

DESAFIOS PARA A GESTÃO OPERACIONAL DE PERFURAÇÃO EM MINERAÇÕES SUBTERRÂNEAS

Dennis T. Cremonese, LAPOL, Escola Politécnica da USP, São Paulo, São Paulo, Brasil.
dtc11z@yahoo.com.br

Giorgio de Tomi, LAPOL, Escola Politécnica da USP, São Paulo, São Paulo, Brasil.
gdtomi@usp.br

RESUMO

Este estudo descreve um levantamento do índice de utilização das perfuratrizes em mina subterrânea, utilizando como exemplo uma mina localizada na região Centro-Oeste do Brasil. Discutem-se aqui ações que podem ser tomadas para o aumento do índice nas condições atuais de trabalho da mina. Ao final, conclui-se que se a gerência da mina atuar por meio de diversas, porém pequenas, medidas de forma concomitante, consegue-se aprimorar as condições de segurança e melhorar o processo de lavra subterrânea, podendo alcançar aumentos de produtividade acima de 50%.

Palavras-chave: Índice de Utilização de Perfuratrizes; Lavra Subterrânea; Utilização de Perfuratrizes em Minas Subterrâneas

ABSTRACT

This study discussed the management of drilling equipment utilization data in underground mines, using as an example a mine located in the Center-West region of Brazil. Actions for the increase of this work index under the present work conditions in the mines are discussed. It is concluded that the security and process improvement in the underground mining can be achieved with the management of many and diverse concomitant measures, achieving productivity increase above 50%.

Keywords: Utilization of Drilling Equipment; Underground Mining; Utilization of Drilling Equipment in Underground Mines

INTRODUÇÃO

A operação em lavra subterrânea é focada na produção de minério da forma mais segura, eficiente e rentável possível. Esse foco foi determinante para que nos últimos anos as empresas de mineração investissem no aprimoramento do nível de automação em subsolo, e esse fato tem mudando a maneira que as minas são operadas e gerenciadas. Um dos maiores desafios da mineração subterrânea continua sendo a melhoria dos índices de utilização dos equipamentos de operação e desenvolvimento da mina.

A utilização dos equipamentos pode ser expressa pela relação entre horas produtivas e não produtivas durante um determinado período (Lees, 2003[1]). Esta relação está associada a uma série de fatores internos e externos à operação da mina, como por exemplo, a estratégia de manutenção utilizada, políticas gerenciais e administrativas da empresa, e seus efeitos sobre as condições de trabalho na mina. Das operações unitárias da mina, a perfuração é uma das operações mais importantes, sendo esta o gargalo da produtividade de muitas minerações.

Este trabalho apresenta um levantamento do índice de utilização das perfuratrizes em uma mineração subterrânea localizada na região Centro-Oeste do Brasil, e discute ações que podem ser tomadas para o aumento do índice nas condições atuais de trabalho da mina. Tem como inovação a análise da produtividade não apenas pela quantidade de metros perfurados por equipamento, mas envolvendo coeficientes de produtividade, os dias de rodízio entre turmas e da semana, podendo esta metodologia ser usado em qualquer mineração.

DESENVOLVIMENTO

Revisão Bibliográfica

A bibliografia indica que o aumento da produtividade em minerações subterrâneas pode ser alcançado a partir do melhor controle dos processos produtivos de lavra subterrânea e do aprimoramento nas condições operacionais de segurança (Dey, 2005[2]; Hall *et. al.*, 2000[3]; e Burger, 2006[4]).

Entretanto muitas medidas para perfuratrizes melhoram mais de uma meta, fazendo com que os fatores mais importantes sejam a mecanização, modelo de turnos, transporte de operários, redutor de pó e automação, conforme descrito a seguir.

Embora a mecanização da mina subterrânea atualmente seja o mais comum, algumas minas ainda não são mecanizadas. A mecanização de minas fornece grande redução da força de trabalho e um aumento das habilidades e responsabilidades dos trabalhadores. O aumento da produtividade alcançada em uma específica mina foi de 2,5 para 5,5 t/homem/turno. A produção mensal aumentou de 30.000 t/mês para 47.000 t/mês. O número total de funcionários passou de 1200 para 790 (Harrison e Da Silva, 1999[5]).

Pelo modelo de turnos normal usado na maioria das minerações, cada turno faz perfuração, carregamento, detonação e transporte, exigindo habilidades bastante complexas de todos os operários e supervisores. Entretanto, para evitar a necessidade de homens com habilidades tão complexas, algumas minerações utilizam um modelo de turnos em que cada grupo é responsável por uma ou duas operações. Em muitas minerações esse modelo não pode ser adotado, pois é necessário haver múltiplas áreas de trabalho e quantidade de trabalho suficiente que complete 8 horas por turno. Entretanto, onde foi utilizado, esse método permitiu que cada grupo aperfeiçoasse suas operações melhorando o controle e aumentando muito a produtividade (Lyman, 2003[6]).

O transporte de operários por ônibus e trem em minerações subterrâneas alcançou a meta de aumentar a utilização dos equipamentos. Além disso, reduziu os acidentes com perda de tempo para menos de 10% do que havia antes da implantação

desses transportes. Com o transporte reduziu-se a fadiga dos operários, diminuindo consequentemente a distração destes, que era uma das grandes causas de acidentes, e com o tempo a mais que o operário estava na máquina, não era necessário realizar o trabalho com muitas imprudências para se alcançar a produtividade prevista (Harrison e Da Silva, 1999[5]).

A melhoria do transporte por elevadores também apresenta um grande aumento na produtividade, como visto em minerações de ouro onde foram implantados elevadores especiais que permitiam que trabalhadores e minério fossem transportados separadamente, aumentando a produtividade em três vezes e diminuindo muito o custo da operação (Harrison e Da Silva, 1999[5]).

Segundo Lee (2003)[1], a introdução de perfuratrizes pneumáticas na África do Sul implicou no aumento de casos de silicose. No entanto, desde 1902 a redução do pó de perfuração tem sido gerenciada através da utilização de água nas hastes. Melhorias recentes nesse sentido incluem o isolamento dos operadores em cabines com ar-condicionado para eliminar os riscos de exposição na frente de perfuração.

