ANA CARLA DE MELO MOREIRA CAMPELO

**Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração
entre sistema de despacho e programação diária**

**São Paulo
2018**

ANA CARLA DE MELO MOREIRA CAMPELO

**Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração
entre sistema de despacho e programação diária**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo – EPUSP, ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mineral, para obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Tatiane Marin

**São Paulo
2018**

ANA CARLA DE MELO MOREIRA CAMPELO

**Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração
entre sistema de despacho e programação diária**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo – EPUSP, ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mineral, para obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia
Mineral

Orientadora: Prof.^a. Dr^a. Tatiane Marin

São Paulo

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 24 de agosto de 2018

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Catálogo-na-publicação

Campelo, Ana Carla de Melo Moreira

Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração entre sistema de despacho e programação diária / A. C. M. M. Campelo -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
103 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Mineração 2.Indicadores de desempenho 3.Programação da produção 4.Controle da produção I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

Dedico esse trabalho aos meus amados João Pedro, Bento e Hugo Campelo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus.

À minha família pelo apoio durante todo tempo de estudo, em especial meu marido e meus filhos.

À minha mãe, meu pai e minha irmã que sempre incentivaram meus estudos.

Aos meus gestores Roberto Albuquerque, Lúcia Oliveira e Cássio Diedrich que sempre me incentivaram a buscar mais conhecimento.

À equipe da mina do Sossego, sobretudo das áreas de planejamento de lavra de longo e curto prazo, Aline Lorraine, Max Lowrens, Alexsandro Falcão, Sandro Freitas e Fabrício Franco, facilitando o acesso às informações e dando suporte a minha pesquisa.

À Vale, empresa que tenho orgulho de trabalhar e que tem como um de seus valores o reconhecimento de quem faz a nossa empresa, concretizado na oportunidade que me foi concedida de fazer o mestrado.

À minha orientadora Tatiane Marin, pela orientação, compreensão e constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

À parceria e apoio da Modular Mining System do Brasil, principalmente Alan Santos e Aluízio Félix.

À todas as pessoas envolvidas com projeto de pesquisa MinAO²: Gestão Sistêmica do Planejamento e Operação de Lavra na Mina do Futuro (Processo USP: 14.1.02753.03.6).

À todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho de pesquisa.

RESUMO

Foi observado que para execução do planejamento diário, no qual há o envolvimento de diversas equipes como operação, perfuração e atividade de apoio, despende-se muito tempo para determinação dos alvos de produção. Em contrapartida, a maior parte das minas de grande porte utilizam sistemas de gerenciamento de equipamentos que são capazes de fornecer dados para tratamento e transformação em informação que poderiam auxiliar nesse planejamento, no entanto na maioria dos casos esses dados são pouco conhecidos e utilizados. Este estudo faz a estimativa de indicadores de desempenho de lavra, oriundos do banco de dados do sistema de Despacho, que podem ser utilizados no planejamento diário (tipo Line-Up aplicado na mina do Sossego, em Canaã dos Carajás – Pará). Metodologicamente, para atingir o proposto, foram realizadas as etapas de análise do Banco de Dados (BD) do sistema de Despacho, descrição do Line-Up da mina do Sossego, análise do contexto operacional entre os dois sistemas: Line-Up e Despacho, estimativa dos indicadores e definição de um cálculo de aderência ao Line-Up. Esse estudo demonstra que a partir da coleta e sistematização dos dados é possível tornar as informações contidas no BD do Despacho mais conhecidas e utilizadas na programação diária, permitindo que a utilização dessas informações auxilie na gestão do planejamento de curto prazo, reduzindo o tempo de execução da programação diária e tornando o processo de avaliação da aderência ao Line-Up mais rápido e menos subjetivo. Os dados utilizados para esse estudo são do banco de dados do sistema de despacho da Mina do Sossego (local de exemplo de aplicação).

Palavras-chave: Planejamento de lavra de curto prazo. Line-Up. Sistema de Despacho. Banco de dados. Cálculo de aderência.

ABSTRACT

Daily planning execution, which calls for several teams such as operation, drilling and support to be engaged, has been observed to be a rather time-consuming activity in order for production targets to be determined. On the other hand, most of large-size mine sites make use of equipment management systems capable of providing data to be treated and eventually made into information that may assist such planning efforts. However, such data are mostly scarcely known and used. This paper provides the estimation of mine performance indicators stemming from Dispatch system database that may come in handy for daily planning efforts (Line-Up type, applied to Sossego mine site, in Canaã dos Carajás, state of Pará, Brazil). Methodologically speaking, in order for proposed outcomes to be attained, Dispatch system database has been analyzed, Sossego mine site Line-Up has been described, operational context underlying both systems, Line-Up and Dispatch, has been analyzed, indicators have been estimated, and a Line-Up adherence calculation has been defined. The present paper indicates that, based on data gathering and systematization, information from Dispatch database can be made well known and used during daily scheduling efforts, thus allowing for such information to assist short-term plan management, daily scheduling performance timeframe to be cut down on, and Line-Up adherence assessment process to be faster and less subjective. Data used for this paper come from Sossego mine site dispatch system database (example of local application).

Key words: Short-term mine plan. Line-Up. Dispatch System. Database. Adherence calculation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases no processo de planejamento da produção	15
Figura 2 - Diagrama de planejamento convencional – planejamento diário	25
Figura 3 - Entidades envolvidas no Line-Up.....	27
Figura 4 - Atividades da rotina do Line-Up	29
Figura 5 - Programação do Line-Up 2008	29
Figura 6 - Atividades da rotina do Line-Up após inserção da aderência	31
Figura 7 - Modelo de relacionamentos das tabelas do BD do sistema de despacho da Modular	35
Figura 8 - Localização da Mina do Sossego na Província Mineral de Carajás.....	43
Figura 9 - Mapa geológico da mina do Sossego	44
Figura 10 - Descrição das etapas de beneficiamento na usina do Sossego	45
Figura 11 - Cava da Mina do Sossego: Sequeirinho	46
Figura 12 - Cava da Mina do Sossego: Sossego	47
Figura 13 - Esquema de movimentação da Mina do Sossego	49
Figura 14 - Fluxo de atividades do ciclo de planejamento anual	51
Figura 15 - Estimativa da produtividade da perfuração	58
Figura 16 - Capacidade de carregamento acima da capacidade de transporte	64
Figura 17 - Capacidade de transporte acima da capacidade de carregamento	64
Figura 18 - Ciclo de transporte	66
Figura 19 - Unidades de tempo que compõem a hora trabalhada do ciclo de transporte	67
Figura 20 - DMT das frentes de lavra para os pontos de basculamento em um cenário mensal	68
Figura 21 - Esquema para cálculo de produtividade partir de dados do BD do despacho.....	68
Figura 23 - Estimativa da produtividade do sistema carregamento-transporte	72
Figura 22 - Programação do Line-Up com prioridade definida e status do engenheiro de planejamento.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Limitante de produção no mês de janeiro de 2017	62
Gráfico 2 - Limitante de produção no mês de fevereiro de 2017	62
Gráfico 3 - Limitante de produção no mês de março de 2017	63
Gráfico 4 - Limitante de produção no mês de abril de 2017	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre alguns softwares da mineração	33
Tabela 2 - Disponibilidade física da frota de perfuração	53
Tabela 3 - Resultados estatísticos da DF da frota de perfuração.....	54
Tabela 4 - Resultados estatísticos da UF da frota de perfuração.....	55
Tabela 5 - Produtividade de perfuração na litologia sulfetado alto teor	56
Tabela 6 - DF programada e realizada de janeiro a abril da frota de carregamento .	59
Tabela 7 - Resultados estatísticos da DF da frota de carregamento.....	60
Tabela 8 - Distinção da duração do tempo entre manutenção corretiva ou não corretiva.....	60
Tabela 9 - Resultados estatísticos da DF da frota de transporte.....	61
Tabela 10 - Resultados estatísticos da UF das frotas de carregamento e transporte	65
Tabela 11 - Produtividade por escavadeira por litologia de janeiro a abril de 2017 ..	69
Tabela 12 - Produtividade por escavadeira por dia no mês de abril de 2017	70
Tabela 13 - Exemplo de ociosidade média de equipamentos	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	12
2.1	OBJETIVOS	12
2.2	JUSTIFICATIVA.....	12
3	REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	14
3.1.1	Processo de decisão no planejamento da produção	15
3.1.1.1	Planejamento de recursos	16
3.1.1.2	Plano de produção.....	16
3.1.1.3	Programação da produção	17
3.1.1.4	Liberação da produção	17
3.1.2	Controle da produção	18
3.2	PLANEJAMENTO DE LAVRA	18
3.2.1	Planejamento estratégico	19
3.2.2	Planejamento de longo prazo	20
3.2.3	Planejamento de curto prazo.....	21
3.2.3.1	Plano anual de orçamento.....	23
3.2.3.2	Plano de lavra trimestral	23
3.2.3.3	Plano de lavra mensal	23
3.2.3.4	Plano de lavra semanal	23
3.2.3.5	Plano de lavra diário	24
3.2.4	Metodologia do Line-Up como programação diária	26
3.2.4.1	Evolução do Line-Up	31
3.3	FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DE LAVRA	32
3.4	SISTEMA DE DESPACHO	33
4	METODOLOGIA.....	37
4.1	INFORMAÇÕES QUE SERÃO EXTRAÍDAS DO BD DESPACHO	37
4.1.1	Disponibilidade física.....	39
4.1.2	Utilização física.....	39
4.1.3	Produtividade.....	40
4.1.4	Estimativa da produção turno a turno	40
5	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	42

5.1	LOCALIZAÇÃO.....	42
5.2	GEOLOGIA DO DEPÓSITO	43
5.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINA DO SOSSEGO	45
5.4	PLANEJAMENTO DE LAVRA NA MINA DO SOSSEGO	50
6	RESULTADOS	52
6.1	INDICADORES ANALISADOS	52
6.2	PERFURAÇÃO	52
6.2.1	DF - Perfuração	52
6.2.2	UF - Perfuração	54
6.2.3	Produtividade de perfuração	56
6.2.4	Estimativa produção das perfuratrizes.....	56
6.3	SISTEMA CARREGAMENTO-TRANSPORTE.....	59
6.3.1	DF - Escavadeira.....	59
6.3.2	DF - Transporte	61
6.3.3	Utilização física sistema carregamento-transporte	61
6.3.4	Produtividade - transporte	66
6.3.5	Produtividade de carregamento	69
6.3.6	Estimativa de movimentação turno a turno	70
6.4	CÁLCULO DE ADERÊNCIA AO LINE-UP.....	73
6.4.1	Ociosidade X Prioridade de Lavra.....	74
7	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A - Histogramas da DF das perfuratrizes	80
	APÊNDICE B - Histogramas da UF das perfuratrizes	85
	APÊNDICE C - Histograma da DF das escavadeiras e transporte.....	90
	APÊNDICE D - Histograma da UF das escavadeiras e transporte.....	94
	ANEXO A - KPI's utilizados na mineração.....	98

1 INTRODUÇÃO

Na mineração, assim como nas mais diversas atividades, tem-se demandado cada vez mais o desenvolvimento de sistemas integrados que reúnam os mais diversos tipos de dados, facilitando tomadas de decisão e reduzindo o tempo de execução das atividades. Na abordagem desse trabalho busca-se calcular indicadores de produção da mina para serem utilizados na programação diária, em um cenário futuro de integração entre dois métodos já utilizados na mineração: sistema de Despacho e programação diária.

A área de planejamento faz a programação da produção baseado na capacidade produtiva teórica dos equipamentos disponíveis. Já no sistema de Despacho é possível verificar, em históricos curtos e longos, a produção realizada dos equipamentos em diversos horizontes (mensais, semanais, diários, horários, etc.). Quando se observa os dados realizados já é possível incorporar limitações que o planejamento não conseguiu vislumbrar.

Com essas duas fontes de informação podemos calcular metas de produção diária, distribuir para os equipamentos e tornar a programação de produção mais realista e automatizada para o planejamento diário. Isso proporciona mais embasamento, mais precisão e mais agilidade para o processo de planejamento.

A definição da metodologia de integração dos sistemas será realizada na mina de Sossego, no contexto do projeto Min_AO²: Gestão Sistêmica do Planejamento e Operação de Lavra na Mina do Futuro (Processo USP: 14.1.02753.03.6). A unidade de Sossego adota uma sistemática de programação diária denominada Line-Up, desenvolvida e implantada internamente. O Line-Up é uma metodologia de planejamento diário que desdobra o plano semanal afim de reduzir a lacuna de informação entre o planejamento e a execução (operação).

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 OBJETIVOS

Os objetivos principais do trabalho são:

- a) Definir indicadores em um cenário de integração do sistema de Despacho e a programação diária: ter disponível no sistema Line-Up informações sobre utilização física, disponibilidade física e produção histórica, oriundas do sistema de Despacho que facilitem a tomada de decisão no momento de programação;
- b) Avaliar a utilização de indicadores obtidos diretamente do sistema de Despacho, após devido tratamento dos mesmos, como base para a programação diária, transformando dados em informação;
- c) Criar uma sistemática de cálculo de aderência da programação diária, que considere a prioridade das atividades programadas.

2.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente na programação diária realizada na Mina do Sossego os *inputs* qualitativos e quantitativos são manuais e subjetivos, uma vez que são definidos com base nas opiniões e “experiências” das pessoas envolvidas nas atividades de planejamento e execução.

A descrição da atividade a ser realizada por cada área e equipamento, bem como o alvo de produção, são produtos de uma negociação entre a área de planejamento e as áreas operacionais (operação, perfuração, infraestrutura e drenagem). O objetivo dessa negociação é a realização da atividade que o planejamento definiu, levando em conta todas as restrições operacionais. Esse é um dos momentos que acaba sendo muito dispendioso, pois acontecem muitas discussões acerca da produção planejada.

Quando é feita a programação diária se registra no BD do sistema Line-Up toda a informação de programação, e após a realização das atividades tanto o responsável pela execução quanto o engenheiro de planejamento registram no sistema Line-Up os *status* de realização das mesmas, baseados nas suas percepções a respeito da

execução, bem como a produção realizada. A produção realizada é retirada do sistema de despacho e digitada manualmente no sistema Line-Up.

Para o engenheiro de planejamento a etapa de verificação das atividades realizadas não é uma tarefa fácil e normalmente é bastante demorada se feita com qualidade. É difícil de julgar apenas olhando no campo, como por exemplo, avaliar se a escavadeira que era a primeira prioridade realmente lavrou dessa forma. Para isso é necessário conhecer as ferramentas do sistema de Despacho e buscar as informações de lá.

