior em relação ao tempo gasto quando se usa o ABC Total, segundo a Epiroc (2022), a utilização do ABC TOTAL pode reduzir o tempo do ciclo de operação em 6%.

Entretanto, o Simba M6 C-ITH, segundo a Epiroc (2022), é um equipamento tecnológico equipado com controles de sistemas que permitem perfurações de forma automática. O ABC Total é uma funcionalidade adicional que a fabricante oferece para que possa ser realizado o controle automático total da lança. O ABC Total é o controle total do processo de perfuração pelo sistema RCS do equipamento.

Segundo a Epiroc (2022), o ABC Total funciona da seguinte forma, os planos digitais de perfuração são criados no software *Underground Manager*, salvos em um dispositivo de memória USB e então são transferidos para a perfuratriz. O dispositivo de memória USB é inserido no painel do operador dentro do equipamento e os planos de perfuração digitais são importados. A partir daí, o sistema RCS controla o processo. É importante ressaltar que apesar de ser ideal a inserção prévia do plano de perfuração pelo USB, este também pode ser inserido de forma manual pelo operador e o ABC Total fará o processo de perfuração de forma automática. Assim este trabalho consiste na adaptação do equipamento para o uso no automático.

Para que a funcionalidade ABC Total fosse instalada no equipamento foi necessária uma inspeção profunda em todos os componentes do equipamento tais como sensores, hastes de aço, o conjunto magazine, etc. Todo o sistema deve estar ajustado para que o controlador opere com exatidão. Os resultados obtidos até o momento apontam para um significativo aumento na disponibilidade, na utilização e na produção.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é ativar a funcionalidade *ABC Total* analisando os impactos nos indicadores de manutenção do equipamento SIMBA M6 C-ITH.

2.2 Objetivo Específicos

- i. Estudar o uso e a importância do equipamento SIMBA M6 C-ITH
- ii. Realizar um estudo sobre o *ABC Total*, entender o que essa funcionalidade acrescenta ao equipamento;
- iii. Realizar um levantamento dos componentes que são necessários para ativar o *ABC Total* e não se encontram no equipamento;
- iv. Acompanhar a instalação dos componentes no equipamento;
- v. Realizar um estudo teórico sobre alguns dos indicadores de manutenção (*MTBF*, *MTTR*, Disponibilidade, Utilização);
- vi. Aplicar de forma metodológica os indicadores de manutenção para ver os impactos sofridos pelo equipamento;
- vii. Avaliar os resultados obtidos pelo equipamento comparando com os resultados anteriores a aplicação do *ABC Total*.

3 Justificativa

O trabalho desenvolvido tem como objetivo principal melhorar o desempenho do equipamento Simba M6 C-ITH, que é usado em uma mineradora. O foco é aumentar a disponibilidade, ou seja, permitir que o equipamento esteja disponível para uso operacional por mais tempo ao longo do dia. Na busca por soluções o opcional ABC Total surgiu como forma de automatizar o processo de perfuração, realizado pelo equipamento Simba M6 C-ITH, possibilitando assim redução nos tempos de operação e consequentemente aumentando a possibilidade de utilização.

Com o equipamento operando no manual as decisões do operador influenciam fortemente no desempenho desse equipamento o que reflete diretamente na produção. O operador tem autonomia sobre as decisões no processo, logo mesmo se o sistema do equipamento informar alguma não conformidade, caberá a ele a decisão de parar ou continuar. Esse procedimento pode intensificar uma falha pré-existente, o que pode ocasionar quebra de alguns componentes. Quando uma máquina é operada de forma automática, os parâmetros são controlados por um software. Assim a máquina não trabalhará de forma incorreta, ou seja, ela não vai agir fora do parâmetro.

Dessa forma, com o equipamento trabalhando no modo automático os indicadores de desempenho devem sofrer alterações.

Os Indicadores de desempenho analisados nesse texto serão: MTBF (*Mean Time Between Failure* – Tempo Médio Entre Falhas), MTTR, (*Mean Time To Repair* - Tempo Médio de Reparo), disponibilidade e utilização, que trataremos como indicadores de manutenção. Esses indicadores determinam o desempenho da manutenção e a utilização do equipamento, também será feita uma comparação do antes e depois do ABC Total, para que se possa observar se houve alguma melhoria.

4 Fundamentação teórica

Esta seção tem como objetivo detalhar o equipamento Simba M6 C-ITH da Epiroc, utilizado por uma empresa de mineração no noroeste de Minas Gerais.

4.1 Equipamento móvel – Simba M6 C-IHT

Segundo Epiroc (2022), o Simba é um equipamento de perfuração longa usado para a produção em galerias de médio e grande porte, capaz de fazer furos entre 51 e 178 mm, Figura 1 .

Segundo a fabricante Atlas Copco (2013), atual Epiroc, este equipamento é utilizado para perfuração de produção e possui um martelo pneumático de fundo, ITH – *In The Hole*, utilizado para furos retos profundos. O sistema de controle usado pela Epiroc é chamado de *Rig Control System* (RCS), ele faz perfuração de longo alcance, com eficiência e alta precisão, e garante um ambiente de trabalho ergonômico e maior vida útil dos consumíveis. O RCS é adaptável e pode ser atualizado para as versões mais atuais.

Figura 1 - Epiroc Simba M6 C - ITH



Fonte: (Próprio autor, 2021)

O Simba permite que o operador tenha boa visibilidade da frente de mineração, isso é possível por causa da extensão do chassi frontal, que pode ser visto na Figura 2, o que permite que a perfuração seja vista de dentro da cabine garantindo maior segurança.

Figura 2 - Epiroc M6 C-ITH, vista lateral.



Fonte: (Próprio autor, 2021)

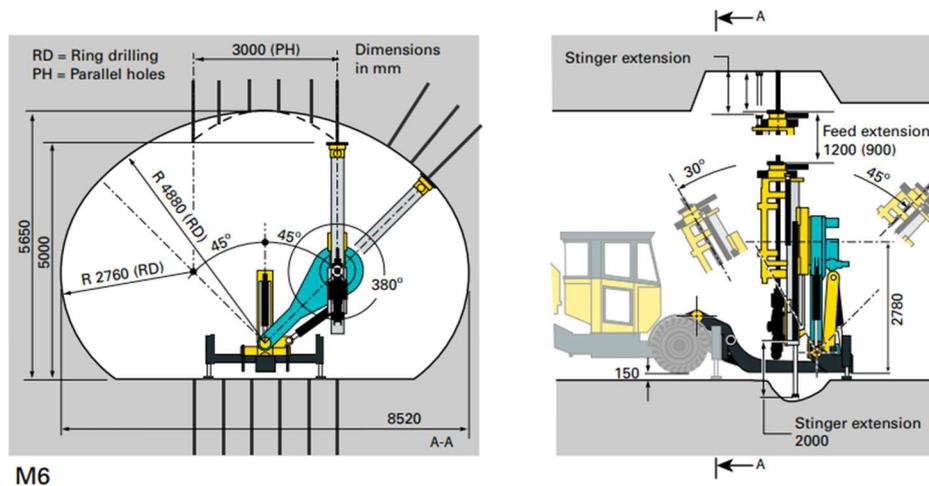
A perfuração que utiliza o ITH, *in the hole*, indica que o impacto da perfuração ocorre no final da coluna de perfuração, a percussão do martelo ocorre dentro do furo. Quando falamos de perfuração de fundo, encontramos na literatura (Epiroc, 2022; Valmon Engenharia, 2019) dois tipos, DTH e ITH.

O DTH é o mais comum e significa *Down The Hole*, para furos descendentes. A diferença do ITH para o DTH é que uma perfuração ITH pode ser feita de forma ascendente e descendente.

O Simba M6 C-ITH tem compatibilidade com diversos bits, perfuratrizes e martelos ITH, o que possibilita operação do equipamento de acordo com sua necessidade, oferecendo diferentes comprimentos de avanço, uma gama de posicionamento e perfuratrizes que se configuram rapidamente e que oferecem furos precisos.

O posicionamento do Simba depende da inclinação frontal, rotação e do movimento do pêndulo do braço, após esses ajustes temos o posicionamento final do equipamento, para executar o furo falta apenas configurar o comprimento do avanço, como podemos ver na Figura 3.

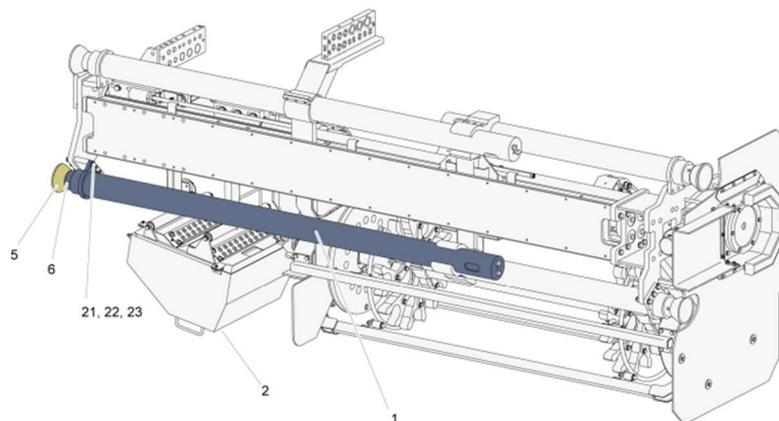
Figura 3 - Áreas de cobertura e posicionamento do Simba



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Na Figura 3 é possível ver a extensão dos *stingers* (hastes de ancoramento), na parte de baixo e na parte de cima. É muito importante que o equipamento esteja ancorado para que ele possa realizar a perfuração.

Figura 4 - (1)Stinger; (2)Conjunto hidráulico; (5)Placa de suporte; (6)Pino de mola; (21,22,23)Parafuso sextavado, porca e arruela



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Os *stingers*, Figura 4, são hastes de ancoramento acionadas por cilindros hidráulicos. O Simba M6 C-ITH, possui quatro *stingers*, dois para ancoragem inferior e dois para ancoragem superior.

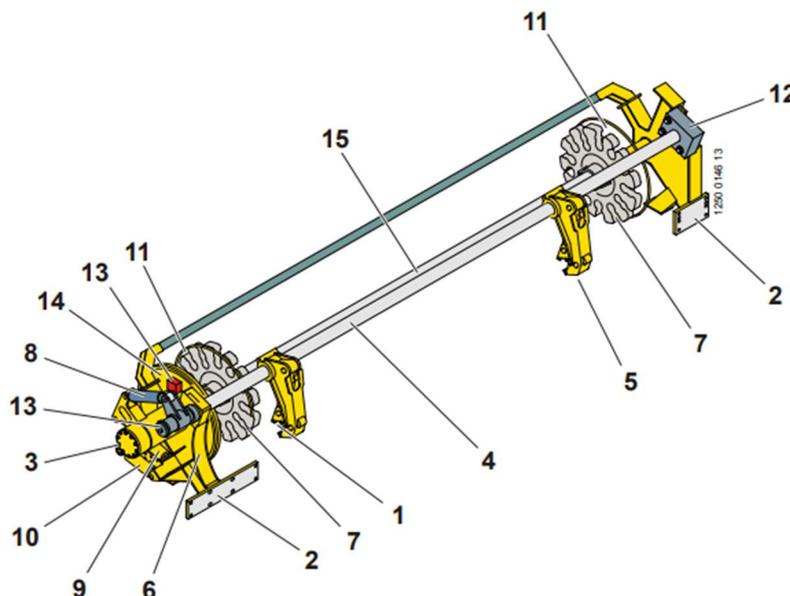
4.2 Manuseio de Hastes

O conjunto que realiza o manuseio das hastes, conhecido como magazine, é composto pelos braços, carrossel, cilindros, acoplamentos e sensores.

Esse conjunto realiza a junção das hastes para perfuração e, depois do furo feito, também é responsável pela remoção das hastes do furo. O anexo I traz mais detalhes sobre o sequenciamento de junção e remoção das hastes.

É importante que todo o conjunto esteja funcionando perfeitamente, pois se for detectado qualquer erro, o sistema não consegue operar no ABC Total, ou seja, o modo automático não ativa.