Automação é a medida pela qual mais se consegue alcançar as metas principais para aumento da produtividade. A automação melhora a segurança e as condições de trabalho, e diminui os custos operacionais.

Sistemas de controles modernos permitem que a perfuração seja muito mais controlada, o que melhora a produtividade e a precisão. Agora é possível que o operador siga um padrão de perfuração exibido em uma tela e manobre as hastes, que também estão representadas na tela, para posicioná-las corretamente. Isso permite que o contorno do túnel seja mais controlado, reduzindo o *overbreak* e necessidade de suporte. Também é possível fazer a perfuração do contorno automaticamente.

A introdução de sistemas de controle por computador trouxe à perfuração novas perspectivas, desde que bem implementadas. Por exemplo, é comum as pessoas confiarem em uma nova tecnologia como a solução definitiva de seus problemas, quando na verdade a solução está mais nas pessoas e em seu gerenciamento do que na tecnologia em si. As perfuratrizes da Atlas Copco, por exemplo, podem hoje ser equipadas com: *Measure While Drilling* (MWD), *Mine Map Navigation* (MMN), *Mine Drill Plan Generator* (MDPG), *Rig Remote Access* (RRA), e *Single Machine Remote Control* (SMRC). O sistema de MWD registra um número de parâmetros-chaves da perfuração durante a perfuração de furos de sonda. A análise destes dados pode fornecer informações sobre as condições da área à frente do túnel, permitindo planejamento de ações corretivas antes de chegar a uma área onde más condições são previsíveis. O MMN foi desenvolvido principalmente para aplicações de mineração para eliminar erros de navegação subterrânea. O MDPG permite gerar o seu próprio plano de perfuração na face, com base nas condições da face e sua posição dentro da mina. O RRA permite que a perfuratriz seja integrada à rede de computadores. Com o equipamento fazendo parte da rede, os planos de perfuração, os dados de registros e outras informações podem ser transmitidos para a máquina e a partir dela. O SMRC é uma extensão do RRA, que permite que a máquina seja operada remotamente (Reynolds, 2003[7]). Outro exemplo de nova tecnologia que aumenta a produtividade pelo aumento da segurança é a perfuratriz robotizada (RDM - *Robotized Drilling Machine*). Ela foi desenvolvida pela "China University of Mining & Technology", principalmente para aumentar a segurança dos operários em minas de carvão. A RDM é controlada por computadores podendo acoplar e desacoplar hastes, e furos podem ser perfurados automaticamente. Nas condições de mina de carvão o sistema de controle RDM é muito seguro (Jifei et al., 1997[8]).

Um sistema de automatização chamado *AutoMine* foi criado pela Sandvik, e está a um passo da automatização da mina. O sistema faz ciclos semi-automatizados, incluindo transporte e descarregamento automatizados de LHD's, teleoperados pelo controlador em uma sala de controle. O operador pode controlar condições da máquina, monitorar produção, controlar LHD e o tráfego de caminhões, de uma maneira muito segura, não exposto a condições perigosas da mina. O sistema fornece maior produção e

nível constante de desempenho, visto que permite que as máquinas operem mais de 20 horas por dia, sem a necessidade de transporte do operador ao equipamento na troca de turno. Isso fornece um potencial para redução de frota e economia entre 60 a 75% em mão de obra por ano. Com as informações em tempo real, pode-se otimizar o processo e diminuir os custos de manutenção em torno de 10 a 15%. Com isso, e com a manutenção preventiva, tem-se menos danos materiais (Automation Resources, 2010[9]).

Dados gerais da mineração estudada

Este trabalho apresenta um estudo do índice de utilização das perfuratrizes em uma mineração de ouro localizada na região Centro-Oeste do Brasil de porte médio que apresenta três minas subterrâneas. A mineração possui neste período de análise 19 perfuratrizes, sendo destas 4 simbas e 15 jumbos.

Foram analisados mais de 1,2 milhões de metros perfurados, mais de 18 mil turnos e 400 mil furos. A seguir são mostrados os dados referentes a mineração.

A figura 1, contendo o gráfico dos metros perfurados de todos os equipamentos mostra estabilidade considerável da produção da mineração ao longo do período estudado, mostrando que todos os meses são ideias para análise.

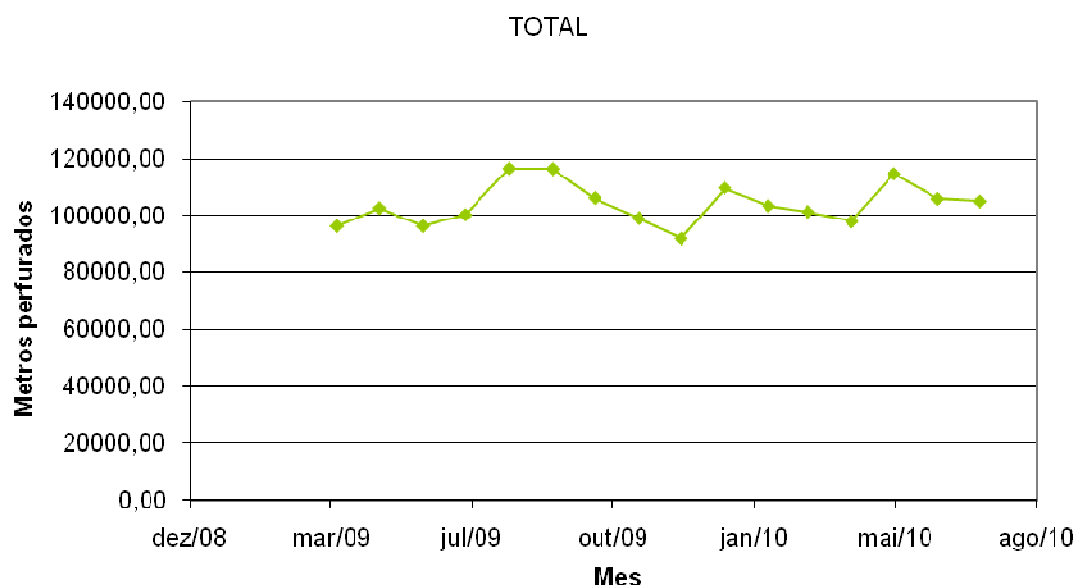


Figura 1– Soma de metros perfurados por todas as perfuratrizes

A mineração trabalha com quatro turmas (A, B, C e D) que realizam rodízio diário. As turmas A e C realizam o rodízio 3-2-2-3, que significa 3 dias no turno 1, 2 dias no turno 2, 2 dias no turno 3 e 3 dias de folga, as turmas B e D realizam o rodízio 2-3-2-3, como exemplificado na tabela 1. Turno 1: 7-15h; 2: 15-23h; 3: 23-7h.