O sistema de Despacho possibilita a visualização de dados de duas formas: através da interface de telas (*forms*¹) ou através das tabelas em banco de dados próprio. De lá podem ser consultados dados realizados de produção, disponibilidade física, horas improdutivas, incapacidade de máquinas, ociosidade, configuração de programação linear, configuração de programação dinâmica, entre outros parâmetros.

Normalmente só é conhecedor dessas ferramentas uma pessoa que já trabalhou na área do Despacho. Essa foi uma das subjetividades encontradas na metodologia de avaliação da aderência ao Line-Up, visto que, uma pessoa com mais ou menos experiência naquela ferramenta pode obter mais ou menos informação requerida e assim influenciar diretamente no resultado.

Esses dados oriundos do sistema de Despacho podem ser utilizados tanto na etapa de programação das atividades quanto na conferência do realizado. Dessa forma é possível:

- Obter mais agilidade na atividade de programação diária;
- Mais precisão na programação e conferências das atividades realizadas;
- Possibilita o cálculo de um valor de aderência menos subjetivo;
- Dissipar o conhecimento do BD do sistema de Despacho, incitando a transformação de dado em informação e conhecimento.

¹ Termo utilizado pela Modular Mining System, fornecedora do sistema de Despacho da Mina do Sossego para descrever cada tela existente no sistema.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura organizada nos seguintes itens:

- a) Planejamento e controle da produção: conceitos de planejamento e controle de produção de forma geral;
- b) Planejamento de lavra: técnicas de planejamento de lavra e sua divisão nos diferentes horizontes de tempo, incluindo a programação diária. Também é apresentado o Line-Up, ferramenta de programação diária utilizada nas minas de Sossego e Salobo da VALE;
- c) Ferramentas de planejamento de lavra: principais soluções comerciais de TI para planejamento de lavra;
- d) Sistema de despacho: descrição das funções dos sistemas de controle de frota e produção para a mineração.

3.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

Atualmente, as empresas encontram-se em um cenário altamente competitivo e dinâmico, além de um mercado consumidor cada vez mais exigente. Desta forma, o fator crucial para qualquer empreendimento é a otimização da produtividade na gestão de seus recursos e técnicas.

Esta otimização é obtida fabricando a quantidade necessária de um produto, com a qualidade requerida, no tempo programado, utilizando o melhor método e com menor custo. Desta forma, o PCP é uma ferramenta para coordenar todas as atividades de fabricação em um determinado sistema produtivo, afim de se obter essa ótima gestão.

O PCP tem como um dos principais objetivos, garantir que os processos da produção ocorram eficaz e eficientemente, produzindo produtos e serviços conforme demandados pelos consumidores (SLACK *et al.*, 2002). Contudo, esses objetivos só serão realizados se os recursos estiverem em quantidade e qualidade adequadas ao processo.

Basicamente, o PCP deve fundir o potencial em fornecer produtos e serviços com a demanda de seus consumidores, sendo um conjunto de atividades diárias que garantam a obtenção das metas da empresa. A natureza das decisões tomadas

para planejar e controlar uma operação produtiva dependerá tanto da natureza da demanda como da natureza do suprimento (SLACK *et al.*, 2002). O suprimento pode ser entendido como a matéria-prima que pode ser transformada em um produto que atenderá a demanda.

3.1.1 Processo de decisão no planejamento da produção

Há quatro fases no processo de planejamento da produção, que são hierarquizadas no sentido de que a fase seguinte é iniciada após a implementação das decisões tomadas na fase anterior. Essas fases são o planejamento de recursos, o plano de produção, a programação da produção e liberação da produção, que podem ser classificadas segundo a extensão do horizonte de planejamento em decisões de longo, médio, curto e curtíssimo prazo (CONTADOR, 1998). Para o sucesso do PCP, o êxito em todos os níveis do planejamento da produção deve ser obtido, caso contrário, se apenas um nível não corresponder às metas designadas, todo o sistema de PCP poderá ser comprometido.

Figura 1 - Fases no processo de planejamento da produção

Fonte: Arquivo pessoal

3.1.1.1 Planejamento de recursos

As decisões de longo prazo relativas ao planejamento de recursos são tomadas pela administração e definem principalmente a linha de produtos, os meios de produção (equipamentos, processo, pessoal, ou o como produzir), os canais de distribuição de produtos e a política de atendimento a clientes. As entradas necessárias para essas decisões são pesquisa de mercado e previsões de longo prazo (CONTADOR, 1998). Este planejamento propicia uma estimativa de produção e demanda em longo prazo, sendo esta produção, limitante à capacidade produtiva disponível no momento, podendo ser expandida com os investimentos financeiros no decorrer da vida útil do empreendimento.

3.1.1.2 Plano de produção

O plano de produção pode ser denominado também de plano mestre ou planejamento mestre de produção. Segundo Tubino (2009) o planejamento mestre da produção consiste em estabelecer um Plano-Mestre de Produção (PMP) de produtos finais, detalhado a médio prazo, período a período, com base nas previsões de vendas de médio prazo ou nos pedidos em carteira já confirmados.

As revisões no plano devem ser frequentes para adequá-las às alterações de mercado e aos movimentos estratégicos dos concorrentes. Nessas revisões, que são feitas ao final de cada período de um ou alguns meses, todas as informações sobre níveis de estoque e sobre previsões de demanda são atualizadas (CONTADOR, 1998).

O plano de produção deve ser aprovado pela alta administração da empresa. A alta administração interage com o PCP quantas vezes forem necessárias até que o plano de produção seja aprovado, e as decisões para o próximo período são então congeladas (CONTADOR, 1998). Uma vez determinado o plano de produção, a cadeia produtiva da empresa assume as atividades determinadas pelo PMP para a fabricação do produto demandado.

Caso ocorram problemas na cadeia produtiva a curto prazo, inviabilizando o comprometimento com o PMP já determinado, faz-se a sua revisão levando em consideração os problemas levantados. Segundo Tubino (2009), identificados os

potenciais problemas, e tomadas as medidas preventivas necessárias, o planejamento-mestre deve ser refeito até chegar-se a um PMP viável.

3.1.1.3 Programação da produção

Com base no PMP, nos registros de controle de estoque e nas informações da engenharia, a programação da produção estabelece a curto prazo quanto e quando comprar, fabricar ou montar de cada item necessário à composição dos produtos finais (TUBINO, 2009). Com o sistema produtivo e logística já determinados pelo plano de produção, e a adequação aos problemas observados pelo PMP, a programação de produção sequencia a cadeia produtiva com o objetivo que cada elemento da empresa deve executar.

3.1.1.4 Liberação da produção

Segundo Contador (1998), a liberação da produção é caracterizada por um conjunto de decisões de curtíssimo prazo tomadas no piso-de-fábrica, com a finalidade de:

- a) Verificar a disponibilidade de materiais, ferramentas e instruções técnicas para atender à ordem de operação a ser iniciada, de forma que fiquem à disposição do operário;
- b) Decidir sobre a sequência de processamento das ordens de operação;
- c) Distribuir, organizadamente, as diversas ordens para: almoxarifes; movimentadores de materiais, ferramentas e equipamentos; preparadores de máquina; operários; entre outros;
- d) Tomar todas as providencias necessárias à fluidez da produção e dar solução aos problemas imprevistos; e
- e) Coletar informações para controle.

Basicamente, a liberação da produção faz a gestão das tarefas determinadas pelo curto prazo com as ferramentas e técnicas disponíveis no momento. Segundo Contador (1998), a liberação da produção objetiva fazer a ligação da programação com a execução.

3.1.2 Controle da produção

A liberação da produção apresenta como uma de suas finalidades a coleta das informações obtidas diariamente dentro de uma cadeia produtiva, e necessita também de uma análise desses dados coletados por meio de relatórios. Efetuada a comparação do previsto com o realizado, o PCP emite relatórios aos setores da empresa para que providências sejam tomadas com o objetivo de corrigir as falhas e desvios.

No intuito de otimizar a gestão nos diversos níveis empresariais, estes relatórios obtidos pelo controle da produção são distribuídos nos setores em que tais informações serão pertinentes às tomadas de decisões. De acordo com Contador (1998), a hierarquização dos relatórios pode obedecer ao seguinte critério:

- a) Para a alta administração, informações agregadas a respeito do desempenho da fábrica como um todo e de cada departamento;
- b) Para a gerencia de departamento, informações agregadas a respeito do desempenho do departamento e de cada setor administrativo imediatamente subordinado;
- c) Para o supervisor de produção, informações a respeito do desempenho de cada turno de produção e sobre exceções individuais; e
- d) Para o encarregado de produção, informações sobre o desempenho de cada operário em cada operação.

3.2 PLANEJAMENTO DE LAVRA

O planejamento de lavra é a área dentro da mineração que elabora a programação das atividades da mina, indicando os avanços a serem feitos ao longo do tempo em cada frente de lavra. De acordo com Amaral (2008):

Um plano de lavra é uma programação das atividades da mina, indicando os avanços a serem feitos ao longo do tempo, nas respectivas frentes de lavra, além de conter informações sobre a produção a ser implementada em cada uma dessas frentes. Os planos de lavra auxiliam as atividades de planejamento e controle da produção, pois permitem não somente prever as quantidades de minério e estéril lavradas, como também determinar a qualidade do ROM (run-of-mine) e controlar as condições de segurança e de

manutenção da vida útil da mina por meio de uma relação estéril-minério (REM) adequada.

Diversos autores, como Thorley (2012), Reuter (2015), Freitas (2015) e Askari-Nasab et al. (2015), abordam o planejamento de lavra basicamente em três horizontes, que seriam o planejamento estratégico, planejamento de longo prazo e planejamento curto prazo. O planejamento estratégico pode ser definido como o plano que antecede as operações mineiras determinando a viabilidade do empreendimento, o de longo prazo refere-se aos períodos de produção de um ano ou mais, enquanto que o de curto prazo implica na produção de um ano ou menos, chegando até o horizonte diário.

3.2.1 Planejamento estratégico

O planejamento estratégico antecede todas as atividades a serem realizadas dentro de um empreendimento mineiro, a partir de sua viabilidade econômica dentro de uma projeção detalhada levando em consideração todas as premissas envolvidas no processo. De acordo com Hustrulid (2013), o plano estratégico deve contemplar informações necessárias para obter autorizações e abordar questões relacionadas ao meio ambiente, uso da terra e questões socioeconômicas.

O planejamento estratégico de mina objetiva, principalmente, obter o máximo valor presente líquido (VPL) do empreendimento. Segundo Thorley (2012), o planejamento estratégico estabelece o potencial valor do projeto com base em:

- a) Identificação do material a ser extraído através da análise do limite da cava (decisão da forma e a extensão da cava final);
- b) Definição do ótimo sequenciamento (determinando a ordem na qual o material é lavrado);
- c) Definição do destino de cada parcela de rocha extraída (identificando se o material é estéril ou minério, e o fluxo do processo, caso seja lavrado minério); e
- d) Estabelecimento da taxa que o corpo de minério deve ser extraído e processado, determinando a vida útil da mina.

O planejamento estratégico apresenta um alto grau de importância para o sucesso de uma empresa, pois é nesta etapa que são determinadas as características referentes ao empreendimento. Posteriormente, estas características serão

importantes na realização da análise de sensibilidade em que serão propostos diferentes cenários, levando em consideração os aspectos mensurados pelo planejamento estratégico para uma decisão mais confiável referente a viabilidade do empreendimento. Segundo Thorley (2012), a análise de sensibilidade não apenas indica os principais fatores de risco no plano de mina, mas também pode ajudar a orientar decisões de *trade-off* e estudos para um planejamento mais detalhado e produção final.

3.2.2 Planejamento de longo prazo

O planejamento de longo prazo trata as informações disponíveis pelo planejamento estratégico como um norte nas tomadas de decisão, mas com um caráter mais real de planejamento, pois os dados referentes a cadeia produtiva e características do corpo mineral são constantemente atualizadas no decorrer da vida útil do projeto. Segundo Thorley (2012), a quantidade e a qualidade dos dados relativos às características do corpo de minério, aos custos esperados e a outros insumos de planejamento aumentam com estudos de pré-produção mais detalhados e com a experiência adquirida após o início das operações, reduzindo as incertezas relacionadas às variáveis de entrada no processo de planejamento.

De acordo com Thorley (2012), as atividades de planejamento de longo prazo se iniciam nos estudos de pré-viabilidade e continuam ao longo da vida da mina. O objetivo ainda é a maximização do VPL do projeto, porém limitantes relacionados à execução das operações começam a ser estudados em maior detalhe.

Segundo Freitas (2015), as principais etapas do planejamento de lavra de longo prazo englobam:

- a) Determinação da capacidade de produção;
- b) Planejamento do layout da mina;
- c) Seleção e dimensionamento de equipamentos;
- d) Sequenciamento de lavra;
- e) Análise de cenários operacionais e econômicos.

Portanto, as tomadas de decisão de cunho tático determinadas pelo planejamento de longo prazo possuem um caráter mais específico em relação ao planejamento estratégico, no entanto, algumas premissas relativas ao nível estratégico devem ser

mantidas. De acordo com Thorley (2012), decisões importantes relacionadas ao sequenciamento de mineração, impostos fiscais e teor de corte, são mantidas baseadas em informações e análises limitadas durante o estudo de pré-viabilidade.

3.2.3 Planejamento de curto prazo

Em um nível ainda mais específico, o planejamento de curto prazo busca atender aos requisitos de demanda, tanto em quantidade quanto em qualidade, estabelecidos pelo planejamento de longo prazo, levando em consideração as limitações operacionais. Na literatura, a abordagem mais detalhada do planejamento de curto prazo é feita por Thorley (2012).

Conforme Thorley (2012), o objetivo do planejamento de curto prazo é garantir que a demanda da usina de beneficiamento seja atendida (tanto de massa quanto de litologia ou teor de alimentação), obedecendo às premissas definidas no plano de longo prazo. Assim como o planejamento de longo prazo é a extensão do planejamento estratégico, o planejamento de curto prazo desenvolve os planos detalhados para que o plano de longo prazo seja implementado. Um planejamento de longo prazo inadequado ou pouco detalhado raramente não pode ser substituído ou complementado por um plano de curto prazo, porém um plano de curto prazo não executado devidamente pode acarretar em implicações negativas significativas para o sucesso de uma mina.