Figura 5 - (1) Tenazes; (2) Acoplamento; (3) Acoplamento; (4) Eixo para braços de aperto; (5) Braço de aperto; (6) Cilindro de bloqueio; (7) Segmento; (8) Cilindro de oscilação; (9) Cilindro estacionário; (10) Cilindro de indexação; (11) Aro; (12) Sensor solucionador; (13) Sensor indutivo (x 3); (14) Extremidade; (15) Eixo do carrossel.



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

O magazine recebe sinal do sistema que define se deve ou não continuar perfurando. O sinal é emitido pelo sensor de comprimento. Quando o furo está completamente feito, de acordo com o planejamento, é realizado o processo de remoção das hastes para limpeza do furo.

Na Figura 5 observa-se os tenazes e braços de aperto, aqui definidos apenas como braço para simplificar a citação desses componentes neste trabalho. O braço, o eixo do braço, o cilindro de oscilação e o sensor solucionador são responsáveis pela movimentação do eixo do braço, para que as hastes de aço possam ser coletas para perfurar, eles também são responsáveis por devolvê-las para seu lugar no segmento.

O segmento é responsável por suportar as hastes de aço, ele as mantém no lugar para que o processo de perfuração seja possível. Se as hastes caírem, isso pode ocorrer quando há folga ou deformação dos segmentos, o ABC Total não funcionará, porque o sistema vai entender que há um erro, uma vez que terá menos hastes no carrossel do que deveria.

Os sensores indutivos determinam qual o posicionamento do carrossel, indicando qual compartimento está em posição para carregamento na frente do aro, seja para retirada de haste ou para devolução. Os acoplamentos são para a fixação da coluna de avanço, responsável pelo avanço para realizar a perfuração.

O cilindro de indexação é usado para indexar o carrossel de forma que fique posicionado e seja ativado os sensores indutivos, em outras palavras, o cilindro de indexação é responsável pelo giro do carrossel e sua indexação para que as hastes de aço sejam movimentadas.

4.3 ABC Total

ABC, *Advanced Boom Control* ou controle avançado da lança. O equipamento Simba M6 C-ITH, pode ser configurado com dois tipos de ABC, o ABC Regular e o ABC Total. Segundo manual da Atlas Copco (2017), atual Epiroc, os ganhos do equipamento em relação aos ABC's são:

ABC Regular

- i. Perfuração adicional durante as trocas de turno, paradas e detonações
- ii. Reduz abusos operacionais quando utiliza a perfuração de um furo automático
- iii. Monitoramento remoto quando perfurar em condições perigosas
- iv. Executar a perfuração automática de um furo completo com a profundidade pré-ajustada
- v. Pode ser usado para perfurar em todas as direções
- vi. Adição e retirada das hastes de forma automática
- vii. Executa o emboque de forma automática ou manual

ABC Total

- i. Perfuração adicional durante as trocas de turno, paradas e detonações
- ii. Reduz abusos operacionais quando utiliza a perfuração de um furo automático
- iii. Monitoramento remoto quando perfurar em condições perigosas
- iv. Executar a perfuração automática de leque completo em automático
- v. Pode ser usado para perfurar em todas as direções
- vi. Adição e retirada das hastes de forma automática
- vii. Executa o emboque de forma automática ou manual
- viii. Adiciona o tempo de perfuração quando usa o trocador de bit (Não para ITH) ou funções tele-remotas

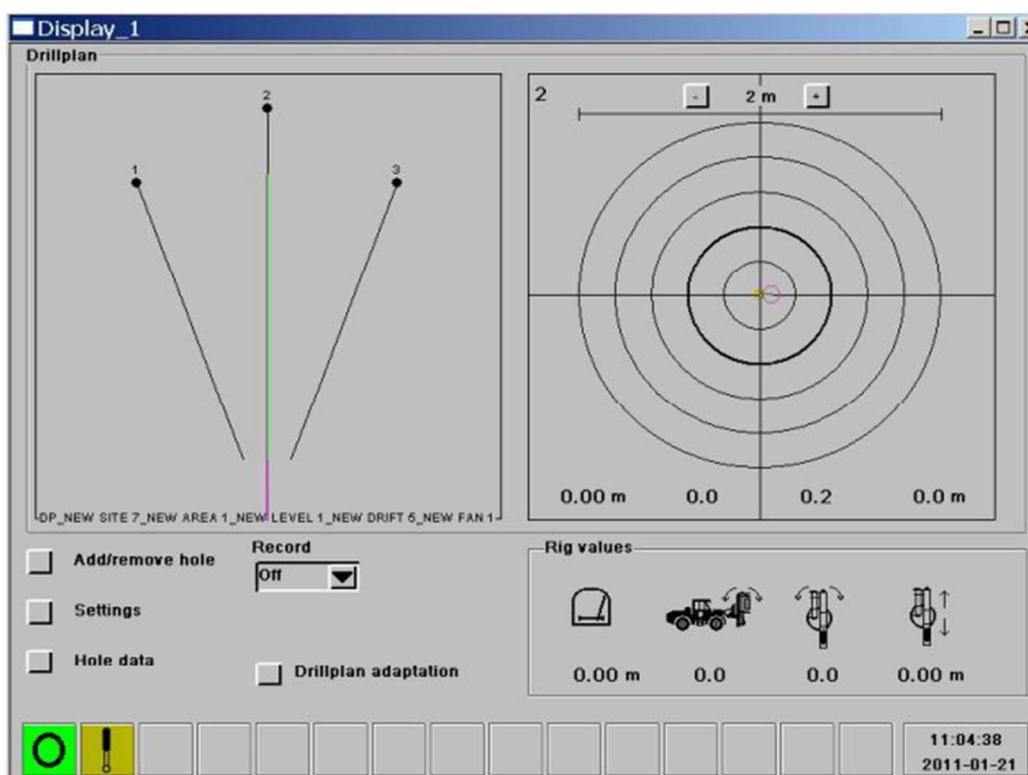
Pode-se dizer que a grande diferença entre os dois tipos de ABC é que o ABC Regular, permite a perfuração automática de um furo, enquanto o ABC Total permite a perfuração automática de um leque de furos.

De acordo com Holmberg (2001) as perfurações em leque são fundamentalmente diferentes de todas as demais variantes, porque os furos são perfurados a partir de um ponto central, irradiando em direção aos limites do bloco mineral que se pretende lavar.

O ABC Total é a função automática do equipamento. Essa funcionalidade é utilizada para que o equipamento opere de forma automática, realizando a perfuração em leque sem interferência homem/máquina.

ABC Total é uma opção que realiza o posicionamento automático e a perfuração de furos de acordo com um plano de perfuração pré-determinado (Atlas Copco (2013), atual Epiroc). O operador deve configurar a máquina para trabalhar no modo automático, em seguida o plano de perfuração deve ser carregado digitalmente ou inserido manualmente, quando o plano é inserido manualmente é importante lembrar que a sequência de perfuração também deve ser gravada, isso é necessário pois o sistema precisa saber qual a sequência dos furos para que possa ser executado no automático.

Figura 6 - Menu de perfuração

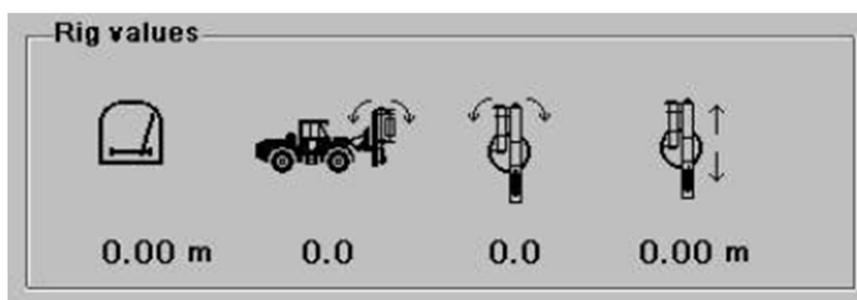


Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

A Figura 6 apresenta o monitor do equipamento, no modo do Menu *Drillplan* (Plano de perfuração). Neste monitor tem-se a caixa no canto superior esquerdo que é o local onde mostra o plano de perfuração e a posição geográfica

da coluna de avanço, conforme os pontos de perfuração são gravados. A caixa no canto superior direito, onde tem um alvo, é destinada a determinação do posicionamento do furo. O operador faz o posicionamento de acordo com o plano de perfuração e para que esse furo seja gravado, ele deve ser capturado no alvo. Isso deve ser feito se os furos forem gravados manualmente, se o equipamento tiver o ABC Total o posicionamento pode ser feito automaticamente, através de um plano digitalizado.

Figura 7 - Valores do posicionamento do furo.



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Na Figura 7 observa-se 4 imagens distintas, aqui é o local do monitor do plano de perfuração onde pode-se ver o posicionamento do furo. De acordo com o Manual de Operação tem-se a definição dessas quatro imagens, da esquerda para direita:

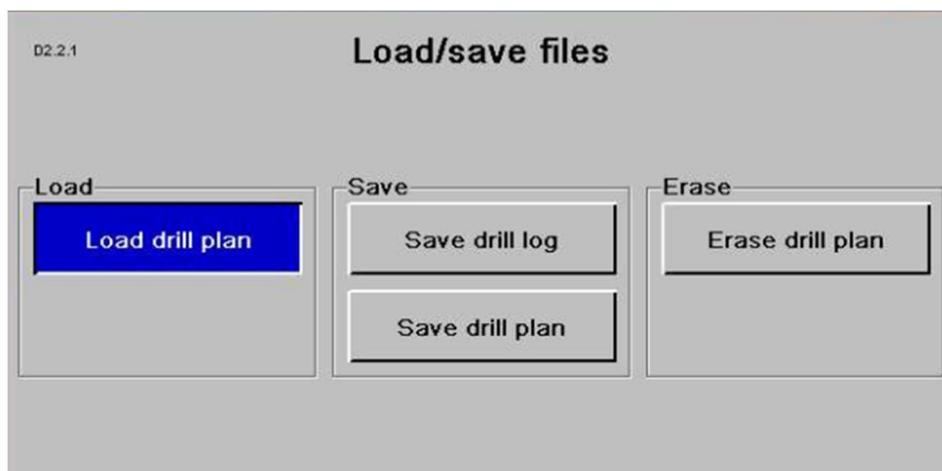
- Deslocamento linear, em outras palavras, deslocamento pendular do braço;
- Ângulo de inclinação;
- Ângulo de rotação;
- Extensão da coluna de avanço.

O equipamento com o sistema de ABC Total possui um menu de carregar/salvar, onde é possível carregar os dados de uma memória USB, Figura 8.

Segundo a fabricante Atlas Copco (2013), atual Epiroc, depois do plano de perfuração salvo é possível mostrar os furos no menu plano de perfuração. Como existe uma opção de manuseio do plano de perfuração é possível

automatizar os furos de acordo com o plano de perfuração pré-determinado, gravado através da memória USB ou gravado manualmente.

Figura 8 - Menu de carregar e salvar os planos de perfuração.



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

4.4 Indicadores

Um indicador é uma métrica, um dado quantitativo utilizado para analisar a performance de um determinado processo, ativo ou setor, Teles (2018). Os indicadores são amplamente utilizados pelas empresas para acompanhar os resultados de produção.

Para a manutenção é de extrema importância fazer o acompanhamento dos indicadores sendo uma forma de medir os resultados e melhorar a confiabilidade agregando valor aos ativos.

Quando falamos de equipamentos móveis de uma mina subterrânea, os indicadores de manutenção se tornam indispensáveis. Em um ambiente agressivo os indicadores ajudam a engenharia nas tomadas de decisões.

Nesse trabalho analisamos os seguintes indicadores: MTBF (*Mean Time Between Failure*): Tempo médio entre as falhas, MTTR (*Mean Time To Repair*): Tempo médio para reparo, Disponibilidade (DF), Utilização (UT).

4.4.1 MTBF (*Mean Time Between Failure*)

O MTBF significa o tempo médio entre falhas, e pode ser calculado pelo tempo total de operação do ativo dividido pelo número de falhas, (Gulati & Smith, 2009):

$$MTBF = \frac{TTO}{NF} \quad (1)$$

Legenda:

TTO = Tempo Total Disponível para Operação ;

NF = Número de Falhas

Esse indicador é usado para medir a confiabilidade, pois mede o tempo médio que leva para a segunda falha ocorrer após a primeira, dito isso, quanto maior for o MTBF maior a confiabilidade do ativo.