Tabela 1– Rodízio de turmas

| Turno 1 | Turno 2 | Turno 3 |
|---------|---------|---------|
| A-1 | B-3 | C-6 |
| A-2 | B-4 | C-7 |
| A-3 | B-5 | F |
| D-1 | A-4 | B-6 |
| D-2 | A-5 | B-7 |
| C-1 | D-3 | A-6 |
| C-2 | D-4 | A-7 |
| C-3 | D-5 | F |
| B-1 | C-4 | D-6 |
| B-2 | C-5 | D-7 |

Acompanhamento do Índice de Utilização na mineração

A análise na mineração foi feita em duas etapas. A primeira etapa foi o acompanhamento de alguns turnos das perfuratrizes para avaliar as produtividades possíveis dos equipamentos e observar as causas da perda de produtividade máxima. A segunda etapa foi a análise de 16 meses de perfuração, Abril de 2009 a Julho de 2010, para se obter quais os períodos mais críticos, referente aos dias da semana e aos dias do rodízio de turnos da mineração.

Etapa 1 - Análise dos turnos

A análise consiste em descobrir qual a produtividade máxima do equipamento e observar quais atividades estão baixando a produtividade deste. O índice de utilização de perfuratrizes foi avaliado por um período de três semanas, dados referentes ao acompanhamento de 8 turnos dos Jumbos das três minas subterrâneas.

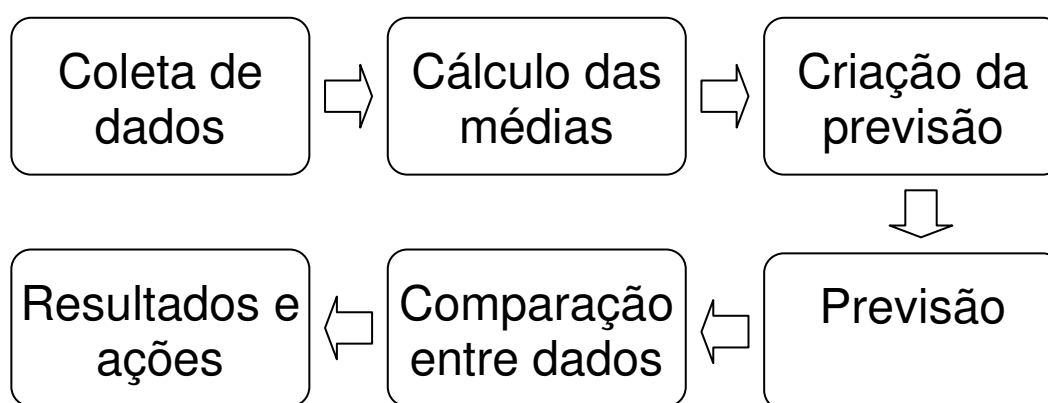


Figura 2– Metodologia da análise

O fluxograma mostra a metodologia da análise feita. Cada etapa será explicada a diante, mas de maneira geral pode-se resumir em:

- Coleta de dados: Coleta dos tempo para realização de cada etapa da perfuratriz;
- Cálculo das médias: Cálculo das médias de cada etapa da perfuratriz;
- Criação da previsão: Criação de um método que estime o tempo para perfurar uma frente de lavra, levando em conta todos as etapas, como locomoção e patolamento;
- Previsão: Previsão da produtividade da perfuratriz ideal e atual, levando em conta todos as etapas;
- Comparação entre dados: Comparação entre as previsões ideal e atual e os dados relativos ao mês;
- Resultados e ações: Obter os resultados das comparações e criar ações corretivas.

Metodologia da Coleta de dados das perfuratrizes

Com um relógio deve-se marcar o tempo de inicio e fim de cada atividade da perfuratrizes, que serão especificados adiante. Com a utilização de um relógio, ao invés de um cronômetro, tem-se uma melhor precisão de qual o período critico da mina, e quando a perfuratriz tem mais de um braço, a utilização de dois cronômetros torna a tomada de dados imprecisa.

As atividade da perfuratriz depende de cada mina, devendo ser adaptadas as utilizações específicas, entretanto de maneira geral podem ser separadas em:

- Locomoção da perfuratriz- LOCO
- Instalação da perfuratriz: patolamento, check-up, ligação da água e cabo elétrico.- INST
- Avaliação da frente de lavra e marcação dos furos- MARC
- Abatimento de choco- CHOC
- Perfuração-TP (seguido pelo número do braço e pelo furo, exemplo: TP1.01, tempo de perfuração do furo 01, utilizando o braço 1)
- Alargamento de furo-TAL (seguido pelo número do braço e pelo número do furo, exemplo: TAL21.01, tempo de alargamento do furo 01, perfurado pelo braço 1 e alargado pelo braço 2)
- Posicionamento dos braços para perfuração-POS (seguido pelo furo a ser feito, exemplo: POS1.01, posicionamento do braço 1 para perfurar o furo 01)
- Troca de bit- BIT
- Tapagem dos furos inferiores- TAPA
- Espera por intervenção mecânica da perfuratriz- EMEC
- Espera por falha dos sistemas auxiliares de água pressurizada, energia e ventilação- EAUX
- Espera por vistorias e auditorias de supervisores e segurança- EVIS
- Espera por falta de frente livre- EFRE
- Espera por falta de operador: podendo ser pela locomoção do operador até a máquina- EOPE

Todas as atividades que tem como letra inicial E, de espera, são as mais críticas para a produtividade da mineração, e estes devem ser mitigados.