O planejamento de curto prazo compreende estágios progressivos que podem atribuir atividades em planos que variam de mensais à planos diários, quanto mais específico for um plano de lavra maiores são os dados disponíveis para sua realização, atribuindo um maior grau de certeza e confiabilidade. Segundo Thorley (2012), à medida que esses estágios evoluem, maiores níveis de certeza são exigidos com relação a cronogramas de manutenção e disponibilidade dos equipamentos, demanda da usina, avanços de lavra nos bancos, avanço de depósitos e garantia da disponibilidade e flexibilidade de acesso aos bancos de lavra.

Os estágios referentes ao planejamento de curto prazo podem ser definidos como: plano anual de orçamento, plano de lavra trimestral, plano de lavra mensal, plano de lavra semanal e plano de lavra diário.

3.2.3.1 Plano anual de orçamento

O plano anual de orçamento é basicamente a análise do plano anual proposto pelo longo prazo, relacionando com as limitações operacionais disponíveis e projetando cenários diversos para a melhor estimativa deste plano. De acordo com Thorley (2012), o plano anual é desenvolvido uma vez por ano, com previsões trimestrais e planos atualizados mensalmente reagindo a condições imprevistas. O planejamento de curto prazo envolve uma estreita comunicação e integração de planos com a operação e com a manutenção da mina.

3.2.3.2 Plano de lavra trimestral

Neste plano, a previsão segue um caráter um pouco mais específico que o plano anual, com atualizações trimestrais. À medida que o ano avança, as previsões trimestrais serão atualizadas com base em planos mensais. A previsão fornecerá um nível mais elevado de certeza em relação às interrupções planejadas do que o plano anual e responderá de forma mais efetiva às mudanças (THORLEY, 2012).

3.2.3.3 Plano de lavra mensal

O plano de lavra mensal atualizará as atividades do plano anual e dará um feedback às propostas do plano trimestral, no qual se adequará aos relatórios das atividades realizadas pelo plano mensal.

O plano mensal identificará prazos específicos para as atividades de manutenção planejada para a frota de carga e transporte. Todos os desvios de previsão de produção ou despesas orçamentadas devem ser identificados (THORLEY, 2012).

3.2.3.4 Plano de lavra semanal

O plano de lavra semanal analisa o cenário operacional para projeção de um plano das atividades em um período compreendido no máximo de duas semanas e com atualizações semanais. De acordo com Thorley (2012), caso seja necessária a lavra

em diferentes frentes, os movimentos devem ser identificados neste plano para que possam ser executados corretamente.

3.2.3.5 Plano de lavra diário

As atividades propostas pelo planejamento diário devem atender aos requisitos do plano semanal e ser reativa a qualquer desvio operacional ou relacionado ao material lavrado. Segundo Thorley (2012), manutenção não planejada, mudanças inesperadas na qualidade do minério ou resíduos, exigirão ação da equipe de planejamento de curto prazo.

Uma ou mais reuniões são normalmente realizadas com as equipes de manutenção e operação, bem como com os supervisores de funções de suporte, como perfuração, redes e linhas e drenagem, para garantir que quaisquer problemas sejam identificados e reagidos adequadamente (THORLEY, 2012). Estas reuniões são importantes para manter a unidade no plano de operações dentro de uma mina, atuando com rapidez nos problemas que apareçam no decorrer das atividades. O plano diário deve direcionar a operação às atividades a serem realizadas diariamente, objetivando aderir aos planos de curto prazo. A sequência dessas atividades pode ser observada pela Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de planejamento convencional – planejamento diário

Fonte: Adaptado de Thorley, 2012

3.2.4 Metodologia do Line-Up como programação diária

Podemos dividir o planejamento de curto prazo em: planejamento de curto prazo propriamente dito, que é formado pelos planos anuais, mensais e trimestrais; e o “curtíssimo prazo” composto pelos planos semanais e os diários (*Line-Up*).

Segundo Thorley (2012) o planejamento diário é o planejamento semanal acrescido de adequações que se fizeram necessárias no dia-a-dia, no qual não há grandes alterações no posicionamento dos equipamentos.

O termo Line-Up para planejamento diário surgiu quando um consultor de mineração, chamado David Tutton, esteve na Mina do Sossego para uma visita em 2007. Na oportunidade ele observou que havia uma lacuna entre as atividades de planejar e executar, sendo que o nível de planejamento mais próximo da execução é o planejamento de curto prazo. Para preencher essa lacuna então sugeriu que fosse feito um planejamento diário cíclico, que detalhasse todas as atividades que seriam executadas turno a turno, sugeriu ainda que para isso, durante o processo de planejamento fosse feito uma reunião diária, em que além do engenheiro responsável pelo planejamento, fossem envolvidos representantes das diversas áreas operacionais como: perfuração, operação (carregamento, transporte), drenagem, infraestrutura e redes e linhas.

Essas ações fariam com que, durante o planejamento, todos tivessem responsabilidade de planejar e se sentissem realmente envolvidos, não deixasse de ser considerada nenhuma atividade necessária ao cumprimento do plano e garantisse o efetivo entendimento do plano pelas áreas executoras que seriam responsáveis pela passagem de informação turno a turno (supervisores e operadores). Thorley (2012) em sua tese, cita a metodologia de planejamento diário da mesma forma que David Tutton tratou e ainda acrescentou a inserção da área de manutenção, porém não denominou como Line-Up.

Na Mina do Sossego as atividades são realizadas em 24 horas e o dia é dividido em três turno, dois de nove horas e um de seis. Ficando da seguinte forma:

- a) Turno noturno: 00:00 as 06:00
- b) Turno diurno: 06:00 as 15:00
- c) Turno tarde: 15:00 as 00:00

As entidades diretamente envolvidas com Line-Up são, ver Figura 3:

- a) Engenheiro de planejamento diário: é o responsável pelo desmembramento dos níveis maiores de planejamento (mensal e semanal) no planejamento diário. Como citado por Silva² (2013) e Agra (2014) obedecendo a hierarquia do conhecimento dos planos de lavra ele é conhecedor dos planos que vêm antes do plano diário, e faz as adequações necessárias para que os planos anteriores sejam cumpridos.
- b) Programadores (perfuração, operação, infraestrutura, drenagem, redes e linhas): são corresponsáveis pelo planejamento diário. Têm a responsabilidade de arrecadação de informações de sua área que são necessárias para cumprimento do plano, como restrições operacionais, necessidade de alteração de posição de cabos elétricos, baixa performance de equipamentos, entre outros dados. Além disso é o responsável pela passagem de informação após o Line-Up concluído para o supervisor/técnico.

Figura 3 - Entidades envolvidas no Line-Up

Fonte: Silva³ (2014)

² SILVA, M. L. R. C. Mapeamento de processo como ferramenta de melhoria no processo de planejamento de curto prazo. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em sistemas minero-metalúrgicos) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. 20 p. Não publicado.

³ SILVA, N. H. C. Uma abordagem sobre planejamento de lavra de curto prazo com ênfase na metodologia da programação diária (*Line-Up*) da mina do Salobo. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. 18 p. Não publicado.

As etapas para as entidades envolvidas diretamente com o Line-Up são:

- a) Primeira rodada de mina (7:30): nessa etapa engenheiro de planejamento diário e programadores fazem uma visita a mina nas primeiras horas do dia, ainda antes do início das atividades administrativas (08:00). Foco dessa visita é conferência das atividades programadas no dia anterior. Ver Figura 4.
 - b) Reunião de alinhamento diário (8:30): também conhecida popularmente na mina do Sossego como “Reunião do Bom Dia”. Nesse momento o supervisor/técnico de cada área fala sobre a execução das atividades que foram programadas, relatando o que foi realizado dentro e fora do plano diário com suas justificativas.
 - c) Segunda rodada de mina (09:30-10:30): Foco dessa visita é vislumbrar as atividades que serão necessárias programar para os próximos três turnos. Para isso, visita-se as frentes de lavra, as praças de atividades e os serviços de infraestrutura. Nessa atividade o engenheiro de planejamento faz um acompanhamento macro, visitando todas as frentes de atividades, enquanto os coordenadores visitam suas respectivas frentes de trabalho (operação, perfuração, infraestrutura, drenagem e redes e linhas), afim de coletar o maior nível de detalhes de informação para contribuir no planejamento do Line-Up.
 - d) Reunião do Line-Up: As 11:00 realiza-se uma reunião com coordenadores afim de consolidar as informações de todas as áreas e fazer nova programação turno a turno, sempre com foco no cumprimento do plano semanal. Essa programação deve ficar pronta até o horário limite de 15:00, horário que se inicia próximo turno e começa a valer a programação feita para as próximas vinte e quatro horas.
-

Figura 4 - Atividades da rotina do Line-Up

Fonte: Arquivo pessoal

O resultado dessa reunião é uma programação impressa das atividades que serão executadas em cada turno, Figura 5. Nela consta o nome de cada equipamento, o local, a prioridade e a atividade que será executada, no caso de carregamento e perfuração também consta a produção esperada. O programador de cada área deve passar para os supervisores/técnicos de sua respectiva área a orientação da programação. E o supervisor, por sua vez, deve fazer a informação chegar até o operador.

Figura 5 - Programação do Line-Up 2008

GERÊNCIA GERAL DE OPERAÇÃO DA MINA DO SOSSEGO GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO								
05/05/08 - Tarde								
PROGRAMAÇÃO DE MINA								
LOCAL	PERF	PLANO	PRIOR	BANCO	CARREG	PRIOR	MASSA	INFRA-ESTRUTURA
SEQ FASE 2				88/72	PM	3	2,000	Preparar área de perfuração do polígono E2_056_012.
SEQ FASE 3 NORTE	PF2105	E3_120_019	MANUT	120	ES3101	2	23,000	Bater choccos no talude acima da rampa do 120/104, após a detonação. Reposicionar tubulação que passa no Bco 136 para o Bco 120, para liberar área de perfuração.
	PF1802	E3_120_019	1	136	PM	1	6,000	
				120	ES3102	5	5,000	
				136	PM	2	6,000	
SEQ FASE 3 SUL	PF2106	E3_120_026	3	136	ES3001	4	22,100	Limpar pé do Bico do Bco 184/168. Limpar desnível não detonado no Bco 136, na curva do acesso para a ES3001.
	PF1801	E3_120_026	3	136	C.S.	1	3,500	
	PF2103	E3_120_026	3					
	PF2101	E3_136_053	4					
	T4	E3_136_053/PRÉ	4					
SOS FASE 1	PF2104	O1_104_002	2	120	C.S.	3	1,000	Desenvolver acesso à tubulação da EBES pelo outro lado do bco 152.
				120	C.S.	3	1,000	
				152	C.S.	2	3,500	

Fonte: Arquivo pessoal

Segundo Silva³ (2014), durante a primeira etapa de implantação dessa metodologia Line-Up foi enfrentado muita resistência por questões culturais. Ninguém estava acostumado com essa forma de planejar e dificilmente a equipe de operação (executores) aceitava a ideia de ter que seguir uma programação impressa em um papel. Silva³ (2014) chama atenção também para importância do incentivo por parte da liderança.

Paralelo ao desenvolvimento da programação do Line-Up, foi surgindo a necessidade do desenvolvimento de uma forma de acompanhar/quantificar a efetividade da execução desse plano. Então foi desenvolvido o que é chamado de aderência ao Line-Up.

Para geração de um indicador, primeiramente, foi realizada a criação dos status do Line-Up, que representa como está a execução das atividades do ponto de vista dos executores (supervisores/técnicos) e do ponto de vista do engenheiro do Line-Up.

Os status do supervisor se dividem em:

- a) Realizado: atividade concluída.
- b) Parcial: atividade concluída parcialmente.
- c) Não realizado: atividade não realizada.
- d) Sem status: quando não foi preenchido o status.

Os status do engenheiro do Line-Up se dividem em:

- a) Aderente: atividade realizada conforme programação.
- b) Não aderente: atividade não realizada conforme programação.
- c) Não conforme: Além de não ter sido respeitada a programação foi feito algo que possa ter prejudicado o plano.
- d) Sem status: quando não foi preenchido o status.

A aderência do Line-Up é um indicador medido em percentual e representa quanto do plano diário foi executado, conforme form. (3). Agra (2014), descreve dois indicadores utilizados na medição da aderência ao Line-Up: Índice de Aderência (IA) e o Índice de Cumprimento (IC), conforme form. (1) e form. (2), respectivamente. Onde o índice de aderência indica se a atividade estabelecida pelo Line-Up foi executada e o índice de cumprimento quantifica o desvio da atividade programada.

$$IA = \frac{\text{Número de atividades aderentes}}{\text{Número total de atividades}} \quad (1)$$

momento já havia muito mais integração entre as equipes e os resultados eram palpáveis através de planos cada vez mais aderentes.

Mas a execução do cadastro das atividades era muito manual, era despendido muito tempo para cadastro das atividades uma a uma em planilhas de Excel, além da baixa rastreabilidade de dados. Então a partir de 2012 houve as primeiras iniciativas para criação de um sistema Line-Up que além de interface mais amigável fornecia rastreabilidade de dados através da criação de bancos de dados. Na mina do Sossego o BD foi desenvolvido em PostgreSQL e o sistema desenvolvido em C#.

Desde maio de 2016 está ocorrendo uma iniciativa na Mina do Salobo, mina de cobre localizada na mesma região da Mina do Sossego, de criação de um novo sistema Line-Up com maior robustez de BD para rastreabilidade de atividades e recursos utilizados.

Mesmo assim, ainda existe a necessidade da busca de mais agilidade para a programação de atividades no que diz respeito as produções planejadas, que por sua vez dependem das disponibilidades físicas, utilizações físicas e produtividades dos equipamentos considerados. Assim como da conferência das atividades realizadas e prioridades de lavra estabelecidas para definição dos status do Line-Up.

3.3 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO DE LAVRA

No decorrer dos anos foram desenvolvidos diversos softwares que utilizam algoritmos computacionais para auxiliar no planejamento de lavra, com uma interface de fácil manipulação e integração a BD para melhor gestão. De acordo com Amaral (2008), existem muitas ferramentas de TI (tecnologia da informação) que auxiliam as atividades do planejamento de lavra, como:

- a) A visualização tridimensional da mina;
- b) A construção do modelo de blocos;
- c) O gerenciamento de banco de dados geológicos e históricos de produção;
- d) A estimativa da reserva;
- e) O projeto de cava ótima;
- f) O sequenciamento de lavra.

Existem no mercado inúmeras ferramentas para a solução dos problemas da mina. Na área de planejamento, a quantidade de softwares é tão vasta que é comum no

mundo corporativo se deparar com profissionais de mesma área utilizando softwares diferentes para se chegar ao mesmo resultado (SILVA³, 2014).