4.4.2 MTTR (*Mean Time To Repair*)

MTTR é o tempo médio para reparo, ou seja, o tempo médio para reestabelecer completamente as condições operacionais do ativo após a ocorrência da falha (Gulati & Smith, 2009). Pode ser calculado pelo tempo total de reparo dividido pelo número de falhas:

$$MTTR = \frac{TTR}{NF} \quad (2)$$

Legenda:

TTR = Tempo Total de Reparo;

NF = Número de Falhas

O Indicador de desempenho MTTR mede a eficiência da manutenibilidade.

4.4.3 Disponibilidade

Segundo as Normas Brasileiras (NBR), disponibilidade é a capacidade de um ativo estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462, 1994).

A disponibilidade é determinada pelo tempo que o equipamento está em condições de ser utilizado para operação, o MTBF e MTTR influenciam a disponibilidade, e por isso são utilizados para calcular a disponibilidade:

$$DF = \frac{TTO}{TTO + TP} \quad (3)$$

Legenda:

TTO = Tempo Total Disponível para Operação ;

TP = Tempo parado

4.4.4 Utilização

A utilização é um indicador que faz que seja possível medir os problemas operacionais, situações que não envolvem manutenção, como por exemplo, troca de turno, falta de operador, limpeza de frente de serviço, entre outros.

Xenos (1998) diz que o indicador utilização serve para avaliar como a empresa, manutenção e produção em conjunto, está aproveitando a capacidade produtiva de um ativo.

$$UT = \frac{TO}{TTO} \quad (4)$$

Legenda:

TO = Tempo de operação;

TTO = Tempo Total Disponível para Operação

5 Metodologia

A análise proposta neste trabalho é pautada na produção referente ao ano de 2021 e nos indicadores detalhados no item 4, sendo eles: DF (disponibilidade), MTBF (tempo médio entre falhas), MTTR (tempo médio de reparo), UT (utilização), os dados referentes ao equipamento, Simba M6 C-ITH, foram extraídos do banco de dados disponibilizados pela empresa.

A análise dos indicadores será feita de três formas distintas:

1. Análise no período de janeiro a novembro;
2. Análise dos quatro meses antes do ABC Total e dos quatro meses depois do ABC Total, mês a mês;
3. A análise da média considerando os períodos de 4 meses antes e após o ABC Total.

O banco de dados é tratado no Excel, como mostra a tabela 1, onde os valores finais são compilados. Os gráficos dos indicadores são criados a partir da tabela 1 e são mostrados como resultados desse trabalho.

Tabela 1 - Resultados dos indicadores do Simba M6 C-ITH no ano de 2021.

Equipamento	Data	Data	Meta DF	DF	Meta UF	UF	MTBF	MTTR
SI07	jan/21	Jan	62,50%	59,13%	58,00%	52,06%	5,57	2,67
SI07	fev/21	Fev	62,50%	69,87%	58,00%	59,28%	4,70	1,93
SI07	mar/21	Mar	62,50%	58,63%	58,00%	60,65%	5,19	1,88
SI07	abr/21	Abr	62,50%	72,31%	58,00%	61,49%	8,82	1,33
SI07	mai/21	Mai	62,50%	73,85%	58,00%	60,02%	6,32	2,22
SI07	jun/21	Jun	62,50%	17,83%	58,00%	55,76%	11,28	2,85
SI07	jul/21	Jul	62,50%	55,66%	58,00%	60,60%	9,63	2,37
SI07	ago/21	Ago	62,50%	75,52%	58,00%	64,84%	7,72	2,36
SI07	set/21	Set	62,50%	64,31%	58,00%	61,80%	9,45	2,72
SI07	out/21	Out	62,50%	80,27%	58,00%	65,59%	9,05	2,12
SI07	nov/21	Nov	62,50%	73,08%	58,00%	67,55%	8,26	1,89

Fonte: (Próprio autor, 2021)

6 Desenvolvimento

Durante o processo para a ativação do ABC Total foi realizado um levantamento de componentes que precisavam ser instalados e/ou componentes que precisavam ser reformados.

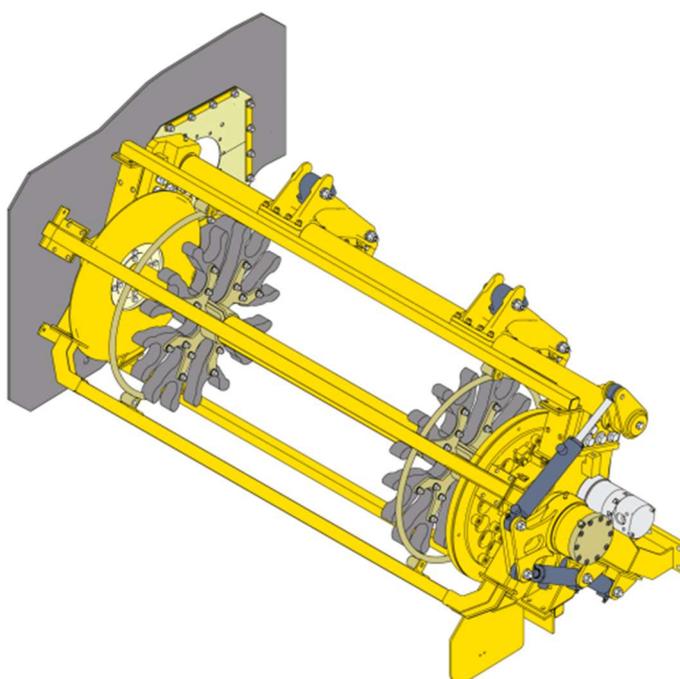
Esse processo demandou tempo e muito cuidado, pois devido à complexidade do equipamento e do sistema ABC, qualquer coisa que estivesse fora dos padrões estipulados resultaria no não funcionamento do sistema ABC Total.

6.1 Estrutural

6.1.1 Magazine

O Magazine é um conjunto essencial para o funcionamento do ABC Total, uma vez que é neste sistema que as hastes são manipuladas para serem usadas durante a perfuração, por isso é também conhecido como a parte de manuseio de hastes.

Figura 9 - Magazine.



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

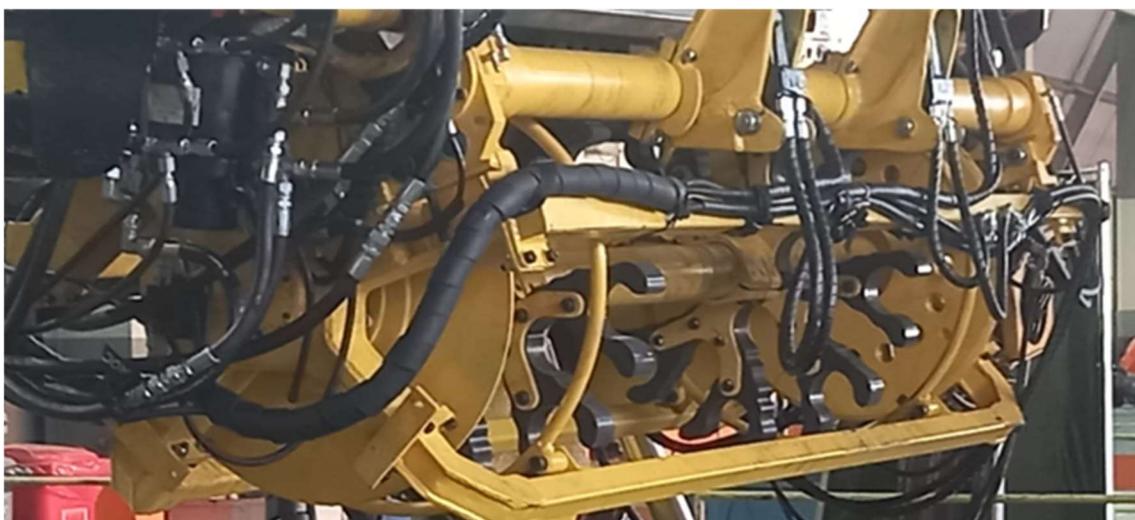
O magazine, apresentado na Figura 9, precisa estar alinhado para garantir um bom funcionamento. Durante o levantamento detectou-se alguns danos neste conjunto, tais como deformações e em alguns pontos onde a estrutura apresentava curvatura.

6.1.2 Segmentos

Os segmentos, que são os suportes para as hastes de aço, também estavam danificados. Os segmentos estão no carrossel do magazine e são responsáveis por manter as hastes no lugar, Figura 10. O movimento de giro do carrossel é realizado pelo cilindro de indexação, que movimenta e trava na posição desejada para a retirada ou devolução das hastes de aço, enquanto esse processo acontece os segmentos devem manter as hastes seguras. Esse componente segura as hastes por meio de pressão, funciona como um grampo, quando a haste está na posição de ser inserida no segmento o braço empurra e o segmento abre, assim que a haste está posicionada o segmento se acomoda fechando em torno da haste.

Durante o trabalho de inspeção e levantamento detectou-se que os segmentos não conseguiam segurar as hastes pois não faziam mais pressão, assim se fez necessário a aquisição de segmentos novos.

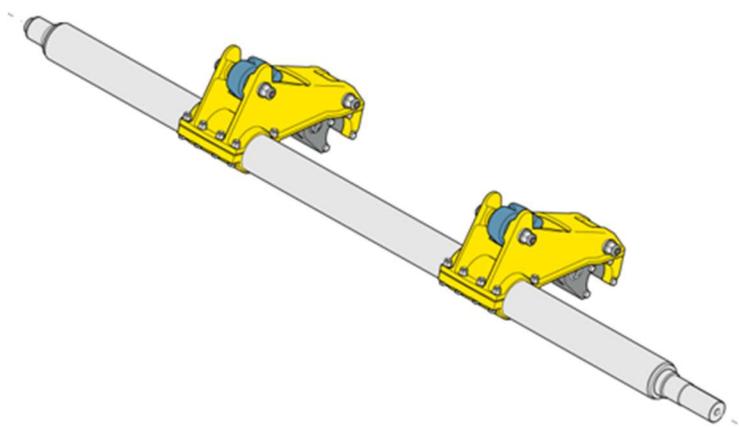
Figura 10 - Segmentos posicionados no conjunto magazine.



Fonte: (Próprio autor, 2021)

Outro componente mapeado foi o braço que é utilizado para coletar as hastes, Figura 11. Os sensores indutivos fazem leitura da posição do magazine e enviam um sinal para o sistema de controle RCS, o sistema faz a leitura e envia um comando para que o braço seja deslocado, pegando a haste que está na posição em frente ao aro e deslocando-a para a coluna de avanço, onde a perfuratriz encaixa a haste e volta a perfurar.

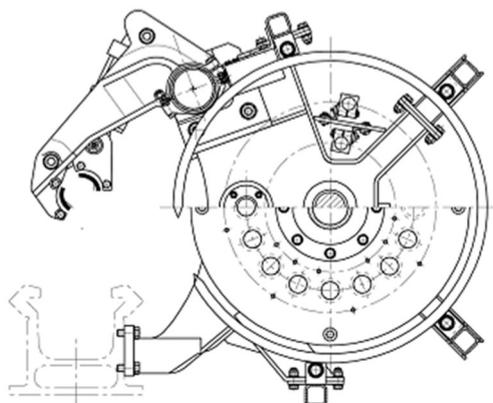
Figura 11 – Braço do magazine.



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Se o braço não funcionar não é possível realizar a perfuração no automático, mesmo na perfuração manual o mal funcionamento do braço dificulta o processo. Esse componente estava com folga e por isso precisou ser reformado.

Figura 12 - Braço em uma vista com o conjunto magazine



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

6.2 Sensores

Os sensores também foram avaliados. Era necessário identificar quais sensores que já estavam na máquina e em condições de uso, quais sensores precisariam ser substituídos e os que precisariam ser adquiridos. Primeiro detalhou-se os sensores necessários para o funcionamento do ABC Total.

Como o equipamento não apresentava nenhum problema para funcionar no modo manual, os sensores presentes no equipamento tais como os sensores de pressão, de temperatura, de nível, entre outros estavam operando normalmente. Assim, não foi necessário fazer um levantamento sobre esses sensores.