Análise

Calcula-se o tempo individual de cada evento. Os valores obtidos devem ser tratados de maneira a evitar valores discrepantes.

Com a média das atividades, pode-se passar para a etapa de análise mais sofisticada, mostrada a seguir.

Pelos dados obtidos durante os 8 turnos observados no mês de fevereiro, foi criado um método de previsão, a partir de 3 modelos distintos, do tempo gasto pelo Jumbo para furar uma frente, escolhendo quantos furos e quais os tipos de furos, sejam eles de tirantes à pesquisa, para as 3 minas.

Análise de turno do equipamento

Tabela 2– Ciclo de perfuração

| | média (s) |
|-----------------------------|-----------|
| ciclo tirantes - 2,70m | 176 |
| ciclo cavilha - 1,20m | 68 |
| ciclo pesquisa - 5,20m | 349 |
| ciclo furos falhos - 2,70m | 134 |
| ciclo furos normais - 4,00m | 199 |
| ciclo furos alargados 4,00m | 513 |
| todos os furos | 226 |

Tabela 3- Ciclo de “não-perfuração”

| | média por turno(s) | média (s) | média por furo (s) |
|---|--------------------|-----------|--------------------|
| troca de bit | 1242 | 177 | 20 |
| espera p/ tampar furo | 159 | 238 | 3 |
| instalação [locomção, instalação na energia, abater choco, APR, etc] | 4717 | | 77 |
| espera [tempo em que o operador está no jumbo, mas o braço não está perfurando] | 1840 | | 30 |
| espera por intervenção mecânica | 8864 | | 145 |

Com esses dados foi gerado a tabela 4 com a capacidade de perfuração do Jumbo.

Tabela 4- m/h que o Jumbo realiza

| | | |
|--|-----------|----------|
| m/h[apenas furando e posicionando] | 72,32 | 144,64 |
| m/h[com troca de bit] | 66,74 | 133,48 |
| m/h[com troca de bit e espera p/ tampar furo] | 64,88 | 129,76 |
| m/h[com troca de bit, esp.p/ tampar e instalação] | 48,18 | 96,37 |
| m/h[todo o ciclo] | 44,37 | 88,73 |
| m/h[horas do operador na maquina com horas improdutivas] | 27,79 | 55,59 |
| m/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]] | 14,81 | 29,62 |
| m para perf/h[horas do operador na maquina com horas improdutivas] | 23,46 | 46,92 |
| m para perf/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]] | 12,50 | 25,00 |
| | por braço | 2 braços |

m para perf =metros feitos nos furos para desmonte, excluindo tirantes, cavilhas e furos de pesquisa

Os dados em amarelo e laranja foram utilizados para dois modelos de previsão de horas gastas para a furação, vistas na tabela 6 nas respectivas cores. O terceiro modelo foi baseado nos tempos médios das atividades e está mostrado na tabela 6 em cinza. Os dados em verde e azul são utilizados para a o calculo de quanto tempo a furação da frente deveria levar, vistos na tabela 7 nas respectivas cores.

Para demonstrar o modelo de previsão foi escolhido uma frente hipotética a ser perfurada com os furos definidos na tabela 5.

Tabela 5 – Furos hipotéticos

| | eventos | tempo(s) | metros perfurados |
|-------------------------------|---------|----------|-------------------|
| ciclo tirantes - 2,70m | 5 | 880 | 13,50 |
| ciclo cavilha - 1,20m | 3 | 205 | 3,60 |
| ciclo pesquisa - 5,20m | 4 | 1397 | 20,80 |
| ciclo furos falhos - 2,70m | 1 | 134 | 2,70 |
| ciclo furos normais - 4,00m | 56 | 11151 | 224,00 |
| ciclo furos alargados - 4,00m | 5 | 2563 | 20,00 |
| | 74 | 16329 | 284,60 |

Tabela 6– Tempo em que a frente será furada com o rendimento atual

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----------|
| Com o rendimento atual será necessário | | | | média (h) |
| horas do operador no jumbo[2 braços] com horas improdutivas | 5,5 | 5,1 | 5,2 | 5,3 |
| horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo] | 9,2 | 9,6 | 9,8 | 9,5 |

Tabela 7- Tempo realmente necessário para realização da tarefa

| | |
|--|--------------|
| Tempo realmente necessário para realização da tarefa | 2 braços [h] |
| apenas furando e posicionando | 2,27 |
| com troca de bit | 2,48 |
| com troca de bit e espera p/ tampar furo | 2,50 |
| com troca de bit, esp.p/ tampar furo e instalação | 3,29 |

Analisando, vemos que enquanto essa frente hipotética deveria levar apenas 3,29h[3h18min] para ser furada, isso contando já com o tempo de instalação do equipamento, espera da máquina para tampar os furos do piso e troca de bit, ela está levando atualmente 5,3h[5h18min] para ser furada do tempo que o operador está no Jumbo, se for contar com o tempo em que o operador não está no jumbo, essa frente leva 9,5h[9h30min] para ser furada.

Uma maneira de testar se os dados são representativos é analisando o “m/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]]= 29,62 m/h” com os dados do mês de fevereiro. No mês de fevereiro o jumbo perfurou 14041,70 m, fornecendo m/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]]= 22,18 m. Uma diferença de 25%, mostrando que os dias observados foram mais produtivos do que a média, ilustrando que a deficiência na produtividade do Jumbo é ainda maior.

Isso nos evidencia claramente que se diminuirmos o tempo em que o operador está longe do Jumbo, ou do tempo de espera no qual o operador está no Jumbo, mas não está perfurando, teremos um aumento da produtividade muito elevado.