Esta utilização de softwares diferentes para um mesmo propósito, se deve também pelas vantagens e desvantagens que cada produto comercial apresenta. Segundo Hack (2003), devido a essas vantagens e deficiências, a escolha por um pacote torna-se, muitas vezes, complicada e é cresce o interesse por softwares que podem ser customizados por meio de programação de características de cada empresa, utilizando-se linguagens específicas. Muitos softwares apresentam facilidades de customização, como ambientes próprios para programação e interfaceamento com outros sistemas, como planilhas eletrônicas, ferramentas de computação gráfica e sistemas de informação geográfica.

Amaral (2008), faz uma breve comparação entre alguns softwares utilizados na mineração, apontando os principais pontos fortes e fracos de cada um, Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre alguns softwares da mineração

Software	Pontos fortes	Pontos fracos
Earthworks NPV Scheduler	Facilidade de aceitação, por considerar áreas de acesso (Caccetta & Hill, 2003);	Uso de heurísticas: gera sequenciamento distante do ótimo (Caccetta & Hill, 2003).
MineMAX Planner	Considerações complexas em relação ao teor de corte e tamanho dos blocos (Caccetta & Hill, 2003); Obtém a cava ótima (Kentwell, 2002).	Pacotes simples, sem flexibilidade de uso (Kentwell, 2002). Aproximações ruins dos ângulos de taludes em casos de replanejamento da cava (Caccetta & Hill, 2003).
Whittle (Four-D e Four-X)	Obtém a cava ótima e com análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros (Caccetta & Hill, 2003).	Longo tempo para gerar o sequenciamento, sem garantia de otimalidade (Caccetta & Hill, 2003).
XPAC Autoscheduler	Velocidade de processamento: usa heurística para fixar cenários (Caccetta & Hill, 2003).	Sequenciamento distante do ótimo e pode não encontrar soluções viáveis (Caccetta & Hill, 2003).

Fonte: Amaral (2008)

3.4 SISTEMA DE DESPACHO

O sistema de Despacho utilizado na mina do Sossego é fornecido pela Modular Mining System do Brasil e consiste de um software de gerenciamento de frota que usa o que existe de mais moderno em tecnologia de computadores, comunicação de

dados e GPS (MODULAR SISTEMAS DE MINERAÇÃO⁴, 2005). Tem o propósito de aperfeiçoar a operação das minas baseando-se em dados em tempo real. O objetivo do sistema é a otimização das frotas de carregamento e transporte, ou seja, alcançar aumento da produtividade e redução dos custos operacionais.

De acordo Lizotte et al. (1987), para maximizar produção a nossa intuição inicial seria de atribuir caminhões para a utilização máxima, mas nem sempre essas grandezas são diretamente proporcionais. E é justamente nessa perspectiva que trabalha o sistema de Despacho, buscando esse equilíbrio. Para isso ele se utiliza das seguintes características:

- a) Designações dinâmicas e otimizadas para caminhões;
- b) Monitoramento de todas as frotas;
- c) Acompanhamento para manutenção de equipamentos;
- d) Ajustamento dinâmico para o tempo de ciclo;
- e) Blendagem de material;
- f) Avaliação e otimização das taxas de carregamento, tempo de manobra, tempo em fila, atrasos operacionais, entre outros indicadores. Ver Anexo A.

Para gerir as frotas, se utiliza de várias funções, das quais destaco nesse trabalho a coleta de dados e o armazenamento dos dados em bancos de dados. No que se refere à coleta de dados, o sistema recebe continuamente, consulta, armazena dados e os utiliza em tempo real, juntamente com dados históricos, para atualizar registros, tomar decisões de designações e gerar relatórios.

Na Figura 7, é apresentado um exemplo esquemático das tabelas e relacionamentos entre elas no banco de dados. Os principais dados coletados são referentes aos *status* dos equipamentos (manutenção, operando, improdutivo), os quais geram os indicadores de disponibilidade física e utilização física. Também são coletados dados pertinentes ao ciclo dos equipamentos e apontamento de produção para o cálculo de produtividade.

⁴ MODULAR SISTEMAS DE MINERAÇÃO. Dispatch. Modular: Minas Gerais, 2005. Não publicado.

Figura 7 - Modelo de relacionamentos das tabelas do BD do sistema de despacho da Modular

Fonte: Lisboa⁵ (2015)

⁵ LISBOA, R. Advanced data analysis. São Paulo: Modular, 2015. Não publicado.

O armazenamento dos dados permite a criação de relatórios customizados sobre dados coletados durante as operações da mina em tempo real, com isso pode-se fazer um uso mais eficaz de conjuntos de dados gerados durante os turnos.

Os dados são transferidos do servidor do sistema de Despacho para uma base de dados SQL, constituída de uma série de tabelas que contêm informações a respeito de ciclos de carregamento/transporte, categorias de tempo, estado dos equipamentos, entre outras informações. A manipulação dos dados contidos nessas tabelas permite a criação dos relatórios de acordo com a necessidade.

De acordo com Song et al. (2015) vale ressaltar que a importância da manutenção da integridade de bancos de dados visto que o processo de coleta de dados executado por várias fontes, como sistemas de aquisição de dados de produção ou sistemas de execução de manufatura, é propenso a imprecisões e inconsistências. Dados de feedback de produção, tais como carimbos de data/hora ou volumes de produção são frequentemente comprometidos por sensores de defeito ou erros de relatório manuais. Apesar dos esforços contínuos de digitalização na produção, o reporte manual ainda é um fenômeno comum devido a máquinas ultrapassadas e viabilidade econômica.

4 METODOLOGIA

Em consonância com os objetivos da pesquisa a mesma tem um caráter inovador, uma vez que, propõem mudanças efetivas e operacionais na programação diária a partir dos dados que estão dispostos no sistema de Despacho. Para tal, são utilizados os métodos qualitativos e quantitativos, conjuntamente com o levantamento bibliográfico sobre os principais conceitos que envolvem o projeto e o levantamento de campo.

A abordagem qualitativa será predominante, pois “primeiramente faz-se a coleta dos dados a fim de poder elaborar a “teoria base”, ou seja, o conjunto de conceitos, princípios e significados” (LAKATOS e MARCONI, 2011).

O método descritivo analítico também fará parte da pesquisa, uma vez que, o mesmo permitirá o entendimento do sistema Line-Up da mina do Sossego como ferramenta de programação diária, a fim de elencar os indicadores que promoverão a integração/interface relacional do mesmo com o sistema de Despacho.

4.1 INFORMAÇÕES QUE SERÃO EXTRAÍDAS DO BD DESPACHO

O aumento da qualidade dos dados vem se tornando ainda mais crucial para melhorar a eficiência e a competitividade das empresas de mineração, pois é um pré-requisito importante para as indústrias modernas, nas quais os sistemas cibernéticos operaram de forma autônoma com base em dados precisos e consistentes.

As operações de mineração devem ter metas de produção viáveis e compatíveis com a capacidade do sistema. Para definir as metas de produção de um sistema produtivo, é necessário definir as principais variáveis de acordo com os objetivos do estudo. Essas variáveis estão vinculadas ao ciclo de produção e são armazenadas em bancos de dados.

É comum a utilização de produção média histórica ou dados teóricos para planejamento de produções futuras, porém quando isso é feito é importante mencionar que a variação do tempo de ciclo, atrasos operacionais (troca de turnos,

tempo de abastecimento, revezamento de refeição, entre outros parâmetros) e as alterações na distância média de transporte (DMT) não são tomadas em consideração. Dessa forma, o plano não considera possíveis interferências que possam comprometer sua viabilidade, como por exemplo reduções de DMT e variação no tempo de ciclo, o que pode levar ao não atingimento dos objetivos de qualidade e produção previstos no plano.

Um dos produtos finais do Line-Up além do direcionamento das frentes de trabalho é o alvo de produção.

Sendo que produção é representada pela form. (4).

$$Produção = HN \times DF \times UF \times Produtividade \times N^{\circ} \quad (4)$$

Onde,

HN = hora nominal

DF = disponibilidade física

UF = utilização física

P = produtividade

N° = número de equipamentos

Durante a atividade de planejamento do Line-Up foi observado que os indicadores operacionais para programação da produção diária, são diferentes dos indicadores mensais e semanais programados. Foi proposto então nesse trabalho uma forma diferente de dimensionamento desses indicadores, conforme descrito nos itens abaixo. A intenção é que, visto o resultado positivo dessas análises, possa ser disposto futuramente no sistema Line-Up indicadores de disponibilidade física, utilização física e produtividade ajustados para planejamento turno a turno.

Nesse trabalho, os dados gerados pelas operações de carregamento, transporte e perfuração de uma mina serão analisados turno a turno conforme subitens a seguir. Para isso foram coletados dados que compõem os indicadores de UF, DF e produtividade dos equipamentos.

Os indicadores foram estimados para aplicação na programação diária de produção. A programação é realizada diariamente com valores turno a turno. No caso de feriados e de sexta a programação contempla os dias não administrativos, por exemplo, na sexta-feira é programado o turno de sexta-feira das 15:00 até segunda as 6:00. Nos demais casos é previsto a produção para os próximos três turnos.

Os dados foram tratados nos softwares EXCEL, MINITAB e GEMS. A maioria dos dados foram analisados através de histogramas e observados os dados estatísticos como: comportamento normal, média, mediana e quartis. Todas as interações feitas com os dados para visualizar questão específicas foram comentadas.

4.1.1 Disponibilidade física

É o indicador que demonstra quanto tempo o equipamento esteve disponível para trabalhar durante um determinado intervalo de tempo. É dado pela form. (5).

$$DF = \frac{HN-HM}{HN} \quad (5)$$

Onde,

DF= disponibilidade física

HN= hora nominal

HM= hora de manutenção

Quando a equipe de manutenção envia ao planejamento a disponibilidade física dos equipamentos dimensionada para o mês é considerado o planejamento mensal. Após isso a manutenção detalha as previsões de parada e retorno dos equipamentos no plano semanal.

4.1.2 Utilização física

A utilização física é o indicador que demonstra quanto tempo o equipamento trabalhou do tempo que esteve disponível, e é dada pela seguinte form. (6):

$$UF = \frac{HT}{HN-HM} \quad (6)$$

Onde,

UF= utilização física

HN= hora nominal

HM= hora de manutenção

HT= hora de trabalhada

Nesse trabalho busca-se a definição de um indicador de utilização física no qual possam ser excluídas as interferências previsíveis e calculada uma nova utilização física que possa ser contemplada no planejamento turno a turno.

4.1.3 Produtividade

A form. (7) descreve a produtividade dos equipamentos.

$$P = \frac{\text{produção}}{HT} \quad (7)$$

Onde,

P = produtividade

HT = hora trabalhada

Nesse trabalho também se busca a determinação de um indicador de produtividade que possa ser calculado para o planejamento turno a turno, considerando as influências que podem ser previsíveis para esse indicador.

4.1.4 Estimativa da produção turno a turno

Após a definição dos indicadores de DF, UF e produtividade pode-se então calcular a produção do turno que é definida pela form. (8), tendo assim mais um indicador:

$$Produção = DF_{CAL} \times UF_{CAL} \times P_{CAL} \times H \quad (8)$$

Onde,

DF_{CAL} = DF calculada com os dados estatísticos do despacho

UF_{CAL} = UF calculada com os dados estatísticos do despacho

P_{CAL} = produtividade calculada com os dados estatísticos do despacho

H = duração do turno

Para as frotas de perfuração e sistema carregamento-transporte essa fórmula sofre pequenas alterações como será demonstrado no próximo Capítulo 6.

5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A metodologia foi aplicada na Mina do Sossego. Nesse item, são apresentados, além da localização da área, os aspectos geológicos locais relevantes, bem como a descrição de aspectos gerais da mina, úteis para o planejamento de lavra. Essa abordagem se faz necessária porque a metodologia do Line-Up é mais aplicada em minas com a mesma característica que a Mina do Sossego, a qual possui uma relação estéril minério alta, e requer um planejamento muito refinado a respeito das frentes de lavra, sempre objetivo a liberação de minério e a manutenção da relação estéril minério.

Vale ressaltar que dentre todas as características da mina do Sossego a que mais se destaca é a alta relação estéril minério, e as características do corpo mineral que se encontra em veios de sulfetado de cobre. Essa característica é a fomentadora da necessidade de um planejamento tão detalhado no plano diário como é a metodologia Line-Up. No dia-a-dia as liberações de polígonos de estéril e minério estão muito próximas e interdependentes, por esse motivo e para não faltar minério com a qualidade requerida na alimentação da planta se faz necessário um acompanhamento de planejamento diário muito detalhado e eficiente.

5.1 LOCALIZAÇÃO

A Mina do Sossego está localizada no sudeste do estado do Pará, a 20 km da sede do município de Canaã dos Carajás (PA) e encontra-se inserida no contexto da Província Mineral de Carajás, Figura 8.

O acesso principal à mina, partindo-se de Marabá (PA) ou Carajás (PA), é feito através de rodovias estaduais pavimentadas PA-150 e PA-275, até a cidade de Parauapebas (PA). A partir daí toma-se a rodovia estadual pavimentada, PA-160, em um percurso aproximado de 83 km, atravessando vilas e sedes das fazendas da região.

Figura 8 - Localização da Mina do Sossego na Província Mineral de Carajás

Fonte: Vale⁶ (2016)

Ao redor da Mina do Sossego, em um raio de até 5 km, existem alvos de pesquisa em diversos níveis de desenvolvimento e se viáveis, irão compartilhar a unidade de concentração existente nesta mina. Como mostrado na Figura 8, o Projeto 118 e os alvos das áreas chamadas Serra Dourada (Visconde, Bacaba e Bacuri) e Sapucaia (Jatobá e Castanha) estão sendo planejados de modo a lavar e enviar para a usina de beneficiamento do Sossego os minérios sulfetados provenientes, aumentando a vida útil do projeto e confirmando sua posição de “Complexo Mineiro”. Sob esse aspecto, a aplicação e desenvolvimento da abordagem multi-mine torna-se bastante interessante e promissora, no sentido de proporcionar um planejamento de lavra integrado, avaliando todas essas futuras minas simultaneamente. Neste cenário de expansão a programação diária ganhará mais relevância e complexidade.

5.2 GEOLOGIA DO DEPÓSITO

⁶ VALE. Mina do Sossego: relatório bianual de lavra 2017 – 2018. Planejamento, Processo e Qualidade do Sossego da Vale, Pará, 2016. Não publicado.