Para o ABC Total são necessários os seguintes sensores:

- Sensor de inclinação;
- Sensor de comprimento;
- Sensor que determina o posicionamento do carrossel;
- Sensor de extensão da coluna de avanço;
- Sensor de ancoragem (*Stinger*);
- Sensores de movimento (*Presença*).

Para o funcionamento básico do equipamento, operação no manual, são necessários três sensores de inclinação e um sensor de comprimento. Os sensores de inclinação são divididos em dois para detectar a inclinação da coluna de avanço e o um terceiro sensor para detectar o movimento pendular do braço (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc). Os três sensores de inclinação estavam em perfeitas condições no equipamento e não foram substituídos.

Observa-se na Figura 13 os sensores de inclinação, que influenciam diretamente no resultado da perfuração, pois uma mínima variação no ângulo pode ocasionar uma perfuração fora do bloco de minério e com isso aumentar a diluição, diminuindo o teor presente no minério extraído. Os sensores de inclinação estavam em bom funcionamento, logo não foram substituídos.

Figura 13 - Sensor de Inclinação

Fonte: (Próprio autor, 2021)

Os equipamentos de mina subterrânea, presentes na empresa, fazem uso dos inclinômetros para assegurar a inclinação correta, a perfuração não pode ocorrer sem esse sensor. Caso ele esteja fora de funcionamento, danificado, e não seja possível a troca imediata, como por exemplo quando o componente precisa ser importado, o uso do equipamento é feito amparado pelo uso de um inclinômetro, na coluna de posicionamento para determinar o ângulo.

O sensor de comprimento, assim como o de inclinação, é utilizado para a operação manual, no modo básico, no qual o operador faz todas as determinações de parâmetros. Logo, é um sensor que precisa vir no equipamento, mesmo se a função ABC Total não for ativada, o sensor estava no equipamento e não foi necessária nenhuma intervenção.

O sensor de comprimento utilizado é do tipo linear e é requisitado quando o equipamento entra em modo de perfuração. Este sensor consegue determinar o comprimento do furo. O comprimento do furo é determinado no plano de perfuração, cada furo do leque tem seu tamanho específico, isso é importante para que o bloco tenha o maior teor de minério possível, ou seja, quantidade

pequena de estéril. Dessa forma, o valor do comprimento de cada furo já está gravado no sistema que envia um sinal para os sensores do equipamento continuar ou não inserindo hastes de aço para perfuração. No anexo I pode-se observar os posicionamentos distintos do berço (Figura 32). Essas posições são usadas pelos sensores para determinar o quanto a haste avançou, realizando um somatório para determinar quando parar.

É importante ressaltar que quando o sistema está no modo automático, por exemplo, ABC Regular, o sistema RCS usa certas posições do berço como referência. Essas posições indicam ao suporte se algumas funções, tais como perfuração, coluna de avanço rápida ou rosqueamento, devem ser ligadas ou desligadas (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc).

O anexo I fala sobre o posicionamento do berço e como é feito o sequenciamento para a junção e para a remoção das hastes.

Figura 14 - Imagem dos segmentos, antes de ser montado no carrossel

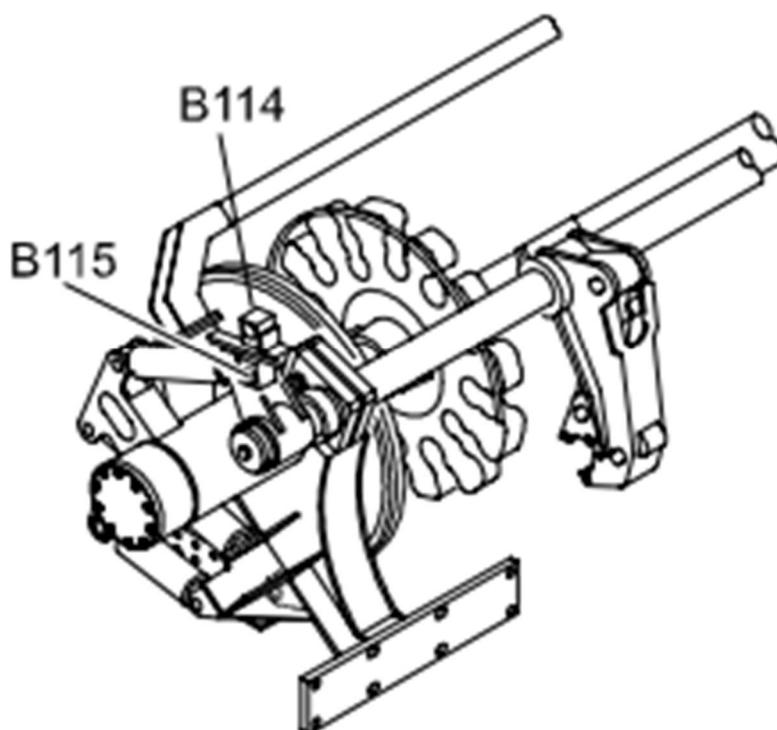


Fonte: (Próprio autor, 2021)

Outros sensores fundamentais no processo são os sensores que determinam o posicionamento do carrossel, esses sensores são indutivos e determinam a posição que o carrossel está na frente a abertura dos aros. Isso é necessário para que o braço possa retirar as hastes de aço para perfuração. O carrossel é composto de um conjunto de segmentos e, como apresentado na Figura 14, os segmentos possuem entradas com quantidades diferentes de hastes, uma, duas ou três hastes. As hastes de aço ficam em seus lugares específicos e o sensor consegue definir na frente de qual das aberturas ele se encontra.

O funcionamento dos sensores indutivos pode ser descrito a partir da Figura 15.

Figura 15 - Sensores indutivos B114 e B115



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

O sensor B115 identifica se o compartimento em frente a abertura dos aros possui uma haste de aço. Existe um segundo sensor, B114, que identifica quando o compartimento em frente a abertura dos aros possui duas hastes ou

três hastes, os dois sensores enviam um sinal para o sistema identificando a presença de três hastes naquele compartimento.

O sensor de coluna de avanço é um dos sensores necessários para o ABC Total, uma vez que, o equipamento fará a perfuração no automático e é necessário saber até quando se pode estender a coluna de avanço. Estender ou retrainr a coluna de avanço é uma necessidade da perfuração. É dessa forma que se torna possível a junção das hastes de aço e o avanço para aumentar o comprimento do furo. Além disso, esse sensor é imprescindível para a segurança, pois se a coluna de avanço for estendida mais do que o planejado está pode acabar se chocando com a superfície da mina.

Figura 16 - Magazine e coluna de avanço



Fonte: (Próprio autor, 2021)

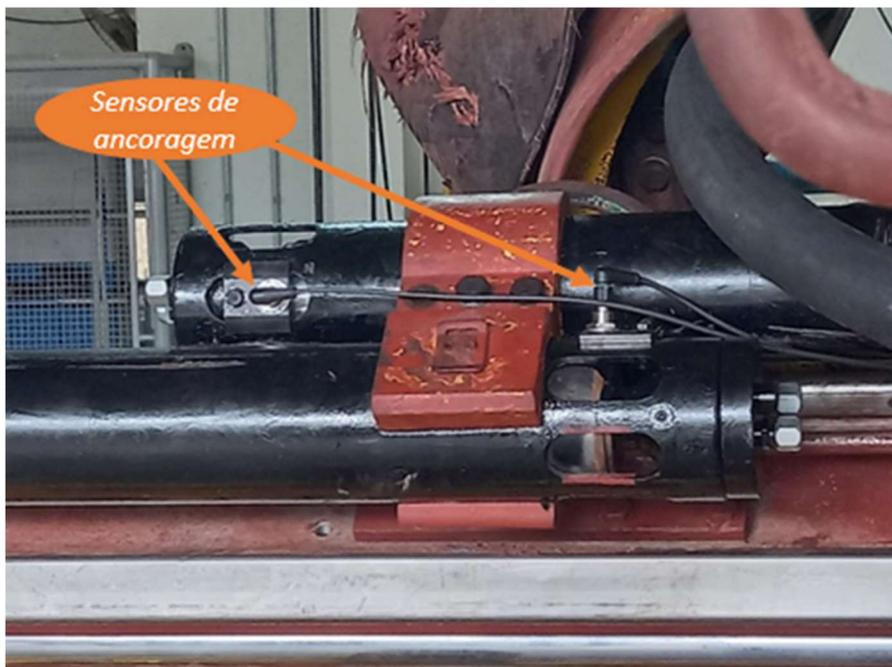
Os sensores de ancoragem (*stingers*) são sensores que mantêm o equipamento ancorado, ou seja, praticamente sem movimentação. Existe uma margem percentual que o sistema do equipamento permite que haja de

inclinação, rotação e pêndulo, caso o movimento detectado pelo sistema seja superior ao permitido, os sensores enviam um sinal e os *stingers* são retraídos para sua posição original (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc). Em seguida o sistema fará uma nova tentativa de ancoragem e se os sensores não detectarem nenhum movimento o equipamento fica em estado liberado para perfurar.

No equipamento, SIMBA M6 C-ITH, são necessários quatro sensores de ancoragem, pois existem quatro *stingers*. Dois deles são chamados de *stingers* inferiores e são responsáveis pela ancoragem inferior do equipamento. Os outros dois são chamados de *stingers* superiores sendo responsáveis pela ancoragem na parte superior. O equipamento não deve funcionar se não estiver ancorado. Para o ABC Total os sensores são necessários para que a ancoragem seja feita e dessa forma o plano de perfuração para o leque aconteça automaticamente sem a interferência do operador.

Esses quatro sensores não existiam no equipamento logo primeiro passo foi fazer uma requisição de compra. O trabalho de mapeamento e levantamento possibilitou planejar a parada do equipamento para as adequações.

Figura 17 - Sensor de ancoragem, stinger



Fonte: (Próprio autor, 2021)

A Figura 17 apresenta os dois sensores já instalados, um deles em um *stinger* inferior e o outro em um *stinger* superior.

Por último, o sensor de presença (Figura 18). Esse sensor é necessário para a segurança de pessoas que estejam nas proximidades da localização desse equipamento. O sensor de presença é responsável por detectar o movimento caso uma pessoa ultrapasse o limite seguro. São dois sensores alocados um em cada lado do equipamento na parte da frente, colocados em uma posição estratégica do equipamento para manter as pessoas em segurança. Se houver movimento o sensor detecta a presença e desliga o equipamento imediatamente.

Figura 18 - Sensor de presença do lado direito do equipamento



Fonte: (Próprio autor, 2021)

Os sensores de presença estavam no equipamento e não houve necessidade de fazer aquisição de novos sensores pois os dois estavam em pleno funcionamento. Com o ABC Total o sistema faz toda a leitura dos sensores para trabalhar no automático assim, caso algum destes sensores estejam com mal funcionamento o sistema detecta o problema ou a ausência e desliga o equipamento.

6.3 Ativação do ABC Total

Após o levantamento e mapeamento de componentes com defeitos e, dos componentes que não estavam no equipamento e que deveriam ser adquiridos foi possível a ativação do ABC Total.

O equipamento já tinha o sistema necessário para a ativação do ABC Total, dessa forma depois da instalação dos componentes, o sistema foi resetado e reiniciado, a partir daí ele passou a detectar a presença dos componentes necessários para o ABC Total e o equipamento estava pronto para uso.

Houve então a necessidade de treinar os operadores para que eles pudessem operar com o ABC Total. Os operadores precisavam entender a importância do treinamento e da utilização da funcionalidade, uma vez que eles são os responsáveis pela operação do equipamento.

O treinamento foi realizado na empresa com um especialista enviado pela Epiroc, fabricante do equipamento. O treinamento foi dividido em duas etapas, uma etapa teórica com duração de um dia e um etapa prática, em que o técnico acompanhou os operadores durante uma semana para que eles sanassem todas as suas dúvidas.

Os operadores receberam a mudança muito bem e como o conhecimento que eles têm do equipamento é vasto eles não tiveram dificuldades em se adaptar às mudanças. Com isso foi possível que a operação do equipamento acontecesse durante a troca de turno, o que foi positivo para a produção e aumentou o tempo de utilização.

Para a manutenção houve algumas alterações em relação às pausas para manutenção corretiva. Para o funcionamento no automático o sistema presente no equipamento não permite nenhuma alteração no equipamento logo, uma falha por mais simples que seja precisa de atendimento imediato. Assim foi feito um acordo entre a manutenção e operação para manter o equipamento funcionando com o ABC Total, sempre que houver uma falha o equipamento será colocado em corretiva e a manutenção precisa atender e resolver a falha da melhor forma possível, com agilidade e precisão.