Tabela 8- Comparativo das 3 perfuratrizes de cada mina com os dados da mineração

| | JE mina 1 | JE mina 2 | JE mina 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| m/h[apenas furando e posicionando] | 144,64 | 151,82 | 98,47 |
| m/h[com troca de bit] | 133,48 | 145,65 | 91,84 |
| m/h[com troca de bit e espera p/ tampar furo] | 129,76 | 128,68 | 88,59 |
| m/h[com troca de bit, esp.p/ tampar e instalação] | 96,37 | 86,36 | 37,40 |
| m/h[todo o ciclo] | 88,73 | 81,02 | 35,47 |
| m/h[horas do operador na máquina com horas improdutivas] | 55,59 | 48,91 | 26,00 |
| m/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]] | 29,62 | 29,50 | 19,18 |
| m/h[horas no turno [contando as horas que o operador não está no jumbo]] no mês de fevereiro | 22,18 | 24,17 | 10,70 |

Linhas 1 á 7 são dados obtidos nos 8 dias de observações

Linha 8 é dado referente ao mês de fevereiro obtidos da base de dados da mineração

Discussão de resultados da Etapa 1

O índice de utilização de perfuratrizes avaliado nesse período de três semanas de levantamento mostra que as perfuratrizes apresentaram um índice médio de utilização de apenas 20%, o que significa que em apenas 20% dos turnos as perfuratrizes se encontravam em operação de perfuração.

Um dos problemas mais corriqueiros era o da manutenção, em que quando o operador começava a perfurar uma frente, os operários da manutenção o interrompiam para manutenção de partes do Jumbo que poderiam ter sido concertadas no período em que o operador não estava na máquina, por exemplos vistos, um coxim de holofote e um cabo de aço solto que fizeram com que o Jumbo ficasse um longo período sem perfurar. Esse problema poderia ser facilmente sanado se os operários da manutenção fossem nas máquinas antes do operador da máquina chegar ao Jumbo ou no período de *check list* da máquina. Se com essa medida a manutenção durante o período em que o operador está perfurando caísse apenas 10%, a produtividade do Jumbo subiria 4%, sem a necessidade de nenhum custo de implantação.

Problemas como falta de ventilação, energia e água faziam com que o operador perdesse muito tempo produtivo, mas não por causa necessariamente da falta dos mesmos, mas sim, pela falta de uma comunicação mais rápida entre o operador e a manutenção. Em mais de uma vez, o operador teve que andar longas distâncias por causa de telefone com problemas, e mesmo quando o telefone estava funcionando o tempo perdido não é desprezível. Se cada Jumbo estivesse equipado com um rádio esse período perdido iria cair consideravelmente. Se com essa medida o operador perdesse 30% menos tempo para se comunicar com a manutenção, a produtividade do Jumbo subiria 3%, além de fornecer maior segurança em caso de acidente na mina.

A falta de frente livre, limpa, para o Jumbo trabalhar também causou grande perda de produtividade, e não era por causa de grandes problemas, mas apenas porque o apoio não havia limpado o repê com a enxada.

Este baixo índice de utilização resultou em índices baixos de produtividade da frota de perfuração, causando um impacto na produtividade geral de lavra. Durante o período do levantamento, foi constatado que, na mina em estudo, o aumento de utilização era proporcional ao aumento da produtividade. Com o aumento da utilização das perfuratrizes, haveria um aumento significativo na produtividade da mina. Com pequenas alterações administrativas, sendo a maioria sem custo de implementação, acarretaria que o índice médio de utilização das perfuratrizes subiria de 20% para 26%, aumentando a produtividade das perfuratrizes em 31%, reduzindo assim os custos da mineração.

No entanto, para que o aumento da produtividade das perfuratrizes tenha um efeito sustentável, é necessário que a gerência da mina atue junto aos operadores e aos supervisores, além de necessitar uma evolução no nível de controle e automação da mina, conforme indicado a seguir.

Supervisor: a escolha de um modelo de turnos ideal deve ser feita dependendo das condições da mina. Caso a mina apresente condições para turnos em que se realize uma ou duas operações, ao invés de todas as operações [perfuração, carregamento, desmonte, transporte e auxiliares], esse modelo deverá ser aplicado, pois apresenta melhor produtividade.

Controle e Despacho de Equipamentos: um sistema de despacho eficiente, não necessariamente um programa caro, deve ser implantado, para evitar decisões equivocadas do supervisor, sobre as condições das frentes e equipamentos.

Alocação de Operadores: é necessário que o transporte do operário até a frente de operação seja o mais eficiente possível. Não se deve economizar nesse quesito. Um sistema de transporte eficiente, seja de veículos leves ou de trens, levando o operário em pouco tempo para a frente de operação, é essencial para o aumento de utilização das perfuratrizes.

Estratégia de Manutenção: a manutenção corretiva deve ser designada para realização no começo do turno, enquanto o operador da perfuratriz realiza o *check-list* do equipamento e verificação da frente de lavra, fazendo com que não haja perda de tempo produtivo de perfuração.

Automação: a automação das perfuratrizes deve ser feita dependendo das características da mineração. Minerações pequenas e não muito profundas podem usar sistemas, como MWD, MMN, MDPG e RRA, que fornecem melhor eficiência na perfuração, tanto na velocidade quanto na posição dos furos, melhorando o desmonte, diminuindo o uso de explosivo e de *overbrake*.

Para minerações maiores, sistemas como o SMRC, RDM e *AutoMine* permitem que a perfuratriz seja operada de salas de controle, aumentando a utilização da máquina, visto que o tempo perdido para transporte do operador é anulado, trazendo maior segurança, já que o operador não se encontra em área de risco, e maior controle do processo, em que dados em tempo real são enviados à central, permitindo fazer manutenção preventiva e corretiva nas máquinas de maneira mais eficiente. Esses sistemas fornecem um potencial de diminuição da frota e da mão de obra da ordem de 60% a 75% (Automation Resources, 2010[10]).

A tabela 9 mostra a causa de alguns dos problemas, ações corretivas e o produto que esta ação forneceria. Considerando apenas as ações corretivas sem custos, obter-se-ia um aumento de 23% na produtividade, e considerando a alternativa com custo a produtividade aumentaria em 27%. Os valores assumidos acima são bem modestos, a tabela a seguir assumiu valores mais otimistas.