A geologia do complexo do Sossego caracteriza-se regionalmente pela abundância de rochas intrusivas, dentre elas, granitos alcalinos e granófiros de granulação fina, gabros e dioritos. Na área ocorrem diversas alterações hidrotermais, resultando em alterações nas características dos protolitos, gerando assim litologias com características geoquímicas diferentes. As alterações mais importantes são caracterizadas por albita, biotita, actinolita, carbonato, epídoto e escapolita, junto à magnetita em abundância formam um envelope quase contínuo circundando a mineralização de cobre-ouro do Sossego. Na Figura 9 é apresentado o mapa geológico da Mina do Sossego feito pela equipe de geológica da VALE.

Figura 9 - Mapa geológico da mina do Sossego

Fonte: Vale⁷ (2016)

A mineralização caracteriza-se por forte controle estrutural no posicionamento dos corpos de minério, estão contidos nas bordas e núcleos de espessos pacotes de

⁷ VALE. Relatório anual. Vale S.A. Rio de Janeiro, 2016. Não publicado.

brechas hidrotermais. O evento magmático gerador dos depósitos está, provavelmente, relacionado à colocação dos corpos graníticos subvulcânicos mais tardios, com os quais a mineralização está intimamente associada.

5.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINA DO SOSSEGO

A Mina do Sossego possui, conforme o relatório 20F⁸ 2017, dois corpos principais de minério de cobre, Sossego e Sequeirinho, e uma planta de processamento para concentrar o minério. A produção começou em 2004 e tem uma capacidade nominal de 100.000 toneladas por ano (tpa) de cobre em concentrados. O minério de cobre é minerado pelo método a céu aberto. A usina é composta de britagem primária, moagem SAG⁹, moagem com bolas, flotação de cobre em concentrado, descarte de resíduos, espessador de concentrado, filtragem e descarga, conforme Figura 10.

Figura 10 - Descrição das etapas de beneficiamento na usina do Sossego

Fonte: Vale⁷ (2016)

⁸ Relatório padronizado pela Securities and Exchange Commission que deve ser apresentado anualmente por todas as empresas estrangeiras com ações negociadas nas bolsas de valores nos EUA

⁹ um moinho semi-autógeno que utiliza um grande tambor rotativo cheio de minério, água e esferas tritadoras de aço que transformam o minério em uma pasta fina

No caso do Sequeirinho (Figura 11), a zona mineralizada estende-se por aproximadamente 2.000 metros ao longo da direção E-W, e com mineralização mais fraca por outros 1.000 metros para oeste (Setor Pista) e constitui uma brecha sulfetada associada a corpos de actinolítico, que se desenvolveram a partir de rochas máficas e, em menor escala, graníticas. Esta jazida está situada a cerca de 700 metros oeste/sudoeste do Morro do Sossego.

Figura 11 - Cava da Mina do Sossego: Sequeirinho

Fonte: Arquivo pessoal

Por sua vez, a jazida do Sossego faz parte de uma grande estrutura circular, com cerca de 600 metros de diâmetro, cujo núcleo é formado por granito rosado a cinza escuro. A mineralização ocorre em três zonas: a Brecha do Sossego, aproximadamente circular, com 200 metros de diâmetro, na porção norte da área mineralizada; a Brecha Curral, alongada com 80m por 400m, ao sul; e a Zona Venulada, que é formada por veios irregulares situados entre as brechas Curral e Sossego. A cava do Sossego é menor, porém possui minério com melhores teores (Figura 12).

Figura 12 - Cava da Mina do Sossego: Sossego

Fonte: Arquivo pessoal

A lavra na mina do Sossego se dá pela aplicação das operações de perfuração e desmonte, carregamento e transporte com caminhões fora-de-estrada, além do apoio de equipamentos auxiliares destinados a manutenção das frentes de lavra, acesso e depósitos.

A experiência da VALE nestes tipos de operações indica a conveniência de uso de escavadeira hidráulicas nos materiais saprolíticos, combinando escavadeiras a cabo e pás carregadeiras na lavra de materiais mais competentes.

Os equipamentos de perfuração foram selecionados de acordo com as geometrias da lavra, com o ritmo de produção requerido.

Os equipamentos auxiliares utilizados na manutenção das frentes de lavra, acesso e depósitos de estéril e de estocagem de minério são compostos de tratores de esteira e de pneus, moto niveladoras, retroescavadeiras, pás carregadeiras, caminhões pipa e caminhões rodoviários.

Considerando as características geológicas, morfológicas e geotécnicas dos depósitos, bem como a escala de produção requerida, relação estéril/minério e

parâmetros de ordem econômica, foi selecionado o método de lavra a céu aberto, com a utilização de equipamentos convencionais de grande porte. A seleção do método de lavra em bancos a céu aberto considerou, principalmente, a distribuição espacial do minério e do estéril e a variabilidade de teores, que implicam na necessidade de várias frentes de lavra, e na adoção de equipamentos dotados de grande mobilidade, de modo a permitir a realização do “blending” adequado, que permita alimentar a unidade de concentração segundo as especificações requeridas.

A Figura 13 ilustra o esquema atual de movimentação da mina, destacando o envio de minério ao britador primário, para pilhas temporárias de minérios de baixo (0,3-0,8% Cu), médio (0,8-2,0% Cu) e alto teor (>2,0% Cu), para depósitos de minério oxidado e de material para os depósitos de estéril, oriundos das duas cavas em operação.

5.4 PLANEJAMENTO DE LAVRA NA MINA DO SOSSEGO

O planejamento da Mina do Sossego se divide em: estratégico, longo prazo e curto prazo. A periodicidade de atualização do plano anual de lavra deve ser semestral e detalhado mensalmente, garantindo que todas as informações necessárias estejam devidamente atualizadas para elaboração e revisão do mesmo e que o produto obtido esteja disponível para todas as áreas de negócios do cobre. Na Figura 14 é ilustrado o ciclo de planejamento anual e a interface entre as áreas.

O planejamento de curto prazo é dividido em “curto prazo” e “curtíssimo prazo”. No curto prazo são considerados cenários semestrais e mensal. No curtíssimo prazo o horizonte observado é bem menor sendo considerado o plano semanal e o diário (Line-Up). Na Mina do Sossego também faz parte também do planejamento de curto prazo o planejamento das pilhas de minério e estéril e a área de criação de projetos dentro e fora da cava.

Figura 14 - Fluxo de atividades do ciclo de planejamento anual

Fonte: Vale⁷ (2016)

6 RESULTADOS

Os indicadores operacionais para programação diária são diferentes dos indicadores mensais e semanais programados, e por esse motivo precisam ser analisados de forma diferente.

Neste capítulo é apresentada a avaliação de dados reais turno a turno da Mina do Sossego do período de janeiro a abril de 2017, utilizando a metodologia desenvolvida no trabalho.

6.1 INDICADORES ANALISADOS

Conforme descrito na metodologia foram coletados os dados que compõem os indicadores de UF, DF e produtividade dos equipamentos.

Estes indicadores serão utilizados para:

- Estimativa da quantidade de furos que serão perfurados turno a turno;
- Estimativa da movimentação da mina por frente de lavra/retomada de pilha;
- Validação da aderência do Line-Up.

6.2 PERFURAÇÃO

Para estimativa da produção de perfuração foram considerados os indicadores de DF, UF e produtividade, cada um com a tratativa pertinente ao indicador, conforme descrito nos próximos itens.

6.2.1 DF - Perfuração

Na Tabela 2 são apresentados os dados de DF programada e realizada no plano mensal de janeiro a abril de 2017 para a frota de perfuração.

Tabela 2 - Disponibilidade física da frota de perfuração

EQUIPAMENTO	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	PF6	PF7	PF8	PF9
JAN PROGRAMADO	42%	42%	42%	48%	48%	48%	55%	55%	55%
JAN REALIZADO	49%	74%	38%	66%	58%	0%	29%	49%	1%
FEV PROGRAMADO	54%	54%	54%	46%	46%	46%	53%	53%	53%
FEV REALIZADO	45%	47%	58%	35%	29%	30%	44%	53%	0%
MAR PROGRAMADO	34%	34%	34%	53%	53%	53%	50%	50%	50%
MAR REALIZADO	50%	63%	47%	0%	58%	65%	12%	51%	12%
ABR PROGRAMADO	42%	42%	42%	49%	49%	49%	48%	48%	48%
ABR REALIZADO	47%	44%	59%	35%	55%	55%	0%	35%	38%

Fonte: Arquivo pessoal

Durante esse trabalho foi constatado que, para planejamento diário turno a turno, quando um equipamento da frota de perfuração está em manutenção preventiva (manutenção já contemplada no plano) ou corretiva que perdure por mais de um turno a DF é zero naqueles determinados turnos, e se repete por vários turnos conforme a programação da manutenção, por exemplo, 5 dias de manutenção serão vários turnos (15 turnos no caso da Mina do Sossego) com DF igual a zero. Quando a DF não é zero, a mesma tem um valor relativamente alto, bem mais alto do que a média do mês (ver Tabela 2), e é essa DF que deve ser considerada para programação do Line-Up. Sugere-se então que para programação turno a turno sejam utilizados os valores da mediana desses turnos (diferentes de zero) para cada equipamento. A mediana foi escolhida por eliminar a influência dos valores *outliers*.

Na Tabela 3 e APÊNDICE A é exibido a análise estatística da DF da frota de perfuração excluindo todos os turnos que apresentaram valores de DF igual a zero.

A mediana apresenta valores que variam entre 49% e 86%. Vale destacar o comportamento diferenciado das perfuratrizes PF7, PF8 e PF9, que são perfuratrizes de pequeno porte e na Mina do Sossego possuem baixa confiabilidade.

Tabela 3 - Resultados estatísticos da DF da frota de perfuração

Equipamento	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
PF1	0,657	0,312	0,097	0,008	0,393	0,717	0,967
PF2	0,725	0,297	0,088	0,020	0,530	0,843	1,000
PF3	0,661	0,302	0,091	0,002	0,470	0,720	0,935
PF4	0,640	0,332	0,110	0,002	0,360	0,735	0,975
PF5	0,727	0,295	0,087	0,008	0,523	0,863	0,973
PF6	0,710	0,286	0,082	0,000	0,519	0,810	0,960
PF7	0,529	0,331	0,110	0,001	0,202	0,487	0,841
PF8	0,688	0,298	0,089	0,003	0,478	0,762	0,968
PF9	0,521	0,311	0,097	0,003	0,215	0,586	0,785

Fonte: Arquivo pessoal

Observa-se que existe uma distinção muito grande da DF entre os equipamentos de perfuração. Além disso o tempo de manutenção corretiva desses equipamentos é bem acentuado. Porém isso não elimina a alternativa de extração desses dados do banco de dados do Despacho, com cuidado na definição do intervalo de tempo que será configurado para trazer a informação que se necessita.

6.2.2 UF - Perfuração

Com relação a utilização física de perfuração os principais motivos de horas improdutivas que podem ser previstos no dia anterior, momento de fazer o planejamento diário, são os atrasos operacionais ligados ao desmonte de rocha e à grandes locomoções. Portanto, para tratamento dos dados de utilização física de perfuração foram retirados os tempos de horas improdutivas associados a esses dois fatores e calculada nova utilização física. As razões de parada dos equipamentos no sistema de Despacho são representadas por códigos, e os códigos que estão associados ao desmonte e locomoções são: aguardando detonação, locomoção detonação saída, manobra de cabo, locomoção detonação retorno, manobra de cabo detonação saída, manobra de cabo detonação retorno, locomoção plano de fogo (> 20 minutos) e locomoção (> 20 minutos).

Na Tabela 4 e

APÊNDICE B, segue o resultado dos dados estatísticos para utilização física da frota de perfuração após tratamento.

Tabela 4 - Resultados estatísticos da UF da frota de perfuração

Equipamento	Média	Desvio Padrão	Variância	Q1	Mediana	Q3
PF1	0.807	0.205	0.042	0.733	0.880	0.947
PF2	0.837	0.188	0.035	0.808	0.899	0.948
PF3	0.842	0.163	0.027	0.797	0.893	0.950
PF4	0.857	0.198	0.039	0.854	0.927	0.963
PF5	0.891	0.152	0.023	0.873	0.942	0.971
PF6	0.898	0.150	0.022	0.907	0.943	0.970
PF7	0.760	0.231	0.053	0.692	0.833	0.914
PF8	0.800	0.197	0.039	0.727	0.867	0.935
PF9	0.839	0.162	0.026	0.778	0.875	0.962

Fonte: Arquivo pessoal

Existem três grupos de comportamento que podem ser observados:

- PF1 à PF3: perfuratrizes à diesel, tem um claro impacto com relação a utilização física em função dos abastecimentos. Importante ressaltar que o impacto de locomoção foi neutralizado, caso deseje comparar com o grupo de perfuratrizes PF4, PF5 e PF6.
- PF4 à PF6: perfuratrizes elétricas, não precisam de abastecimento. Caso se deseje comparar com o grupo de perfuratrizes PF1, PF2 e PF3 é importante ressaltar que o impacto de locomoção foi neutralizado, já que para análise de utilização física foi retirado o tempo de grandes locomoções, visto que a principal diferença entre esses equipamentos (elétricos e diesel) é a questão de mobilidade.
- PF7 à PF9: perfuratrizes de pequeno diâmetro, com atividades voltadas para perfuração de pré-corte, passam muito tempo aguardando definição de frente de lavra.

Para estimativa do planejamento turno a turno, sugere-se o uso da mediada na utilização física após tratamento, o intervalo de tempo de observação deve ser flexível de configuração para adequação as necessidades que se façam pertinentes.

6.2.3 Produtividade de perfuração

A produtividade de perfuração pode ser estimada através da análise dos dados do BD do Despacho. De lá é possível extrair as informações por equipamento, litologia, polígono perfurado, cota do banco, taxa de perfuração, metro perfurado por furo, coordenada geográfica, entre outros parâmetros.

Durante a execução do planejamento diário, o engenheiro de planejamento é conhecedor dos polígonos e litologia dos polígonos que serão perfurados nos próximos turnos, dessa forma pode estimar a produtividade de perfuração nos próximos turnos baseado nos dados históricos mais recentes.

Na Tabela 5, segue exemplo de produtividade de perfuração na litologia sulfetado alto teor (teor de cobre acima de 0.9). Pode-se observar que para a mesma a mesma litologia cada equipamento apresenta um desempenho diferente e dessa forma fazer uma melhor estimativa da produtividade na hora de planejar.