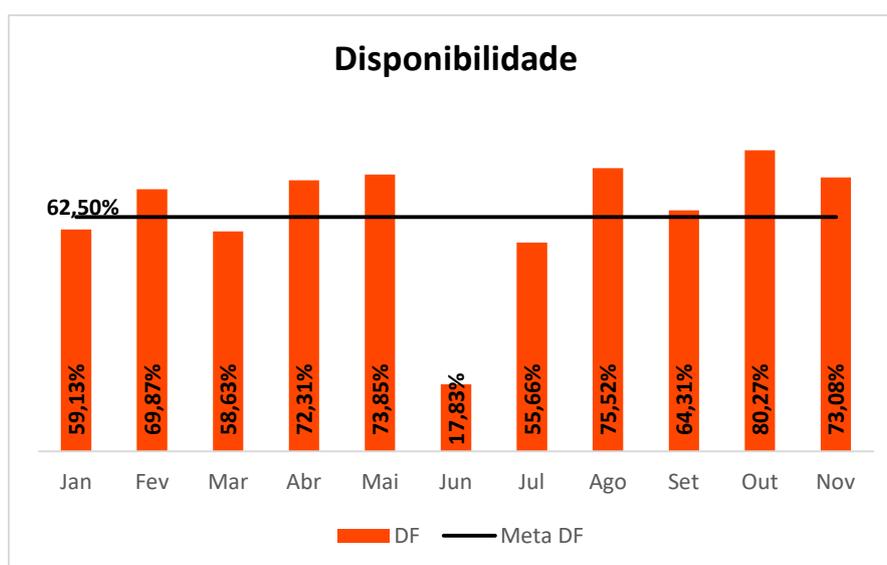
7 Resultados e Discussões

Os resultados deste trabalho são expressos pelos indicadores de manutenção do equipamento Simba M6 C-ITH. Na sequência são apresentados todos os indicadores analisados no ano de 2021 até o mês de novembro deste mesmo ano. Depois será feita uma análise de alguns meses antes da ativação do ABC Total comparando com a mesma quantidade de meses depois da ativação. O ABC TOTAL foi instalado e o Simba M6 C-ITH entrou em operação com a funcionalidade em julho de 2021 e as mudanças no equipamento podem ser observadas com as análises dos indicadores.

7.1 Disponibilidade

A Figura 19 mostra a disponibilidade do equipamento ao longo do ano. Observa-se os resultados mês a mês. No mês de março o equipamento passou por problemas com uma válvula hidráulica da entrada de ar do *booster*, o equipamento estava com a percussão ineficiente e foi necessário substituir a válvula. Como a válvula não era item de estoque o equipamento ficou parado esperando que o componente chegasse. Foi decidido colocar o equipamento em preventiva e executar todos os backlogs presentes no equipamento. A parada do equipamento foi grande e isso ocasionou uma disponibilidade abaixo da meta.

Figura 19 - Disponibilidades de Jan-Nov de 2021



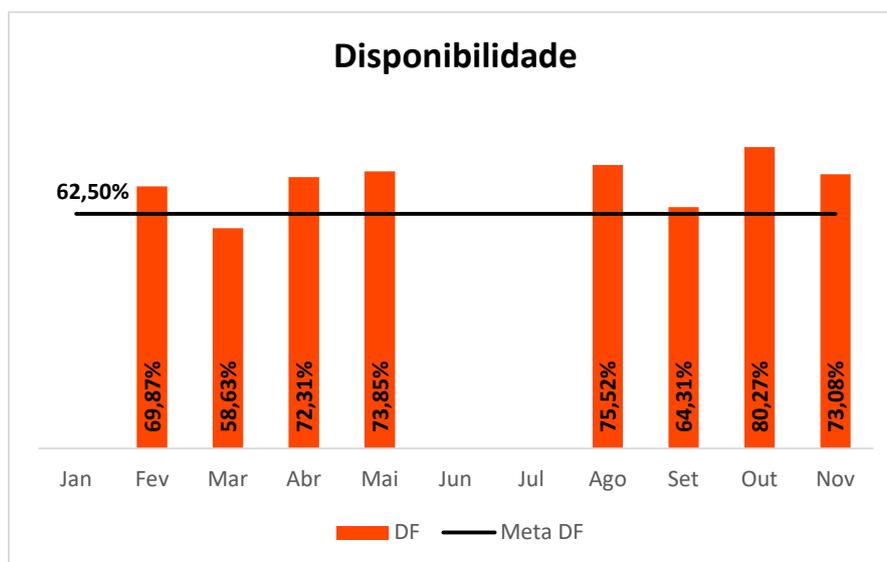
Fonte: (Próprio autor, 2021)

O backlog é um indicador que representa as tratativas de manutenção pendentes. São as atividades que precisam ser realizadas no equipamento, ou seja, um conjunto de manutenções que precisam ser executadas em manutenções preventivas ou corretivas.

Os meses de junho e julho marcaram um período de parada para realizar a manutenção preventiva para ativação do ABC Total e o período de estabilização do equipamento, por isso observa-se disponibilidade abaixo da média.

No mês de setembro de 2021 o equipamento teve problemas elétricos de alta complexidade. O equipamento possui um coletor elétrico que é a primeira passagem da energia elétrica depois da saída do painel elétrico e houve superaquecimento nesse coletor devido as escovas presentes no anel. Realizou-se uma análise de falha para esse caso específico e concluiu-se que o problema estava nas escovas do coletor que aqueciam causando deformação do anel. Essa deformação criava uma distância entre as escovas e o anel que gerava um arco elétrico até que o circuito tivesse um curto, queimando todos os componentes do coletor. Houve mais de uma parada por causa dessa falha no coletor

Figura 20 - Disponibilidade

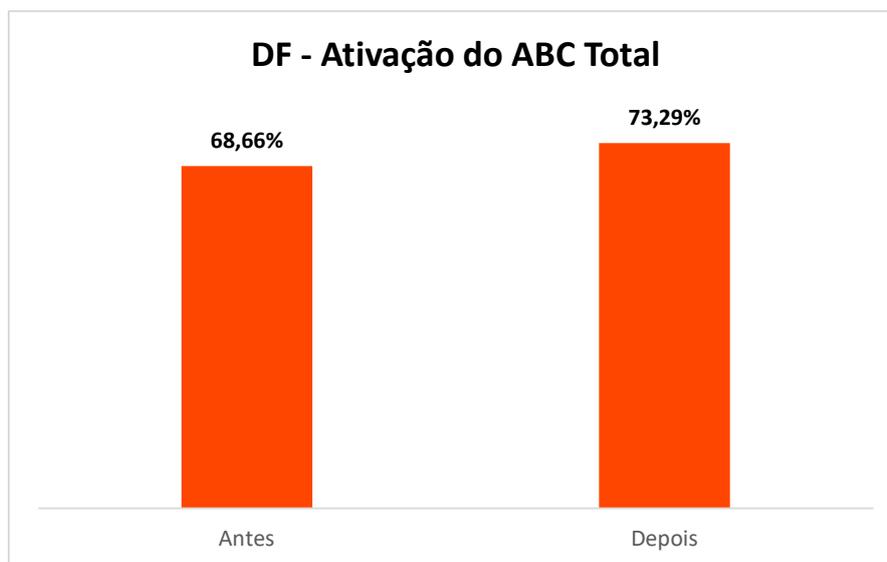


Fonte: (Próprio autor, 2021)

A meta de disponibilidade do Simba é de 62,5%, este equipamento é muito importante para o processo de produção. Nota-se, com a apresentação da Figura 20 que a disponibilidade foi cumprida na maior parte do ano. Depois que o equipamento passou pela ativação do ABC Total ele não ficou abaixo da meta de disponibilidade.

Na Figura 21 observa-se a disponibilidade nos quatro meses antes da ativação do ABC Total e compara-se com os quatro meses posteriores. Depois da ativação do ABC Total, o equipamento teve um aumento de 4,63% de disponibilidade. O aumento da disponibilidade pode ter acontecido porque o equipamento perfurou no automático, durante esse tipo de perfuração estamos eliminando a interferência humana o que reduz a possibilidade de erro, o equipamento só vai funcionar nas condições ideais, ocorrendo o desligamento assim que for detectado algo fora do normal.

Figura 21 - Disponibilidade antes e depois da ativação do ABC Total



Fonte: (Próprio autor, 2021)

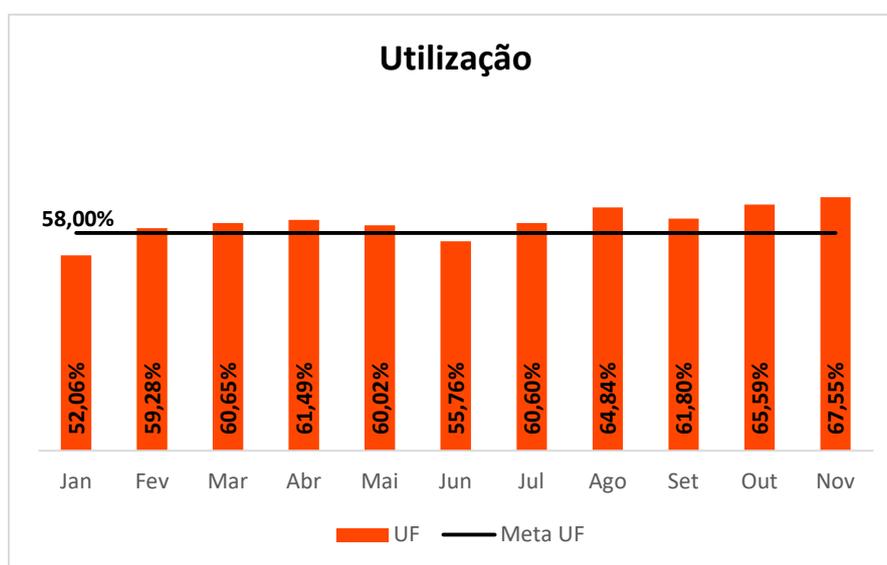
A disponibilidade é um indicador que analisa a performance da manutenção, durante o processo para ativação do ABC Total, foi negociado que a manutenção cuidaria desse equipamento de forma que ele pudesse manter a perfuração automática, para isso foram tomados cuidados adicionais tais como

realizar o torqueamento da perfuratriz, lubrificação a cada 40 h e atender as corretivas atacando o problema e encontrando a causa raiz.

7.2 Utilização

A utilização do equipamento tem meta de 58%, o desempenho ao longo do ano foi satisfatório. Os meses de junho e julho também apresentaram um índice de utilização alto, pois, a utilização está ligada a disponibilidade, em outras palavras, é a porcentagem em que se consegue usar o equipamento quando ele está disponível. Pela Figura 22 observa-se que o gráfico de utilização tem um leve aumento depois da instalação do ABC Total.

Figura 22 - Utilização de Jan-Nov de 2021

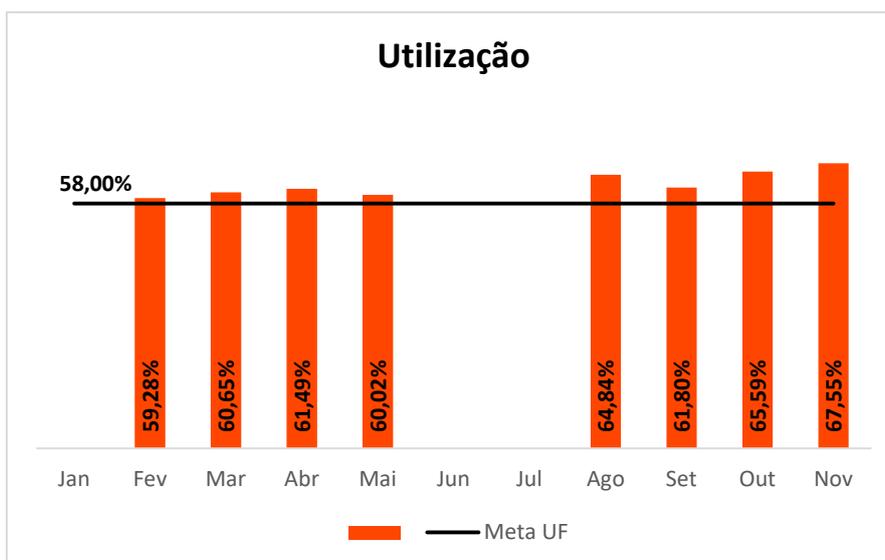


Fonte: (Próprio autor, 2021)

A Figura 23 mostra a comparação dos quatro meses anteriores e posteriores à ativação do ABC Total. O equipamento passou a ser utilizado 4,58% mais do que era utilizado antes do ABC Total, Figura 24.