Tabela 9– Ações corretivas que poderiam ser tomadas e suas consequências

| Causa | Ação corretiva | Custo | Produto |
|--|--|-------|---|
| Tempo que o operador encontra-se efetivamente no equipamento | Aumento de 14% do período do operador no equipamento | Não | Aumento de 14% na produtividade |
| Falta de frente livre | Sistema de despacho eficiente que diminua 20% do tempo perdido por falta de frente livre | Não | Aumento de 4% na produtividade |
| Manutenção durante o período de operação | Manutenção no equipamento antes do operador começar a operar, diminuindo em 10% o tempo perdido por manutenção | Não | Aumento de 4% na produtividade |
| Comunicação demorada entre o operador e a manutenção em caso de falhas dos sistemas de ventilação, energia e água. | Implantação de radio nas perfuratrizes, diminuindo o tempo de comunicação entre o operador e a manutenção em 30% | Sim | Aumento de 3% na produtividade e maior segurança na mineração |

Com os valores mais otimistas, mas não impossíveis, da tabela 10 ter-se-ia um aumento da produtividade de 43% considerando apenas as ações sem custo e um aumento de 52% na produtividade considerando todas as ações.

Tabela 10– Ações corretivas que poderiam ser tomadas e suas conseqüências

| Causa | Ação corretiva | Custo | Produto |
|--|--|-------|---|
| Tempo que o operador encontra-se efetivamente no equipamento | Aumento de 14% do período do operador no equipamento | Não | Aumento de 14% na produtividade |
| Falta de frente livre | Sistema de despacho eficiente que diminua 60% do tempo perdido por falta de frente livre | Não | Aumento de 12% na produtividade |
| Manutenção durante o período de operação | Manutenção no equipamento antes do operador começar a operar, diminuindo em 30% o tempo perdido por manutenção | Não | Aumento de 12% na produtividade |
| Comunicação demorada entre o operador e a manutenção em caso de falhas dos sistemas de ventilação, energia e água. | Implantação de radio nas perfuratrizes, diminuindo o tempo de comunicação entre o operador e a manutenção em 60% | Sim | Aumento de 6% na produtividade e maior segurança na mineração |

Etapa 2 - Análise do período de rodízio

A análise consiste em se obter qual o período mais produtivo e crítico da mineração. Nesta análise a produtividade em metros perfurados por hora não é aplicada, mas sim, o coeficiente de produtividade, que é a relação entre a produtividade média e o período estudado.

Os dados a seguir são referentes a média de todos os equipamentos, simbas e jumbos, para fornecer os períodos mais críticos na mina. As análises separadas para jumbos e simbas obtiveram os mesmos resultados que os aqui apresentados.

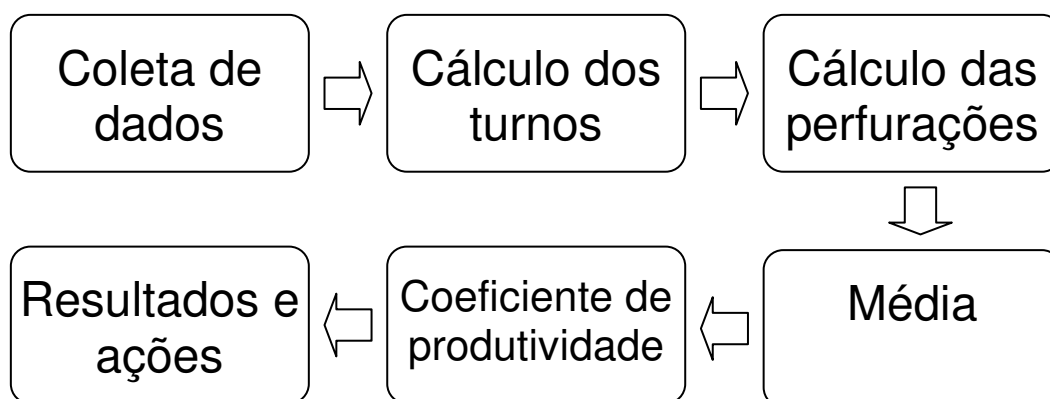


Figura 3– Fluxograma da análise

O fluxograma mostra a metodologia da análise feita. Cada etapa será explicada a diante, mas de maneira geral pode-se resumir em:

- Coleta de dados: Coleta dos dados da mineração referente a produtividade das perfuratrizes;
- Cálculo dos dias: Cálculo dos turnos referentes a análise feita, seja ela entre turma e dia do rodízio, turma e dia da semana ou dia da semana e rodízio;
- Cálculo das perfurações: Cálculo dos metros perfurados em cada período da análise;

- Média: Média de metros perfurados por turno analisado;
- Coeficiente de produtividade: Criação do coeficiente de produtividade, sendo este, a razão entre a média da análise e a do turno;
- Resultados e ações: Obter os resultados da análise do coeficiente de produtividade e criar ações corretivas.

Análise da produtividade da mina em função do dia do rodízio

Primeiramente é necessário obter os dias do rodízio por turma que estão sendo analisados e o total de metros perfurados neste período. A razão entre estes dois dados fornece a produtividade por turno.

Tabela 11– Média de metros perfurados por turno

| Metros perfurados / Turno | Dia do rodízio(1-7) | | | | | | | Média por turma |
|---------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Turma | | | | | | | | |
| A | 65,11 | 66,79 | 67,16 | 72,28 | 68,31 | 67,05 | 73,29 | 68,60 |
| B | 64,98 | 65,63 | 69,70 | 65,80 | 71,18 | 71,22 | 61,17 | 67,08 |
| C | 66,62 | 75,33 | 74,56 | 80,84 | 78,76 | 73,26 | 72,67 | 74,57 |
| D | 63,98 | 70,82 | 74,82 | 70,19 | 75,97 | 70,90 | 67,66 | 70,60 |
| Total geral | 65,17 | 69,69 | 71,61 | 72,29 | 73,53 | 70,57 | 68,64 | 70,21 |

A tabela 11 mostra em vermelho e em azul as duas piores e melhores produtividades respectivamente por Tuma(linha).

Nota-se que o primeiro e o ultimo dia do rodízio são os que possuem a menor produtividade e que necessitaram de maiores medidas de controle.