Tabela 5 - Produtividade de perfuração na litologia sulfetado alto teor

Equipamento	Tempo total de perfuração (horas)	Total Perfurado (m)	Produtividade (m/h)
PF1	1,285	32,500	25
PF2	1,332	39,314	30
PF3	1,206	36,553	30
PF4	836	19,710	24
PF5	1,130	33,939	30
PF6	931	19,685	21
PF7	1,114	10,816	10
PF8	1,378	21,513	16
PF9	389	5,626	14

Fonte: Arquivo pessoal

6.2.4 Estimativa produção das perfuratrizes

Com os novos indicadores calculados é possível estimar o número de furos para cada turno. O cálculo do número de furos se dará pela form. (9):

$$NF = \frac{(DF_{CAL} \times UF_{CAL2} \times P_{CAL} \times H)}{PF} \quad (9)$$

Sendo,

$$UF_{CAL2} = \frac{((UF_{CAL} \times H) - (ID + IL))}{H} \quad (10)$$

Onde,

NF = número de furos

DF_{CAL} = DF calculada com os dados estatísticos do despacho

UF_{CAL2} = UF calculada para o turno contemplando os impactos de locomoção e desmonte

P_{CAL} = produtividade calculada com os dados estatísticos do despacho

H = duração do turno

PF = profundidade do furo

UF_{CAL} = UF calculada com os dados estatísticos do despacho

ID = tempo de impacto de desmonte

IL = tempo de impacto de locomoção

Dessa forma se reduz o tempo de estimativa da produção (número de furos) para o turno e aumenta a assertividade.

O preenchimento dos dados ficará como na Figura 15. Onde as células em cinza serão de preenchimento automático, baseada no intervalo de tempo de observação que foi definido.

Figura 15 - Estimativa da produtividade da perfuração¹⁰

MÉTODO ATUAL		PLANEJAMENTO ATUAL		REALIZADO ATUAL		METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO SUGERIDO		PLANEJAMENTO SUGERIDO							
EQUIPAMENTO	POLÍGONO	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	Nº DE FUROS	STATUS LINE UP	Nº DE FUROS	DESMONTE		LOCOMOÇÃO		DF	UF		QUALIDADE	PRODUTIVIDADE	Nº DE FUROS
						SIM/NÃO	DURAÇÃO DO IMPACTO (H)	SIM/NÃO	DURAÇÃO DO IMPACTO (H)		MEDIANA	CÁLCULO DO IMPACTO			
PF1	A	PERFURAR POLÍGONO DA DIREITA PARA ESQUERDA	7	NÃO CONF	8					72%	88%	88%	S. ALTO TEC	25	8
PF2	B	PERFURAR POLÍGONO E DEIXAR UMA LINHA NO FINAL DO PLANO	7	ADERENTE	11					84%	90%	90%	S. ALTO TEC	30	11
PF3	C	PERFURAR	7	ADERENTE	10					72%	89%	89%	S. ALTO TEC	30	10
PF4	D	PERFURAR E LOCOMOVER AS 10 HORAS DA MANHÃ PARA DESMONTE	5	ADERENTE	5	SIM	1	SIM	2	74%	93%	56%	S. ALTO TEC	24	5
PF5	E	APÓS FINALIZAR PERFURAÇÃO DO POLÍGONO LOCOMOVER DA CAVA DO SOSSEGO PARA CAVA DO SEQUEIRINHO	2	ADERENTE	2			SIM	6	86%	94%	19%	S. ALTO TEC	30	2
PF6	F	PERFURAR	7	NÃO ADER	8					81%	94%	94%	S. ALTO TEC	21	8
PF7	G	PERFURAR	7	NÃO CONF	2	TODOS OS DADOS EM CINZA VIRÃO DO SISTEMA DE DESPACHO DE FORMA AUTOMÁTICA A PARTIR DA CONFIGURAÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO DOS DADOS				49%	83%	83%	S. ALTO TEC	10	2
PF8	H	PERFURAR	7	ADERENTE	5					76%	87%	87%	S. ALTO TEC	16	5
PF9	I	PERFURAR	7	ADERENTE	4					59%	88%	88%	S. ALTO TEC	14	4

CONFIGURAÇÃO DO TEMPO DA OBSERVAÇÃO DOS DADOS HISTÓRICOS

Período de observação para DF

Data Início

Data Fim

01/01/2017

30/04/2017

Período de observação para UF

01/01/2017

30/04/2017

Período de observação para Produtividade

01/01/2017

30/04/2017

Fonte: Arquivo pessoal

¹⁰ A coluna "DF" corresponde à D_{FCAL} , "UF mediana" à UF_{CAL1} , "UF cálculo do impacto" à UF_{CAL2} e "Produtividade" à P_{CAL}

6.3 SISTEMA CARREGAMENTO-TRANSPORTE

O sistema carregamento-transporte é o que define a movimentação que será executada na mina. Essas duas frotas são dependentes e por consequência uma pode limitar o desempenho da outra conforme abordaremos nos próximos tópicos.

6.3.1 DF - Escavadeira

Na Tabela 6 é apresentada a programação e realização da DF dos equipamentos de carregamento de janeiro a abril de 2017. Porém quando observado no horizonte do planejamento de curtíssimo prazo (plano diário) não podemos utilizar os mesmos dados, pois a DF turno a turno é diferente.

Durante esse trabalho foi constatado que, da mesma forma como para frota de perfuração, retirando os turnos que apresentaram zero como DF, a mesma tem um valor relativamente alto, muito mais alto do que a média do mês (ver Tabela 7), e é essa DF que deve ser considerada para programação do Line-Up. Na mina do Sossego a mediana da DF de escavação apresentou valores entre 71% e 95%. Ver APÊNDICE C e Tabela 7.

Tabela 6 - DF programada e realizada de janeiro a abril da frota de carregamento

EQUIP AMENTO						
	SC1	ESC2	ESC3	ESC4	ESC5	ESC6
JAN						
PROGRAMADO	70%	36%	66%	75%	67%	73%
JAN REALIZADO	70%	59%	51%	82%	49%	83%
FEV						
PROGRAMADO	60%	0%	69%	71%	59%	58%
FEV REALIZADO	27%	0%	68%	36%	27%	77%
MAR						
PROGRAMADO	60%	0%	68%	84%	65%	77%
MAR REALIZADO	59%	0%	62%	88%	47%	52%
ABR						
PROGRAMADO	51%	32%	61%	66%	60%	70%
ABR REALIZADO	45%	41%	38%	77%	33%	50%

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 7 - Resultados estatísticos da DF da frota de carregamento

Equipamento	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
ESC1	0,798	0,271	0,073	0,004	0,671	0,931	1,000
ESC2	0,827	0,235	0,055	0,061	0,710	0,927	1,000
ESC3	0,726	0,278	0,077	0,022	0,533	0,828	0,971
ESC4	0,841	0,252	0,063	0,012	0,808	0,978	1,000
ESC5	0,635	0,307	0,094	0,007	0,395	0,708	0,919
ESC6	0,793	0,285	0,081	0,013	0,665	0,945	1,000

Fonte: Arquivo pessoal

Nos histogramas podemos observar que a distribuição de uma forma geral é extremamente assimétrica positiva. Dentre os resultados, dois fatores chamam atenção:

- a) Os resultados estatísticos das escavadeiras ESC3 e ESC5, com valores de mediana bem abaixo das outras escavadeiras.

Isso ocorre porque esses equipamentos tiveram muito tempo de paradas por manutenção corretiva. Na Tabela 8 podemos observar que para essas escavadeiras a proporção do tempo de manutenção corretiva com relação ao tempo total de manutenção é muito grande. Caso não tivesse ocorrido tantas intervenções por manutenção corretiva nesses equipamentos as DF das escavadeiras ESC3 e ESC5, teria sido respectivamente de 97% e 90%.

- b) O primeiro quartil apresenta valores muito baixos.

Isso ocorre por causa das intervenções por manutenções corretivas pequenas que ocorrem em todos os equipamentos no dia-a-dia.

Tabela 8 - Distinção da duração do tempo entre manutenção corretiva ou não corretiva

	ESC1	ESC2	ESC3	ESC4	ESC5	ESC6
MANUT. CORRET. (H)	797:49:06	214:52:42	1204:46:15	559:39:09	1462:39:49	833:06:08
MANUT. N CORRET. (H)	614:53:26	1931:48:22	94:37:53	259:13:23	279:49:43	163:39:12
MANUNT. TOTAL (H)	1412:42:32	2146:41:04	1299:24:08	818:52:32	1742:29:32	996:45:20
HORA TRAB. (H)	865:28:16	539:45:48	1208:42:49	1584:52:00	866:40:41	1133:38:04
HORA IMPRODUT (H)	601:49:12	193:33:08	371:53:03	476:15:28	270:49:47	749:36:36
TOTAL (H)	2880:00:00	2880:00:00	2880:00:00	2880:00:00	2880:00:00	2880:00:00
DF REAL	51%	25%	55%	72%	39%	65%
DF SEM CORRET.	79%	33%	97%	91%	90%	94%

DIFERENÇA	28%	7%	42%	19%	51%	29%
-----------	-----	----	-----	-----	-----	-----

Fonte: Arquivo pessoal

6.3.2 DF - Transporte

No caso da frota de transporte não é necessário que seja feita avaliação individualmente, pois é a frota com maior quantidade de equipamentos. Na Tabela 9, são apresentados os dados estatísticos dessa frota, a partir dos dados de DF turno a turno de janeiro a abril de 2017, não houve nenhum tipo de tratamento de dado. Sugere-se a utilização da mediana, e o intervalo de tempo de observação deve ser configurado de acordo com a necessidade. No APÊNDICE C está exibido o histograma.

Tabela 9 - Resultados estatísticos da DF da frota de transporte

Equipamento	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Frota de Transporte	0,604	0,047	0,003	0,463	0,568	0,603	0,636

Fonte: Arquivo pessoal

6.3.3 Utilização física sistema carregamento-transporte

Faz-se necessário chamar atenção para uma relação de dependência que existe entre as frotas de carregamento e transporte. Visto que a capacidade produtiva das mesmas precisa estar sincronizada. Quando existe uma capacidade maior da frota de carregamento do que da frota de transporte, então o limitante está na frota de transporte e utiliza-se a menor distância média de transporte (DMT) para conseguir o melhor resultado de produção. Quando a capacidade de transporte é maior do que a capacidade de carregamento então o limitante está na frota de carregamento e deve ser avaliada a necessidade de se desenvolver depósitos com uma DMT maior, para reduzir as perdas operacionais e não gerar fila nas escavadeiras.

Veja nos Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4 abaixo a relação de limitantes entre as frotas de carregamento e transporte de janeiro a abril.

Gráfico 1 - Limitante de produção no mês de janeiro de 2017

Fonte: Arquivo pessoal

Gráfico 2 - Limitante de produção no mês de fevereiro de 2017

Fonte: Arquivo pessoal

Gráfico 3 - Limitante de produção no mês de março de 2017

Fonte: Arquivo pessoal

Gráfico 4 - Limitante de produção no mês de abril de 2017

Fonte: Arquivo pessoal

Observa-se que, nos meses que o limitante foi carregamento, a movimentação total da mina foi mais baixa, pois quando não há capacidade de carregamento fica sem alternativa nenhuma, diferente de quando a capacidade de transporte está reduzida, momento no qual são utilizadas as DMT menores.

É importante o entendimento dessa relação pois o resultado dela influência na UF das duas frotas da seguinte forma:

- Capacidade de carregamento > capacidade de transporte → haverá escavadeiras paradas por falta de equipamento de transporte, impacto negativo na UF de carregamento. Conforme Figura 16.

Figura 16 - Capacidade de carregamento acima da capacidade de transporte

Fonte: Arquivo pessoal

- Capacidade de transporte > capacidade de carregamento → será utilizada DMT maior desde que seja necessário desenvolver depósitos mais distantes, caso contrário teremos caminhões parados por falta de equipamento de carregamento, impacto negativo da UF de transporte. Ver Figura 17.

Figura 17 - Capacidade de transporte acima da capacidade de carregamento

Fonte: Arquivo pessoal

Com relação a utilização física de carregamento os principais motivos de horas improdutivas que podem ser previstos no dia anterior, momento de fazer o planejamento diário, são os atrasos operacionais ligados ao desmonte de rocha e à grandes locomoções. Portanto, para tratamento dos dados de utilização física de perfuração foram retirados os tempos de horas improdutivas associados a esses dois fatores e calculada nova utilização física. Esses códigos são: aguardando detonação, locomoção detonação saída, manobra de cabo, locomoção detonação retorno, manobra de cabo detonação saída, manobra de cabo detonação retorno, locomoção plano de fogo (> 20 minutos) e locomoção (> 20 minutos).

Para a utilização física de transporte não foi feito esse tratamento, pois os equipamentos têm alta mobilidade e podem ser destinados à outras frente no momento do desmonte.

Abaixo, na Tabela 10 segue os dados estatísticos de UF das frotas de carregamento e transporte. No APÊNDICE D podem ser visualizados os histogramas.

Tabela 10 - Resultados estatísticos da UF das frotas de carregamento e transporte

Equipamento	Média	Desvio Padrão	Variância	Q1	Mediana	Q3
ESC1	0.710	0.204	0.042	0.622	0.777	0.850
ESC2	0.829	0.177	0.031	0.804	0.877	0.920
ESC3	0.818	0.151	0.023	0.795	0.858	0.893
ESC4	0.787	0.181	0.033	0.722	0.844	0.907
ESC5	0.794	0.188	0.035	0.699	0.860	0.926
ESC6	0.718	0.242	0.058	0.620	0.803	0.883
TRANSPORTE	0,752	0,140	0,020	0,670	0,801	0,857

Fonte: Arquivo pessoal

Fica sugerido então a utilização da mediana da UF de carregamento e transporte de um período pré-estabelecido, conforme avaliação da necessidade.

Para transporte fica sugerido a utilização da média.

6.3.4 Produtividade - transporte

A produtividade de transporte apesar de ser um dos indicadores mais complexos ainda podemos utilizar os dados históricos do BD para melhor assertividade no planejamento.

Primeiramente é necessário entender todos os componentes envolvidos no cálculo de produtividade de transporte, através da quebra no menor valor que pode ser extraído do BD.

Na Figura 18 é exibido todas as etapas do ciclo de transporte.

Figura 18 - Ciclo de transporte

Fonte: Arquivo pessoal

As categorias de tempo são divididas em tempos fixos e variáveis. Como tempos variáveis há: fila para bascular, fila para carregar e tempo de transporte. O tempo de transporte na mina do Sossego é responsável por 63% do tempo total do ciclo e ele é, basicamente, em função da DMT, pois não há variação grande na velocidade.