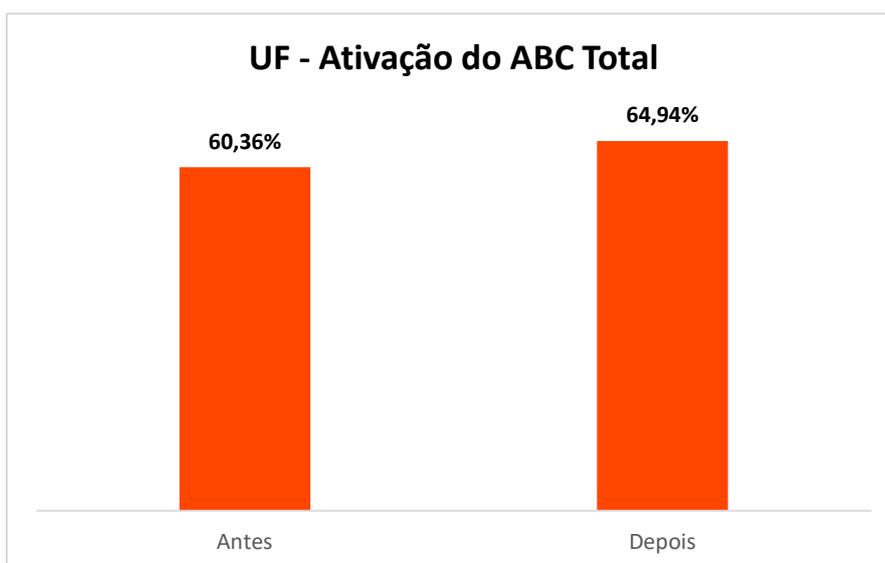
O fator de maior impacto nessa questão é a operação do equipamento durante as trocas de turnos operacionais. Com o ABC Total em funcionamento é possível deixar a perfuração planejada e manter o equipamento em operação enquanto os operadores realizam as trocas de turno.

Figura 23 - Utilização



Fonte: (Próprio autor, 2021)

Figura 24 - Utilização antes e depois da ativação do ABC Total



Fonte: (Próprio autor, 2021)

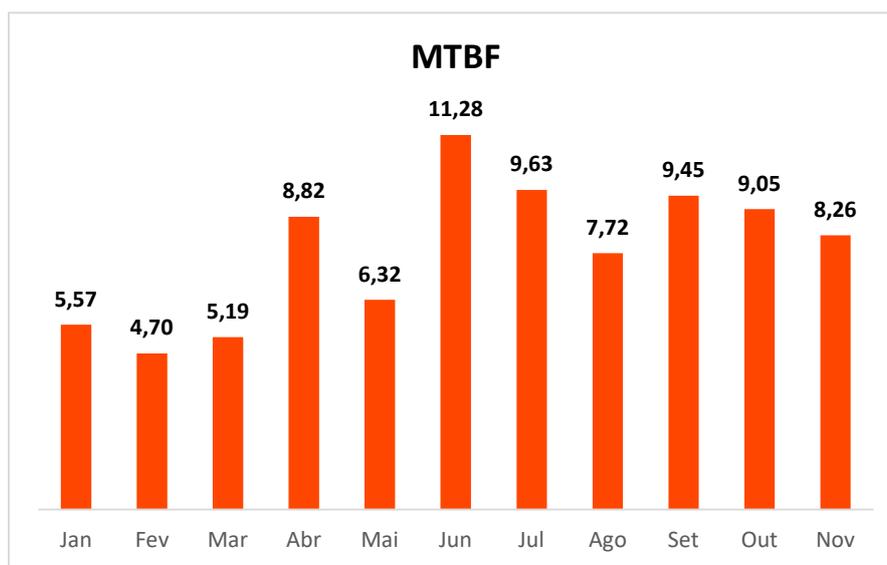
A utilização é um indicador que mostra o desempenho operacional, ela não se caracteriza como um indicador de manutenção, mas é um indicador importante de ser acompanhado pois quanto mais o equipamento é utilizado maior a produção e também tem maior possibilidade de falhas porque as manutenções são planejadas de acordo com as horas de funcionamento do equipamento. O ABC Total possibilitou que a operação utilizasse o equipamento durante um tempo que era até então considerado como equipamento parado,

sem operador, agora o equipamento pode funcionar mesmo sem o operador. No modo automático o sistema mantém todos os requisitos de segurança, se algo estiver fora dos parâmetros ele desliga, parando a perfuração, que poderá ser retomada pelo operador.

7.3 MTBF (*Mean Time Between Failure*)

O MTBF é um indicador usado para verificação. Esse indicador verifica como está o desempenho da manutenção e por isso a empresa não definiu uma meta de cumprimento para MTBF. Ao longo do ano o MTBF do equipamento teve uma média de 7,82 horas, Figura 25. Para equipamentos móveis de mina subterrânea esse resultado é satisfatório sendo que a referência de ideal seria o MTBF anual próximo de 10 horas.

Figura 25 - MTBF de Jan-Nov de 2021

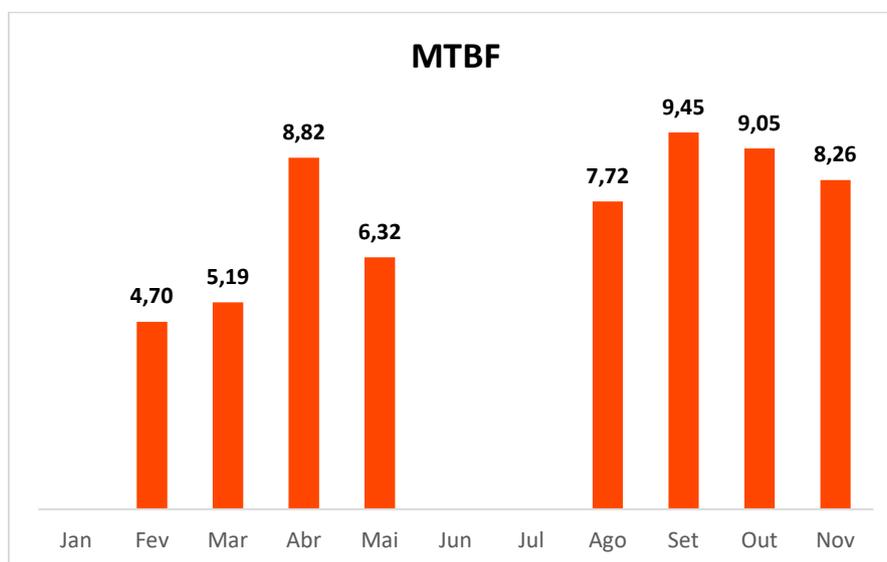


Fonte: (Próprio autor, 2021)

Na Figura 26 observa-se os resultados deste indicador considerando quatro meses antes e quatro meses após a ativação do sistema ABC Total. Nota-se claramente a melhora no desempenho com o sistema automático (período de Ago – Nov). Isso é justificado uma vez que o equipamento está trabalhando no automático e a máquina não opera caso detecte a possibilidade de danos. Assim, o sistema ABC Total, em execução no equipamento, não permite que este funcione contra as normas e parâmetros e, ainda, se existir alguma não

conformidade com a rocha, como por exemplo vazios, o que pode ocasionar problemas para a perfuratriz, o sistema do ABC Total interrompe imediatamente o funcionamento corroborando para reduzir danos de operação.

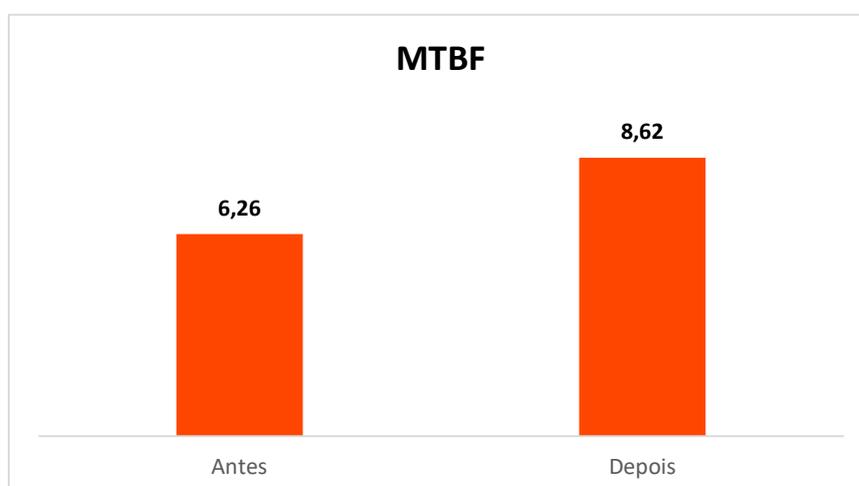
Figura 26 - MTBF



Fonte: (Próprio autor, 2021)

A Figura 27 mostra o desempenho do MTBF antes e depois do ABC Total. Observa-se que com a automatização obteve-se um aumento de mais de 2h, em média, o tempo entre falhas, passando de 6,26 horas para 8,62 horas.

Figura 27 - MTBF antes e depois do ABC Total



Fonte: (Próprio autor, 2021)

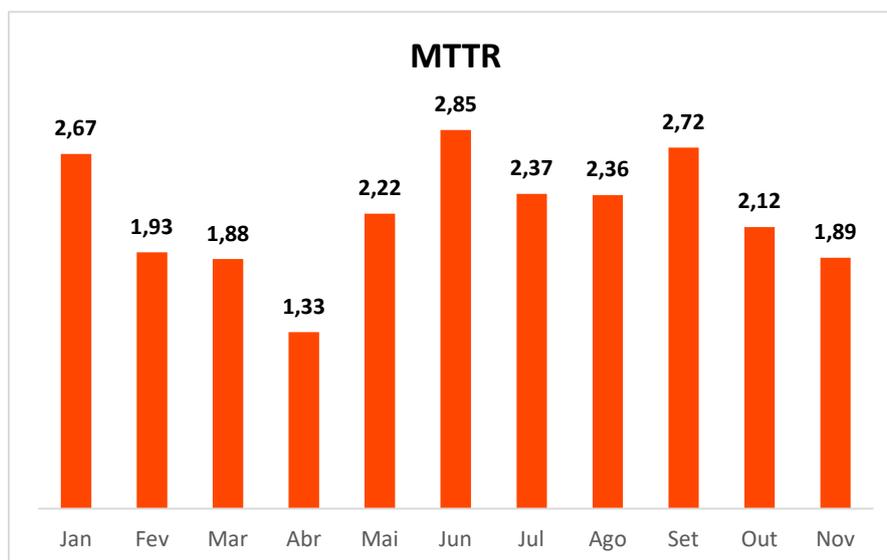
7.4 MTTR (*Mean Time To Repair*)

O MTTR é utilizado como indicador para verificação de atuação da manutenção. As falhas costumam ter um tempo estimado para realização do reparo, assim como para o MTBF, para o MTTR não existe uma meta pré-estabelecida para cumprimento do indicador.

O MTTR está diretamente relacionado com a disponibilidade. Na Figura 28, observa-se que o MTTR aumentou ao longo do ano de 2021, mas a disponibilidade também aumentou. Espera-se que esses indicadores tenham um comportamento inversamente proporcional, ou seja, que um indicador aumente e o outro diminua.

Esse resultado pode indicar que a manutenção corretiva realizada no equipamento ocorria com um tempo médio menor, mas que talvez a qualidade da manutenção corretiva tenha piorado. O que pode ser o motivo do MTBF ser menor nos primeiros meses do ano, ou seja, meses em que aconteciam mais falhas.