Tabela 12– Coeficiente de Produtividade

| Coeficiente | Dia do rodízio(1-7) | | | | | | | Média |
|-------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Turma | | | | | | | | |
| A | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 1,05 | 1,00 | 0,98 | 1,07 | 0,98 |
| B | 0,97 | 0,98 | 1,04 | 0,98 | 1,06 | 1,06 | 0,91 | 0,96 |
| C | 0,89 | 1,01 | 1,00 | 1,08 | 1,06 | 0,98 | 0,97 | 1,06 |
| D | 0,91 | 1,00 | 1,06 | 0,99 | 1,08 | 1,00 | 0,96 | 1,01 |
| Média | 0,93 | 0,99 | 1,02 | 1,03 | 1,05 | 1,01 | 0,98 | |

Para obter uma noção geral da mina, não apenas por turma, foi criada a tabela 12, o qual mostra o Coeficiente de Produtividade, que é a razão entre os metros perfurados por turno e a média da turma.

Valores maiores que 1,025 são mostrados em azul e valores menores que 0,975 são mostrados em vermelho.

Novamente nota-se que o primeiro e o ultimo dia são os mais críticos, entretanto, também é notável que a produtividade no turno 2 é visivelmente maior que as do turno 1 e 3. O turno 2 está mostrado com cor de letra verde, e são para as turmas A e C os dias 4 e 5, e para as turmas B e D os dias 3, 4 e 5.

Análise da produtividade da mina em função do dia da semana

Primeiramente é necessário obter os dias da semana por turma que estão sendo analisados e o total de metros perfurados neste período. A razão entre estes dois dados fornece a produtividade por turno.

Tabela 13– Média de metros perfurados por turno

| Metros perfurados / Turno | dia da semana | | | | | | | Média geral |
|---------------------------|---------------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|-------------|
| | operador | segunda | terça | quarta | quinta | sexta | sabado | |
| A | 70,32 | 67,59 | 60,76 | 66,65 | 72,41 | 69,86 | 72,83 | 68,60 |
| B | 69,61 | 63,74 | 63,74 | 66,21 | 66,43 | 68,62 | 71,26 | 67,08 |
| C | 73,71 | 74,01 | 69,51 | 76,27 | 75,76 | 75,45 | 77,36 | 74,57 |
| D | 68,03 | 71,12 | 70,17 | 67,60 | 70,94 | 74,31 | 72,01 | 70,60 |
| Total geral | 65,72 | 64,47 | 61,70 | 63,45 | 64,20 | 67,39 | 68,34 | 70,21 |

A tabela 13 mostra em vermelho e em azul as duas piores e melhores produtividades respectivamente por Tuma(linha).

Nota-se que o fim de semana são os dias que apresentam maior produtividade, enquanto a quarta-feira é o que apresenta menor produtividade.

Tabela 14– Coeficiente de Produtividade

| Coeficiente | dia da semana | | | | | | | Média geral |
|-------------|---------------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|-------------|
| | operador | segunda | terça | quarta | quinta | sexta | sabado | |
| A | 1,03 | 0,99 | 0,89 | 0,97 | 1,06 | 1,02 | 1,06 | 0,98 |
| B | 1,04 | 0,95 | 0,95 | 0,99 | 0,99 | 1,02 | 1,06 | 0,96 |
| C | 0,99 | 0,99 | 0,93 | 1,02 | 1,02 | 1,01 | 1,04 | 1,06 |
| D | 0,96 | 1,01 | 0,99 | 0,96 | 1,00 | 1,05 | 1,02 | 1,01 |
| Total geral | 1,00 | 0,98 | 0,94 | 0,98 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | |

Para ter uma noção geral da mina, não apenas por turma, foi criada a tabela 14, o qual mostra o Coeficiente de Produtividade, que é a razão entre os metros perfurados por turno e a média da turma.

Valores maiores que 1,025 são mostrados em azul e valores menores que 0,975 são mostrados em vermelho.

Novamente nota-se que o fim de semana é o período que apresenta maior produtividade, e que o período entre terça-feira a quinta-feira é o mais crítico. Usando apenas “metros perfurados/turno” ter-se-ia uma noção errada de que segunda-feira é um dia crítico, mas com o “Coeficiente de Produtividade” nota-se que segunda-feira é apenas um dia regular.

Análise da produtividade da mina em função do dia da semana e do rodízio

Primeiramente é necessário obter os dias da semana por dia do rodízio que estão sendo analisados e o total de metros perfurados neste período. A razão entre estes dois dados fornece a produtividade por turno.

Tabela 15– Média de metros perfurados por turno

| Metros perfurados | dia da semana | | | | | | | Média geral |
|----------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|-------------|
| | segunda | terça | quarta | quinta | sexta | sabado | domingo | |
| dias do rodízio(1-7) | | | | | | | | |
| 1 | 68,76 | 66,95 | 59,16 | 58,10 | 60,62 | 74,20 | 68,83 | 65,17 |
| 2 | 68,37 | 66,63 | 70,32 | 64,60 | 71,54 | 70,80 | 75,83 | 69,69 |
| 3 | 70,42 | 64,71 | 67,12 | 78,00 | 72,36 | 74,07 | 75,05 | 71,61 |
| 4 | 75,82 | 71,83 | 67,00 | 71,10 | 77,55 | 71,09 | 72,60 | 72,29 |
| 5 | 68,94 | 75,81 | 66,70 | 79,87 | 76,34 | 72,02 | 74,91 | 73,53 |
| 6 | 73,56 | 71,39 | 68,76 | 61,11 | 72,29 | 69,78 | 77,02 | 70,57 |
| 7 | 66,81 | 66,67 | 63,53 | 71,53 | 69,65 | 72,74 | 69,17 | 68,64 |
| Total geral | 70,40 | 69,15 | 66,05 | 69,14 | 71,42 | 72,09 | 73,34 | 70,21 |

A tabela 15 mostra em vermelho e em azul as duas piores e melhores produtividades respectivamente por dia do rodízio(linha).

Pode-se notar que o fim de semana são os dias que apresentam maior produtividade, enquanto a quarta-feira é o que apresenta menor produtividade.