Então, para fazer uso da produtividade que se espera alcançar no dia seguinte o indicador mais importante que precisa ser variado é a DMT, para todos os outros dados pode ser utilizado, por exemplo, o dado histórico do dia ou da semana anterior. Sendo assim a produtividade de transporte precisar ser fragmentada até

que se possa utilizar a DMT para simular o dia seguinte, visto que o planejamento pode fornecer esse dado. Ou seja, é necessário obter a DMT de um único ciclo.

Quando se pretende avaliar um único ciclo, a produção é dada pelo valor da carga média da viagem de uma determinada frota de transporte.

A carga média, conforme tratado por Campelo (2017), é um parâmetro que precisa ser avaliado em cada mina, pois cada mina têm uma metodologia de definição e controle das cargas médias.

Para o cálculo das horas trabalhadas precisa-se obter a média de todos os que constituem o ciclo e são esses: viagem vazio, fila para carregar, manobra para carregar, carregamento, viagem cheio, fila para bascular, manobra para bascular e basculamento. Conforme esquema da Figura 19.

Figura 19 - Unidades de tempo que compõem a hora trabalhada do ciclo de transporte

Fonte: Arquivo pessoal

Para os tempos de viagem vazio e viagem cheio, apesar de poder obtê-los diretamente do BD do despacho não serão obtidos dessa forma, pois o que se deseja é a simulação deles para o planejamento do dia seguinte, e eles irão variar em função da DMT. Ou seja, serão utilizados os tempos de viagem cheio e vazio juntamente com as DMT de dias anteriores (BD) para calcular a velocidade média. De posse da velocidade média e DMT do dia seguinte (planejamento do Line-Up

para o dia seguinte) pode-se obter os tempos de viagem cheio e vazio simulados para o dia seguinte.

A DMT por sua vez pode ser extraída do software de planejamento utilizado, no caso da mina do Sossego é o GEMS. Ver exemplo na Figura 20.

Figura 20 - DMT das frentes de lavra para os pontos de basculamento em um cenário mensal

Fonte: Arquivo pessoal

De forma simplificada o cálculo é como na Figura 21.

Figura 21 - Esquema para cálculo de produtividade partir de dados do BD do despacho

Fonte: Arquivo pessoal

6.3.5 Produtividade de carregamento

É possível extrair do banco de dados do sistema de despacho a produtividade de escavação estratificada por litologia (qualidade), data e equipamento.

Para estimar a produtividade turno a turno do dia seguinte sugere-se observar o histórico mais recente daquele equipamento, por exemplo, a produtividade executada no dia anterior. Se a escavadeira for mudar de litologia, pode-se observar a produtividade na litologia em questão, por exemplo, se a ESC1 estava lavrando no granito e vai mudar para o saprolito, pode ser observado a produtividade que se equipamento já executou quando lavrando nessa litologia.

As possibilidades de customização devem estar disponíveis para o momento do planejamento, ou seja, deve estar disponível a produtividade estratificada por litologia do material e período de observação.

Na Tabela 11 é apresentada a produtividade de escavadeira por litologia no período de janeiro à abril de 2017 e na Tabela 12 é apresentada a produtividade por escavadeira por dia no mês de abril de 2017 e

Tabela 11 - Produtividade por escavadeira por litologia de janeiro a abril de 2017

LITOLOGIA	ESC1 (t/h)	ESC2 (t/h)	ESC3 (t/h)	ESC4 (t/h)	ESC5 (t/h)	ESC6 (t/h)
Granito	4725	3909	3889	904	2206	1841
Saprolito	4236					
Sulfetado AT	3881	3883	3639	1073	1910	1470
Sulfetado BT	3683	4770	5513	892	2190	1256
Sulfetado SAT				1146	1766	

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 12 - Produtividade por escavadeira por dia no mês de abril de 2017

DIA	ESC1 (t/h)	ESC2 (t/h)	ESC3 (t/h)	ESC4 (t/h)	ESC5 (t/h)	ESC6 (t/h)
1	4274		3083	1135	1294	1535
2	4464		3718	922		1637
3	5469		2716	1178		1658
4	5163		2073	1426		1505
5	6471		2480	1329		1787
6	3367		3703	1381		1492
7			3768	1160		1736
8			3930	1218	1639	1750
9			4018	1103	1994	
10			4567	1302	1653	
11			4137	1096		
12			4369	1311	1443	1813
13			4988	1231		2145
14				1232		
15		4291		922	2083	
16		4472		884	1864	1643
17		4011		536	1796	1538
18		4108		917	1558	1642
19		4085		1093	2111	1739
20	4455	3724		741		1484
21	4311	3404		976	2764	1865
22	4105	4294		1130	1999	1803
23	5926	4971		965	2361	
24	4677	4458		1030	2165	1469
25	4477	4597		414	1369	1378
26	4887	3491	3705	968	1479	1458
27	3816	4008	3566	1012	2136	1414
28	4872	3816	4621	1025	1793	1160
29	5325	4751	4115	813	1617	
30	3707	4589	3945	793	1712	972

Fonte: Arquivo pessoal

6.3.6 Estimativa de movimentação turno a turno

Com os novos indicadores calculados é possível estimar a movimentação de material para cada turno de acordo com a form. (11):

$$M = (DF_{CAL} \times UF_{CAL} \times P_{CAL} \times H) \quad (11)$$

Onde,

M	= movimentação
DF_{CAL}	= DF calculada com os dados estatísticos do despacho
P_{CAL}	= produtividade calculada com os dados estatísticos do despacho
H	= duração do turno
UF_{CAL}	= UF calculada com os dados estatísticos do despacho
ID	= tempo de impacto de desmonte
IL	= tempo de impacto de locomoção

Dessa forma se reduz o tempo de estimativa da produção para o turno e aumenta a assertividade.

O preenchimento dos dados ficará como na Figura 22. Onde as células em cinza serão de preenchimento automático, baseada no intervalo de tempo de observação que foi definido.

Como já foi falado anteriormente, diferente da perfuração, o sistema carregamento-transporte tem uma relação de dependência, tudo que é carregado é transportado. A movimentação total é conferida no transporte, pois é nessa operação unitária que o sistema de Despacho mede a produção, através da massa registrada na balança dos caminhões.

Portanto, quando estiver sendo feita a programação diária turno a turno para o sistema carregamento-transporte deve-se atentar para que tenham capacidades compatíveis, ou seja, o resultado dos indicadores deve gerar o mesmo valor de movimentação. Se, por exemplo, metade da frota de carregamento estiver em manutenção corretiva prolongada, ou seja, com DF igual a zero obrigatoriamente deve-se alterar os indicadores de transporte, parando caminhões em manutenção, como janela de oportunidade, ou aumentando a DMT caso haja necessidade de desenvolvimento de depósitos mais longos, se nenhuma dessas opções estiver disponível, então, haverá impacto na UF de transporte, com caminhões parados por falta de equipamento de carregamento.

Atualmente este processo é realizado com base na experiência do programador do Line-Up e de negociação com o supervisor de produção, por exemplo pode ser colocada uma UF menor de carregamento, caso falte caminhões.

Figura 22 - Estimativa da produtividade do sistema carregamento-transporte¹¹

MÉTODO ATUAL		PLANEJAMENTO ATUAL		REALIZADO ATUAL		MÉTODOLOGIA DE PLANEJAMENTO SUGERIDA																	PLANEJAMENTO SUGERIDO						REALIZADO CONFERIDO PELO DESPACHO					
EQUIPAMENTO	PRIORIDADE	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	MOVIMENTAÇÃO PRODUÇÃO	STATUS LINE UP	MOVIMENTAÇÃO PRODUÇÃO	DESMONTE		LOCOMOÇÃO		DF	UF		DMT (KM)	LITOLOGIA	PRODUTIVIDADE	MOVIMENTAÇÃO PRODUÇÃO	OCIOSIDADE	STATUS LINE UP	DF	UF	PRODUTIVIDADE	MOVIMENTAÇÃO PRODUÇÃO												
						SIM/NÃO	DURAÇÃO DO IMPACTO (H)	SIM/NÃO	DURAÇÃO DO IMPACTO (H)		MEDIANA	CÁLCULO DO IMPACTO																						
TRANSPORTE		TRANSPORTAR	90000		72000					60%	80%		3.40		520	85,862.40						85742												
ESC1	1	LAVRAR POLÍGONO A	30000	ADERENTE	5000					93%	78%	78%		SELECIONAR	4100	23,793.12	6.28	ADERENTE	93%	76%	4098	23172												
ESC2	2	LAVRAR NA OIHA CONFORME ORIENTAÇÃO DA GEOLOGIA	20000	ADERENTE	35000	SIM		4	SIM	1	93%	88%	26%		SELECIONAR	4000	26,188.80	0.78	ADERENTE	93%	88%	4101	26850											
ESC3	3	LAVRAR CONFECCIONANDO RAMPA OPERACIONAL	20000	ADERENTE	15000					83%	86%	86%		SELECIONAR	4000	22,841.60	0.38	ADERENTE	87%	86%	3979	23817												
ESC4	4	LAVRAR POLÍGONO B	7000	ADERENTE	6500	TODOS OS DADOS EM CINZA VIRÃO DO SISTEMA DE DESPACHO DE FORMA AUTOMÁTICA A PARTIR DA CONFIGURAÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO DOS DADOS E SELEÇÃO DA LITOLOGIA DO MATERIAL				98%	85%	85%		SELECIONAR	900	5,997.60	1.13	ADERENTE	98%	83%	788	5128												
ESC5	5	APÓS DESMONTE LAVRAR POLÍGONO C	5000	ADERENTE	4500					71%	86%	86%		SELECIONAR	600	2,930.88	2.60	ADERENTE	72%	82%	650	3070												
ESC6	6	LAVRAR POLÍGONO D	8000	ADERENTE	6000					95%	80%	80%		SELECIONAR	600	3,648.00	2.33	ADERENTE	94%	82%	601	3706												

CONFIGURAÇÕES DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO DOS DADOS HISTÓRICOS

	Data Início	Data Fim
Período de observação para DF	01/01/2017	30/04/2017
Período de observação para UF	01/01/2017	30/04/2017
Período de observação para Product	01/01/2017	30/04/2017

Fonte: Arquivo pessoal

¹¹ A coluna “DF” corresponde à D_{FCAL} , “UF mediana” à UF_{CAL1} , “UF cálculo do impacto” à UF_{CAL2} e “Produtividade” à P_{CAL}

6.4 CÁLCULO DE ADERÊNCIA AO LINE-UP

Para o cálculo da aderência ao Line-Up é sugerido que o mesmo se faça baseado na produção realizada utilizando os mesmos indicadores que foram retirados do sistema de Despacho para compor a programação, porém agora comparando com o realizado do turno em questão.

Serão contemplados no plano tanto a produção/movimentação quanto a qualidade da atividade executada, cada um sendo representado pelo índice de cumprimento (IC) e índice de aderência (IA), respectivamente, dados pela form. (12) e form. (13).

$$IC = \frac{\sum PR_R}{\sum PR_P} \quad (12)$$

$$IA = \frac{(PR_{P1} \times V) + (PR_{P2} \times V) + \dots + (PR_{Pn} \times V)}{(PR_{P1} \times 100) + (PR_{P2} \times 100) + \dots + (PR_{Pn} \times 100)} \quad (13)$$

Onde,

IC = índice de cumprimento

IA = índice de aderência

PR_R = produção total realizada

PR_P = produção total programada

PR_{R1} = produção total realizada equipamento 1

PR_{P1} = produção total programada equipamento 1

PR_{Rn} = produção total realizada equipamento enésimo

PR_{Pn} = produção total programada equipamento enésimo

V = validação do peso do status, o qual pode variar entre 0 (não conforme), 50 (não aderente) e 100 (aderente), detalhado a seguir.

Por fim a aderência ao Line-Up é dada pela form. (14):

$$Aderência = \frac{IA + IC}{2} \quad (14)$$

O indicador IC buscar verificar o cumprimento da produção programada e o IA verifica a qualidade dos serviços executados. O IA é penalizado pelo indicador V: validação do peso do status. Este valor é determinado pelo engenheiro programador do Line-Up e representa:

- Aderente: atividade realizada conforme programação.
- Não aderente: atividade não realizada conforme programação. Por exemplo, não seguir a prioridade de lavra.
- Não conforme: Além de não ter sido respeitada a programação foi feito algo que possa ter prejudicado o plano.

No próximo subitem é mostrado um exemplo aonde o dado de ociosidade indica que a prioridade de lavra não foi seguida, outros dados do despacho como a localização dos equipamentos também podem auxiliar na validação do *status*.

Este método consegue medir impactos que hoje não são medidos no modelo atual, como as não conformidades e a prioridade de lavra dos equipamentos representado pela validação do peso do *status*.

6.4.1 Ociosidade X Prioridade de Lavra

Quando é feito o planejamento diário é definido a prioridade dos equipamentos de lavra, ou seja, das escavadeiras. Essa definição é feita pelo engenheiro de planejamento diário, com conhecimento prévio dos planos semanal e mensal. Além do direcionamento da lavra pelos planos anteriores é vislumbrado a garantia do minério requerido pela usina.

É impossível avaliar se a prioridade de lavra foi cumprida apenas olhando no campo a escavadeiras e o material remanescente na frente de lavra. Portanto se faz necessário quantificar, e isso pode ser feito através da conferência da ociosidade.

A ociosidade (ver ANEXO A) é o tempo aguardado pela escavadeira entre o carregamento de um caminhão e a chegada do próximo caminhão. De forma que, a escavadeira de maior prioridade deve ter o menor tempo de ociosidade, e se for necessário que alguma escavadeira esteja ociosa (pela falta de caminhões), essa deve ser a escavadeira de última prioridade.

Avaliar esse indicador é essencial para a conferência da realização das atividades do Line-Up e geração da aderência do Line-Up, norteador a respeito da definição do

status do engenheiro do planejamento. Esse indicador pode ser extraído diretamente do banco de dados do sistema de Despacho. Abaixo, na Figura 23, segue o exemplo de uma programação do Line-Up com a prioridade planejada e o status do engenheiro do planejamento diário.