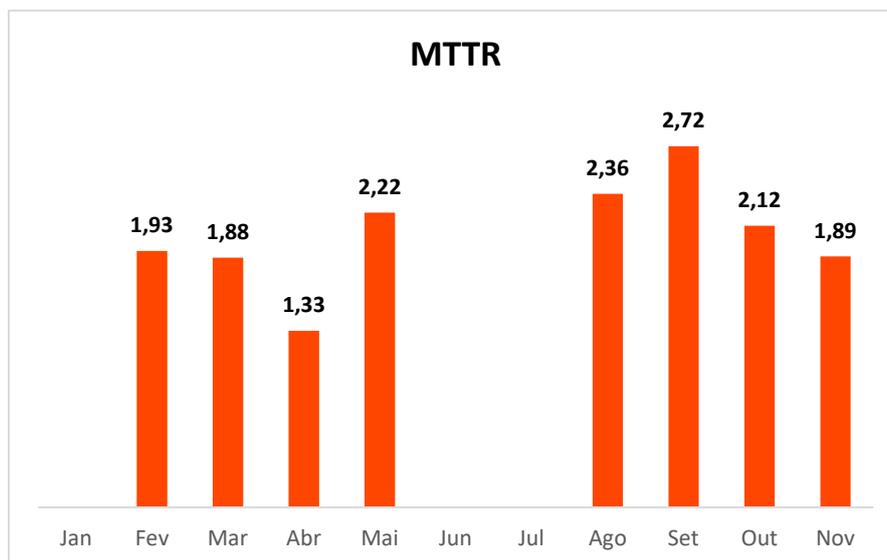
Figura 28 - MTTR de Jan-Nov de 2021



Fonte: (Próprio autor, 2021)

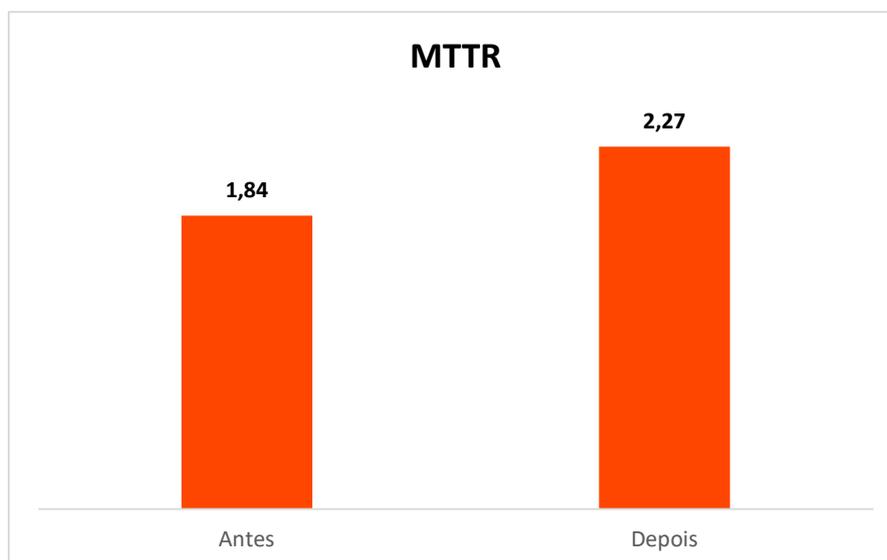
Analisando o período de quatro meses pré e pós automatização, como foi feito com os outros indicadores, fica ainda mais claro o aumento do tempo médio de reparo, Figura 29.

Figura 29 - MTTR



Fonte: (Próprio autor, 2021)

Figura 30 - MTTR antes e depois do ABC Total



Fonte: (Próprio autor, 2021)

Como dito anteriormente a disponibilidade do equipamento também apresentou aumento, isso indica que a qualidade da manutenção provavelmente

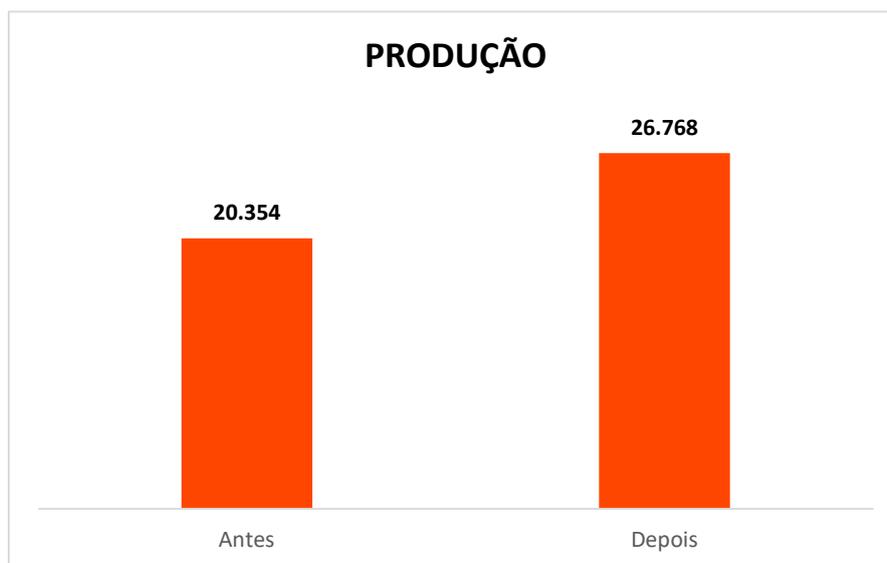
aumentou, nota-se um aumento de 0,43 horas no tempo médio de reparo, alterando de 1,84 horas para 2,27 horas, apresentado na Figura 30.

Outro motivo para o aumento no MTTR é o preciosismo da manutenção em relação ao equipamento, ou seja, a execução criteriosa do plano de manutenção específico para que o equipamento permaneça em perfeito estado para o funcionamento do ABC Total.

7.5 Produção

A produção, resultado da mineração, é o reflexo de todo o trabalho desenvolvido em uma mineradora. A proteção de um ativo contribui para aumentar o ciclo de vida útil deste. Assim, a produção é reflexo direto de um equipamento em bom estado sendo operado de maneira eficiente.

Figura 31 - Produção de minério antes e depois do ABC Total



Fonte: (Próprio autor, 2021)

A Figura 31 apresenta o aumento da produção nos quatro meses posteriores a instalação do ABC total. Vários fatores influenciam neste aumento, mas pode-se destacar que com o modo automático o equipamento continua operante mesmo nas trocas de turno, o que não ocorria anteriormente, outro fator que contribui diretamente com esse aumento é o fato de que o equipamento

operando no automático, ocasiona um limite de erro menor, para perfuração isso pode indicar menor diluição, maior teor e maior produção.

Depois do ABC Total a produção passou de 20.354 para 26.768 toneladas, um aumento aproximado de 30% que é um resultado promissor.

8 Conclusão

O trabalho apresenta a ativação de um dispositivo de controle que permite a operação de um equipamento de perfuração em minas no modo automático.

Observa-se que os indicadores sofrem uma alteração positiva depois da ativação do ABC Total promovendo maior disponibilidade, menos falhas atendidas em manutenções corretivas o que possibilita uma utilização mais ampla do equipamento mesmo em trocas de turno.

Com o Abc Total o equipamento apresentou menos paradas, aumentando o intervalo médio entre as falhas, MTBF. Porém observa-se que as paradas demandaram um tempo de reparo maior, isso se deve a diversos motivos, dentre eles o fato das quebras serem mais complexa e ao preciosismo dos executantes de manutenção, um equipamento que impulsiona o aumento da produção deve ser cuidadosamente mantido, logo acredita-se que esse cuidado e critério nas manutenções possa ter contribuído para o aumento do tempo médio de reparo, MTTR.

Vale ressaltar que mesmo com o MTTR maior, depois da ativação do ABC Total, o equipamento continua oferecendo uma disponibilidade maior do que oferecia antes do ABC Total. Isso acontece porque o tempo médio entre falhas aumentou aproximadamente 31%. Enquanto o tempo médio para reparo, aumentou 23%. Logo, o tempo para reparo não aumentou o suficiente para afetar a disponibilidade devido à diminuição acentuada no número de falhas.

Um trabalho baseado em análise de indicadores após a ativação de um modo automático em um ativo, gerando um aumento de aproximadamente 30% na produção, é um resultado muito promissor garantindo que a confiabilidade do equipamento aumentou.

9 Referências Bibliográficas

- ALVARENGA, J. F. **Estudos de Índices Operacionais da Lavra Subterrânea no Brasil**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral: Lavra de Mina). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto MG, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ATLAS COPCO. **Simba M6 C ITH Instruções de Manutenção**. Örebro, Suécia, Atlas Copco Rock Drill AB, 2013. P 409.
- CONTROLE Avançado da Lança. *In*: EPIROC. Disponível em: <https://www.epiroc.com/pt-br/innovation-and-technology/automation-and-information-management/automation-and-information-management-underground/advanced-boom-control>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- GERALDI, J. L. P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. P 40-72.
- GULATI, R.; SMITH, R. **Maintenance and Reliability Best Practices**. Nova York: Industrial Press, 2009. P 416.
- HOLMBERG, R.; HUSTRULID, W.; CUNNINGHAM, C. **Blasting Design for Underground Applications In: Underground Mining Methods and applications**. littleton Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME), 2001. Cap.72. p.635-661.
- INCLINÔMETRO com Ímãs Nível Eletrônico Graus Ângulo Inclinação Testador Régua 400mm 360. *In*: FERRAMENTAS E ACESSÓRIOS. Disponível em: <https://ferramentasdachina.com.br/transferidores-nivel-eletronico-graus-inclinometro-com-imas>. Acesso em: 08 dez. 2021.
- JARDIM, T. F. **Análise de Desempenho de Brocas Triconicas 9 7/8"**. 2017. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto MG, 2017.
- MIRANDA, A. **Instalação Kit ABC Total / Total Station Navigation: Ajuste e parametrização da perfuração em automático**. Vazante, Brasil, Atlas Copco Brasil, 2017. P 19.
- PAIVA, G. **Aplicação de Tecnologias de Informação e Automação em Minas Subterrânea: Desafios e Perspectivas**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- QUAL A Diferença Entre Down The Hole e Top Hammer?. *In*: Valmon Engenharia. Disponível em: <https://www.valmonengenharia.com.br/qual-a-diferenca-entre-down-the-hole-e-top-hammer/>. Acesso em: 28 jan. 2022.

SIMBA M6. *In:* EPIROC. Disponível em: <https://www.epiroc.com/pt-br/products/drill-rigs/production-drill-rigs/simba-m6>. Acesso em: 28 jan. 2022.

TELES, J. Indicadores de Manutenção: Conheça os principais KPI's para Gestão da Manutenção!. *In:* ENGETELES. Disponível em: <https://engeteles.com.br/indicadores-de-manutencao/>. Acesso em: 28 jan. 2022.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998. P. 149.