Tabela 16– Coeficiente de Produtividade

| Coeficiente | dia da semana | | | | | | | Média geral |
|----------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|-------------|
| | segunda | terça | quarta | quinta | sexta | sabado | domingo | |
| dias do rodízio(1-7) | | | | | | | | |
| 1 | 1,05 | 1,03 | 0,91 | 0,89 | 0,93 | 1,14 | 1,06 | 0,93 |
| 2 | 0,98 | 0,96 | 1,01 | 0,93 | 1,03 | 1,02 | 1,09 | 0,99 |
| 3 | 0,98 | 0,90 | 0,94 | 1,09 | 1,01 | 1,03 | 1,05 | 1,02 |
| 4 | 1,05 | 0,99 | 0,93 | 0,98 | 1,07 | 0,98 | 1,00 | 1,03 |
| 5 | 0,94 | 1,03 | 0,91 | 1,09 | 1,04 | 0,98 | 1,02 | 1,05 |
| 6 | 1,04 | 1,01 | 0,97 | 0,87 | 1,02 | 0,99 | 1,09 | 1,01 |
| 7 | 0,97 | 0,97 | 0,93 | 1,04 | 1,01 | 1,06 | 1,01 | 0,98 |
| Total geral | 1,00 | 0,98 | 0,94 | 0,98 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | |

Para ter uma noção geral da mina, não apenas por turma, foi criada a tabela acima, o qual mostra o Coeficiente de Produtividade, que é a razão entre os metros perfurados por turno e a média da turma.

Valores maiores que 1,025 são mostrados em azul e valores menores que 0,975 são mostrados em vermelho.

Novamente nota-se que o fim de semana é o período que apresenta maior produtividade, e que o período entre terça-feira a quinta-feira é o mais crítico.

Discussão de resultados da Etapa 2

A análise por turno da mineração mostrou que pequenas mudanças resultariam em grande aumento de produtividade e segurança da mina, entre elas as que mais se destacam seriam a melhoria no transporte do operador até o equipamento, sistema de despacho eficiente, manutenção no período adequado e instalação de rádios nas perfuratrizes. Estas pequenas mudanças podem aumentar 27% a 52% a produtividade das perfuratrizes e melhorar a segurança, com pouco custo de implementação.

A análise em função do dia do rodízio mostrou que o primeiro dia do rodízio é o mais crítico e que o período do segundo turno é o mais produtivo. Isto evidencia que o sistema de rodízio empregado em que o funcionário é obrigado a trabalhar em todos os períodos não é eficiente, acarretando em grande flutuação da produtividade, flutuação esta que chega a ser de 21%. O primeiro dia do rodízio tem que ser o período onde a supervisão deve ser mais crítica com os funcionários.

A análise em função do dia da semana mostrou que o fim de semana é o período mais produtivo enquanto o período de terça a quinta-feira é o menos produtivo, com uma flutuação de 19% considerando por turma e de 31% considerando por dia do rodízio. O que justificaria este acontecimento é que durante o período sem supervisão dos engenheiros os operadores trabalham sem preocupação com a manutenção dos equipamentos acarretando que este desgaste é sentido no período de terça a quinta-feira quando o equipamento entra em falha sendo enviado a manutenção corretiva.

CONCLUSÕES

Para alcançar os desafios de melhorar o controle do processo de lavra subterrânea e o aprimoramento nas condições de segurança é necessário que a gerência da mina atue por meio de diversas medidas de forma concomitante.

As principais formas de se aumentar a produtividade numa mina subterrânea em operação, observadas neste trabalho foram a atuação no tempo em que o operador está longe da máquina, um melhor sistema de transporte, a redução dos tempos perdidos por espera por falta de frente livre, e um sistema mais eficiente de manutenção. Com estas medidas, pode-se resultar em um aumento de 52% da produtividade da perfuração da mina.

Em relação aos turnos as medidas a serem tomadas para aumentar a produtividade se baseiam em tentar diminuir a flutuação de 21% de produtividade em relação a um dia de rodízio e outro ou de 31% em relação ao dia da semana e do rodízio. Uma mineração tem sua produtividade ótima, não quando ela é máxima em um dia, mas sim, quando ela se apresenta estável e ótima em todos os dias.

No entanto, outras medidas são necessárias para assegurar a sustentabilidade desse tipo de abordagem para aumento da produtividade da perfuração em minas subterrâneas. Mesmo que a automação de minas subterrâneas seja uma medida que pareça onerosa e inviável para a maior parte das operações atuais, é importante que as minas revejam seus planos de investimento para aumentar seu nível de automação, e assim permitir que suas minas operem com maior eficiência, produtividade e segurança.

REFERÊNCIA

- [1] Lees, D. History of Drill and Blast. SME, USA. 2003
- [2] Dey, N.C. Role of Drill Machine and Fleet of SDL on Underground Mine Operating System. IE I Journal, MN, Vol. 86. August 2005, pp. 13-19.
- [3] Hall, R.A.; Knights, P.F.; Daneshmend, L.K. Pareto analysis and condition-based maintenance of underground mining equipment. Trans. Inst. Min. Metall. Sect. A: Min. technol., 109, January–April 2000. The Institution of Mining and Metallurgy 2000, pp. A14-A22.
- [4] Burger, D.J. Integration of the mining plan in a mining automation system using state-of-the-art technology at De Beers Finsch Mine. The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 106. August 2006, pp. 553-560.

[5] Harrison, J. C.; Da Silva, M. V. T. Case study of efforts to reduce costs and increase production at a mid-sized international mining company, SME Annual Meeting, Março 1999.

[6] Lyman F. Wolf creek upper narrows project— South Fork, Colorado: Construction of a large cross-section drill and blast highway tunnel in alpine conditions with multiple staggered headings”. Kiewit Western Co., 2003.

[7] Reynolds, J M, Atlas Copco Construction and Mining Australia, Modern Drilling Equipment for Underground Applications. 2003

[8] Jifei. H.; Fengyou, H.; Shifan, X. Robotized Drilling Machine. IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems. China University of Mining & Technology, October 1997. Beijing, China

[9] Automation Resources. Sandvik automates mining operations with AutoMine System. Disponível em: <<http://www.automation.com/resources-tools/application-stories/machine-monitoring-control/sandvik-automates-mining-operations-with-automine-system>>. Acesso em: 10 de Abril de 2010.