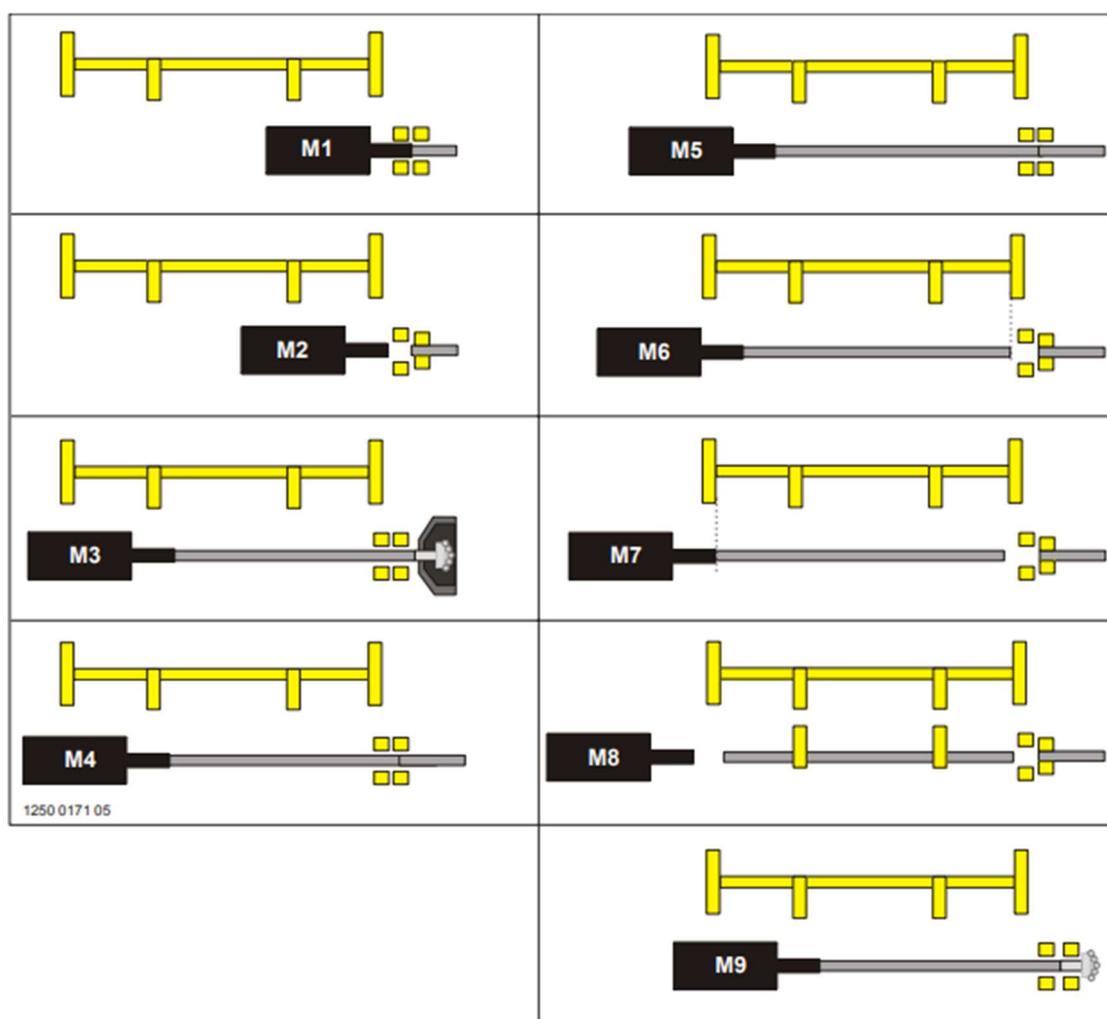
10 Anexos

10.1 Posicionamento do berço

Neste anexo falaremos sobre a utilização do posicionamento do berço para determinar o sequenciamento da perfuração, as informações foram retiradas do manual do equipamento M6 C-ITH da Atlas Copco (2013), atual Epiroc, fornecido para a empresa na qual estou desenvolvendo essa atividade.

Na perfuração automática, o sistema utiliza posições do berço para determinar se deve ser ligado ou desligado algumas das funções do equipamento durante a perfuração.

Figura 32 - Posição do berço



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

As posições do berço:

- M1 Junta entre adaptador da haste e tubo no suporte de broca de aço;
- M2 Junta entre adaptador da haste e tubo sem roscas;
- M3 Tampa de detritos de perfuração da broca do perfurador;
- M4 Braços de aperto livres da perfuratriz de rochas;
- M5 Junta entre tubos no suporte de broca de aço;
- M6 Cano na extremidade dianteira do carrossel;
- M7 Cano na extremidade traseira do carrossel;
- M8 Extremidade traseira;
- M9 Martelo em posição para quebrar a porca castelo.

Tabela 2 - Função de perfuração e remoção de haste

Posição do berço	Função durante a perfuração automática	Função durante a remoção automática da haste
M1	Perfuração pronta A sequência de junção pode começar	Rosqueamento da junta entre adaptador da haste e tubo concluídos. Avanço inverso rápido.
M2	Desrosqueamento da junta entre adaptador da haste e tubo concluídos. Avanço inverso rápido.	Pronto para rosquear a junta entre o adaptador da haste e a haste.
M3	Nenhuma função.	Unidade de perfuração pronta para posicionamento no próximo furo.

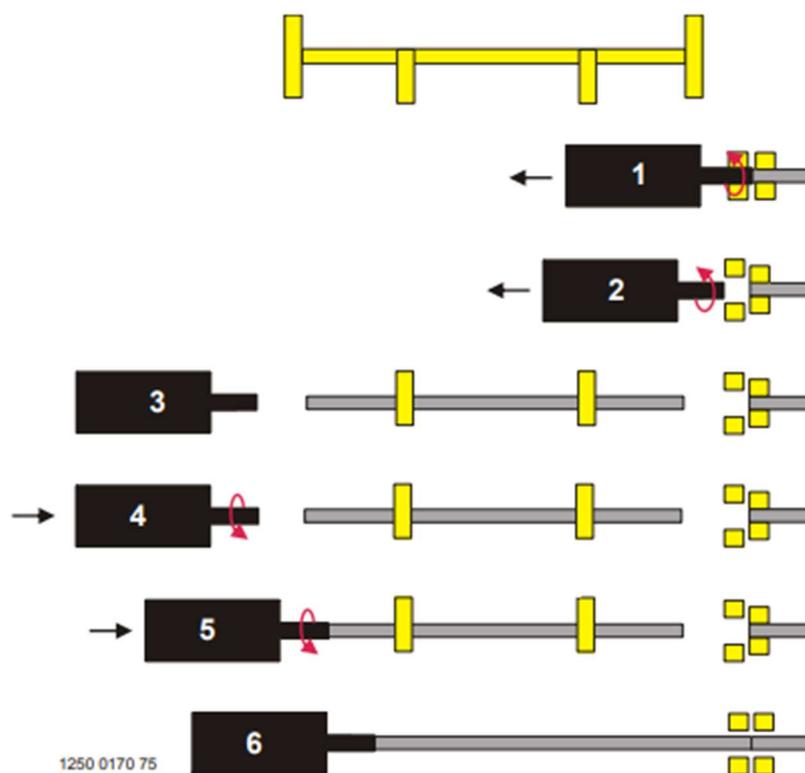
M4	<p>Perfuratriz de rochas/unidade de rotação passou os braços de aperto Braços de aperto do estacionamento para o carrossel.</p> <p>Falha ao rosquear a junta entre o adaptador da haste e o tubo interrompe a operação automática em caso de falha no rosqueamento da junta entre o adaptador e o tubo.</p>	<p>Perfuratriz de rochas/unidade de rotação passou os braços de aperto do estacionamento para o centro de perfuração.</p>
M5	<p>Rosqueamento da junta entre adaptador da haste e tubo concluídos. A sequência de junção está pronta e a perfuração pode iniciar.</p>	<p>Junta entre as hastes correta no suporte da broca de aço. O desprendimento da junta e o desrosqueamento podem iniciar.</p>
M6	<p>Nenhuma função.</p>	<p>Desrosqueamento entre tubos prontos! Mandíbulas do braço de aperto segurando o tubo.</p>
M7	<p>Rosqueamento da junta entre adaptador e haste pronto. Mandíbulas do braço de aperto na posição de guia. O rosqueamento da junta entre hastes pode iniciar.</p>	<p>Nenhuma função.</p>

M8	Braços de aperto do carrossel para o centro de perfuração.	Braços de aperto do centro de perfuração para o carrossel.
M9	Nenhuma função.	Liberação do martelo durante remoção automática para troca de martelos em Automatismo de arco.

Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Agora podemos falar sobre o sequenciamento de junção automática e sequenciamento de remoção automática, dessa forma a visão do processo que o equipamento passa para poder perfurar terá uma visão mais clara.

Figura 33 - Sequenciamento da junção automática



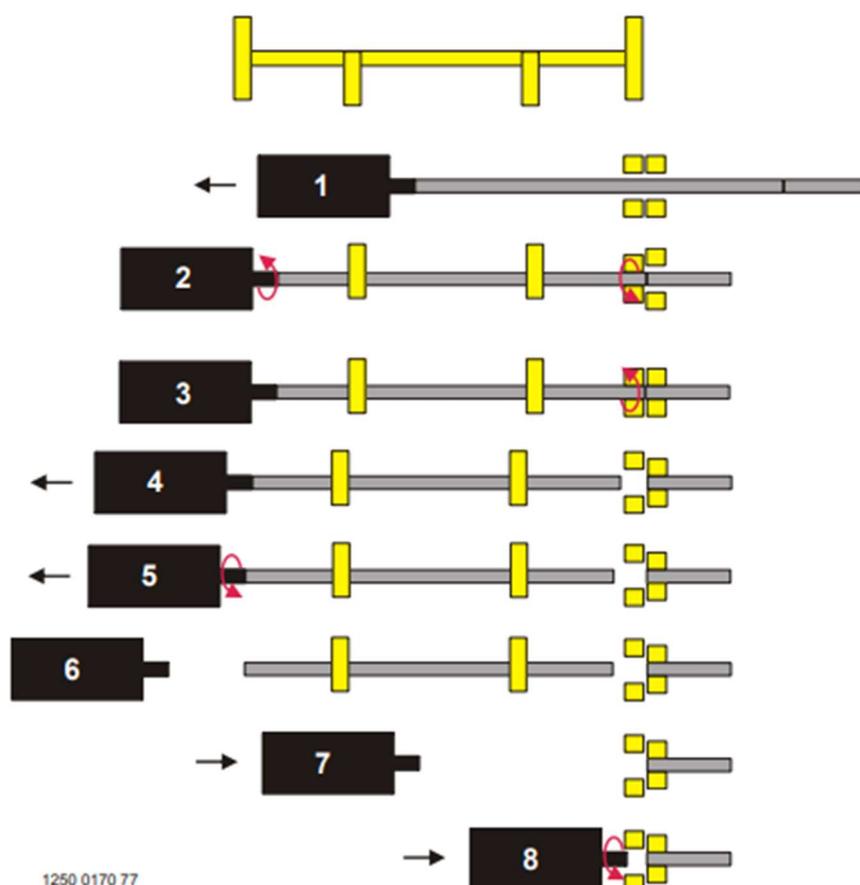
Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Sequenciamento da junção automática:

1. Quando uma haste estiver completamente perfurada e a junta entre o adaptador e a haste estiver corretamente situada no suporte da broca de aço (posição do berço M1), a junta entre o adaptador e a haste é liberada.
2. O berço reverte com a rotação para desrosquear para posição de berço M2. Se não foi possível desrosquear, será feita uma nova tentativa de liberação da junta, ou seja, a sequência de junção será repetida a partir da etapa 1.
3. O berço reverte até a extremidade traseira (posição do berço M8). Quando o berço tiver revertido para além dos braços de aperto (posição do berço M4), os braços de aperto vão para o carrossel e recuperam uma haste. Assim que o berço alcançar a extremidade traseira, os braços de aperto se moverão para o centro de perfuração.
4. O berço é direcionado com a rotação para rosqueamento.
5. Na posição do berço M7, as mandíbulas do braço de aperto continuam na posição de guia e o berço é direcionado para frente com rotação para rosqueamento e limpeza.
6. Uma vez que o berço atingir a posição do berço M5, todas as funções são desativadas e os braços de aperto se movem para a posição estacionamento. Isso finaliza a sequência de junção e a perfuração pode começar.

Depois de completar a perfuração do furo, existe o processo de retirada das hastes dele, chamamos esse procedimento de remoção das hastes.

Figura 34 - Sequenciamento da remoção automática



Fonte: (Atlas Copco, 2013, atual Epiroc)

Sequenciamento da remoção automática:

1. O berço é revertido. Assim que o berço passa pelos braços de aperto (posição do berço M4), eles são estendidos até o centro de perfuração.
2. A quebra em sentido horário e o desrosqueamento são operados simultaneamente. A quebra em sentido horário é sempre realizada no primeiro tubo durante a remoção automática, e em seguida como repetição.
3. Quando a junta entre as hastes está colocada corretamente no suporte da broca de aço (posição do berço M5), tem início a sequência de liberação, haste-haste.
4. O desrosqueamento das hastes continua na posição de berço M6.

5. As mandíbulas do braço de aperto e o berço verificam se foi liberada a junta correta. (Posição berço a berço M8).
6. Os braços de aperto movem o tubo de desrosqueamento para o carrossel. Os braços de aperto então se movem até a posição de estacionamento e o carrossel gira até o próximo compartimento.
7. O berço é direcionado para frente para desrosquear a próxima haste (posição do berço M2).
8. O desrosqueamento começa até que seja alcançada a pressão de rotação.