Figura 23 - Programação do Line-Up com prioridade definida e status do engenheiro de planejamento

Cód	Pri.	Equip.	Descrição do Serviço	Local/ Balcão/ Polígono	Peso	Prog.	Real.	Status Turma	Comentário Turma	Aderente?	Comentário Lineup
284996	1	ESC6	Lavrar na pilha B, Conforme Orientação da Geologia	Britador	35	8000	7725,66	SIM	Alimentando a britagem da pilha "B".	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	
284998	2	ESC3	Lavrar polígono E6_072_018. Obs.: quando a ES 3101 for liberada da manutenção. Locomover para o bco 104 lavrar o pol E6_104_030	Dep N235_GRA NE_280	15	18000	26576,96	SIM	Ok.	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	
284999	3	ESC1	1- Lavrar material do pol P1_184_015, Liberando futuro polígono de perfuração P1_168_007 2- Lavrar material do pol P1_184_017 3- Lavrar o pol P1_168_005. Obs.: lavrar no nível da rampa. Não colocar no gradil nesse momento para não diluir material (rampa minerio e pol 005 estéril).	Dep N_235 NE_260	10	10000	2963,16	SIM	Trabalhou no 015, tendo várias paradas durante o turno, "Falha no Giro".	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	
285000	4	ESC4	Lavrar material no detonado do pol O3_024_018. Lavrando por cima encaixando a rampa definitiva.	Pilha/Britador/SOS 240	5	4000	3866,6	SIM	Ok.	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	
285003	5	ESC2	MAntenção Após Liberação: Lavrar polígono E6_072_018	Dep N235_GRA/NE 280	0	8000	23317,01	SIM	Ok.	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	
285001	6	ESC5	Manutenção Após Liberação: 1- Lavrar material do detonado do pol O3_024_018. Liberando o pé da rampa definitiva.	Pilhas/Britador/SOS 240	5	0	0	SIM	Manutenção corretiva.	☒ SIM ☐ NÃO ☐ NÃO IC ☐	

Fonte: Arquivo pessoal

É possível observar que o engenheiro de planejamento forneceu o status aderente para todas as atividades planejadas. No entanto as prioridades de lavra não foram seguidas, podendo ser confirmada pelos dados da Tabela 13, onde observa-se a ociosidade de cada um dos equipamentos que trabalhou. O equipamento de menor ociosidade foi o equipamento ESC3, ou seja, foi o de maior prioridade na execução, apesar de ter sido programado como segunda prioridade. Nos outros equipamentos também é observado incoerências com relação a prioridade executada.

Tabela 13 - Exemplo de ociosidade média de equipamentos

EQUIPAMENTO	OCIOSIDADE MÉDIA (S)
ESC3	0.38
ESC2	0.78
ESC4	1.13
ESC6	2.33
ESC5	2.60
ESC1	6.28

Fonte: Arquivo pessoal

7 CONCLUSÕES

Com relação aos objetivos apresentados inicialmente para esse trabalho de pesquisa, as conclusões são:

- É possível reduzir o tempo de execução do planejamento diário a partir da utilização de dados do Sistema de Despacho, no entanto se faz necessário escolher o período de referência para observação dos dados de forma customizada, ou seja, na hora de programar que possa ser escolhido o horizonte de observação de dois dias atrás ou do mês passado.
- A utilização dos dados do sistema de Despacho deixará o cálculo de aderência ao Line-Up menos subjetivo uma vez que utiliza os dados reais tanto para programar quanto para conferir a realização das atividades. Além de considerar a prioridade de lavra e comparar a mesma com a ociosidade dos equipamentos de carga.
- De uma forma geral, os indicadores de DF e UF para planejamento diário turno a turno são bem diferentes dos indicadores definidos para o planejamento mensal.
- Utilizando os dados do sistema de Despacho é possível obter uma estimativa de produtividade de transporte para planejamento diário mais acurada e com rastreabilidade na execução.
- A ociosidade é o melhor indicador proveniente do sistema de Despacho para rastrear a execução da prioridade de lavra dos equipamentos.
- Precisam ser feitos tratamentos específicos nos dados oriundos do sistema de Despacho para utilização no planejamento diário entendendo o comportamento de cada um deles, como por exemplo a exclusão dos turnos que apresentaram DF igual a zero para avaliação da mesma.
- A frota de perfuração possui mais previsibilidade de UF, se comparado com carregamento e transporte, visto que não tem relação de dependência com nenhuma frota.
- É necessário melhorar a consistência dos dados do sistema de Despacho e garantir a integridade deles para que estudos como esse possam ser cada vez mais precisos e melhorar o entendimento com relação aos indicadores.

No artigo “*The impact of payload truck factor use in mine performance reports for an open pit copper mine in Brazil*” aceito pela Revista Escola de Minas é tratado sobre problemas de integridade na geração dos dados de massa transportada pelos equipamentos.

- É necessário reduzir cada vez mais a interação entre o equipamento e sistema de Despacho através da ação humana na geração dos dados, deixando o sistema cada vez mais automático e utilizando ao máximo as soluções em sistemas de alta precisão GPS.
- Existem razões de horas improdutivas que podem ser previstas no planejamento diário do dia seguinte, permitindo que se possam calcular UF mais precisas.

Para continuidade da presente pesquisa é sugerido:

- Aplicar outras análises de dados. Neste caso foi utilizado mediana, mas devemos aplicar métodos mais avançados com análises estatísticas mais refinada.
- Desenvolver metodologias de escolha de horizonte de análise, neste estudo o período foi de 4 meses. Entretanto foi observado que é necessário customizar o intervalo, em função do comportamento dos indicadores. Por enquanto a variável mais relevante para esta escolha foi a duração da manutenção.
- Aplicar métodos de análise estocástica e análise de risco para obter uma faixa de meta de produção, aprimorando o cálculo da aderência.
- Simulação da produtividade de transporte para tornar as metas de movimentação mais realísticas e aproveitar melhor as janelas de oportunidade tanto para liberação de equipamentos para manutenção quanto para desenvolvimento de depósitos com DMT mais longas.
- Utilizar as estimativas do tempo de desmonte para melhorar a estimativa da UF nos dias de desmonte.
- Desenvolver um sistema integrado entre banco de dados do Despacho e sistema de Line-Up, tendo todos os indicadores definidos nesse trabalho disponíveis no momento do planejamento diário.
- Avaliar todas as razões de horas improdutivas que podem ser previstas no planejamento diário e de que forma podem ser tratadas.

REFERÊNCIAS

- AGRA, R. V. **Aplicação do modelo PDCA 90-10 na gestão de ativos de minas a céu aberto**. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- AMARAL, M. **Modelos matemáticos e heurísticos para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto**. 2008. 108 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2008.
- ASKARI-NASAB, H.; POURRAHIMIAN, Y.; BEN-AWUAH, E.; KALANTARI, E. Mixed integer linear programming formulations for open pit production scheduling. **Journal of Mining Science**, v. 47, n. 3, p. 338, 2011. doi: 10.1134/S1062739147030117.
- CAMPELO, A. C de M. M.; MARIN, T.; OLIVEIRA, M. L. et all. Utilização de Dados do Sistema de Despacho para Estimativa de Produtividade de Transporte no Plano de Lavra de Curto Prazo. In: 18º Simpósio de Mineração, São Paulo, 2017. **Anais...** São Paulo: ABM Proceedings, 2017, v. 47, n. 18, p. 82-93. doi: 10.5151/2594-357X-30314.
- CONTADOR, J. C. **Gestão de operações – a Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998.
- FREITAS, S. B. M. **Planejamento e gestão de lavra em minas a céu aberto: aplicação de métodos estocásticos de gerenciamento de risco no aproveitamento sustentável de reservas minerais**. 2015. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- HACK, D. R. Utilization of scripting languages for customization of mine planning packages by specialized users. In: 31st International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries – APCOM, Cape Town, South Africa, 2003. **Anais...** South Africa: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2003, p. 115-121.
- HUSTRILID, W., KUCHTA, M., MARTIN, R. **Open pit mine planning & design**. 3 ed. Leiden: CRC Press/Balkema, 2013, two volume set & CD-ROM pack.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia científica**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2011. 320 p.
- LIZOTTE, Y., BONATES, E. Truck and shovel dispatching rules assessment Using simulation. **Mining Science and Technology**, Amsterdã, 1987, v. 5 n. 1, 1987, p. 45-58.

REUTER, C., BRAMBRING, F., WEIRICH, J., KLEINES, A. Improving data consistency in production control by adaptation of data mining algorithms. In: 9th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2016 – “Intelligent Manufacturing in the Knowledge Economy Era”, Nanjing, China, 2016. **Anais...** China: Procedia CIRP v. 56, Elsevier Procedia, 2016, 545-550 p.

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 748 p.

SONG, Z.; SCHUNNESSON, H.; RINNE, M.; STURGUL, J. Intelligent Scheduling for Underground Mobile Mining Equipment. **Journal Plos One**, China, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0131003

THORLEY, U. **Open pit mine planning: analysis and system modeling of conventional and oil sands applications**. 2012. 285 p. Tese de Doutorado - Queen's University, Ontario, Canadá, 2012.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 205 p.

APÊNDICE A - Histogramas da DF das perfuratrizes

APÊNDICE B - Histogramas da UF das perfuratrizes

APÊNDICE C - Histograma da DF das escavadeiras e transporte

APÊNDICE D - Histograma da UF das escavadeiras e transporte

ANEXO A - KPI's utilizados na mineração

KPI's – Key Performance Indicator – São indicadores de performance que medem o nível de desempenho de um processo, ou uma atividade, e no nosso caso será a mineração. KPI's permitem uma visão geral do empreendimento sendo possível visualizar onde existem melhorias a serem feitas no empreendimento.

Existem diversos parâmetros que podem ser utilizados como KPI's, no presente trabalho citaremos os que possuem mais relevância para o empreendimento em questão. É importante que sejam eleitos KPI's de suma importância para que seja possível alinhar a empresa com seus objetivos estratégicos. KPI's podem servir como parâmetros de benchmark, dessa forma pode-se alinhar as melhores práticas de algumas empresas com outras que possuem algum déficit em determinada área.

Abaixo serão listados alguns parâmetros de KPI's e como conseguir sua medição.

- Tempo de Fila: é o tempo gasto esperando para poder ser carregado ou bascular. O basculo pode ser feito em britadores, pilhas pulmão, pilhas de rejeito, e diversos outros lugares. O tempo de fila é calculado usando dados capturados pelo DISPATCH, esse tempo é calculado pela ação de CHEGADA do caminhão em fila subtraído da ação CHEIO do último caminhão carregado antes do caminhão em fila ser carregado. Para minas com falta de caminhões o tempo de fila costuma ser igual à zero. O tempo de fila dado em porcentagem por ser dado pelo tempo gasto em fila dividido pela utilização do equipamento.
- Tempo de Manobra: é o tempo gasto para posicionar o caminhão de forma adequada para que seja carregado. O tempo de fila é calculado usando dados capturados pelo DISPATCH, esse tempo é calculado pela ação CHEIO do último caminhão carregado antes subtraído pelo tempo em que a primeira caçambada acontece.
- Tempo de Carregamento: é definido como o tempo necessário para o caminhão ser carregado. Ele é calculado pela diferença de tempo entre as ações CHEIO e PRIMEIRA caçambada. Pode ser um dos parâmetros importantes para certificação do bom funcionamento dos equipamentos de carga. (Exemplo: Escavadeira e Carregadeira).
- Tempo de Bâsculo: é o tempo necessário para retirar o material da caçamba do equipamento, o material normalmente é basculado em britadores, pilhas pulmão ou pilhas de rejeito. Pode ser calculado por dados capturados pelo DISPATCH, é calculado pela diferença entre os tempos de NOVA DESIGNAÇÃO e INÍCIO DE BASCULAMENTO.
- Disponibilidade: é o tempo em que o equipamento pode ser alocado para desempenhar alguma função, ou seja, o tempo de funcionamento da mina subtraído pelo tempo de manutenção (seja de qual tipo for) dividido pelo tempo de funcionamento da mina.
- Utilização: estando o equipamento disponível, é o tempo em que realmente há designações para o equipamento, ou seja, o tempo em que o equipamento não está em Stand By (Parado por falta de designação). Pode ser calculado

dividindo a disponibilidade pelo tempo de funcionamento da mina menos o tempo de manutenção (seja de qual tipo for).

- **Produtividade instantânea:** é um dos parâmetros mais importantes em uma mina, devido ao fato de estar diretamente relacionado com o montante que será vendido pela empresa. Toda companhia espera uma produtividade alta, produtividade alta gera mais produto final que é vendido e gera lucro. A produtividade instantânea pode ser medida de duas maneiras, pelo caminhão ou pela escavadeira, sua medida é dada em Toneladas/hora. No caminhão a medida pode ser feita dividindo a massa de minério do caminhão pelo tempo de fila mais o tempo de carregamento. Na escavadeira pode ser medido pelo número de caçambadas em uma hora, como tempo o volume da caçamba e a densidade média do material, é possível calcular a produtividade instantânea.
- **Abastecimento/Tempo gasto no abastecimento:** à primeira vista pode parecer um KPI um pouco banal, mas em minas onde existem muitos caminhões, a logística de abastecimento deles pode interferir bem na quantidade de tempo disponível para utilização dos equipamentos. É recomendável que os caminhões abasteçam quando estiverem com um baixo nível de combustível, que eles vão para os postos quando estiverem mais perto deles e que não sejam alocados todos de uma vez para os postos. Pode ser medido pelo tempo de “aguardado condição de acesso” se configurado para isso. Uma prática comum em minas é que o abastecimento seja feito no Break Time (Tempo de parada do operador), para que isso ocorra com boa vontade do operador, pode ser sugerido algum benefício.
- **Troca de Turno:** é um parâmetro complicado de ser medido e analisado. Os turnos são regulares, e os operadores possuem hábitos de iniciar os trabalhos e interrompê-los juntos, um dos motivos pode ser o deslocamento. O ideal seria que parassem após terminar a tarefa pré-designada. Devemos ressaltar que um possível modo para medida e análise seria a observação dos procedimentos pelo gerente de mina. Para que a troca de turno funcione de forma efetiva é essencial à cooperação do operador, juntamente com instruções e treinamento adequado.
- **Status dos Equipamentos:** é um parâmetro de suma importância, pois os equipamentos são a base da pirâmide da produtividade. Os equipamentos podem estar aptos, atrasados, em manutenção ou ainda em StandBy (Aptos para serem utilizados, mas aguardando designações). Para a otimização da mina é fundamental que as manutenções sejam programadas, que não haja atrasado em quem os equipamentos fiquem em StandBy o menor tempo possível, de modo que toda frota seja utilizada. StandBy é um tempo precioso em que poderia estar se utilizando o equipamento, mas devido a alguns incidentes não é possível. Equipamentos de mineração são bem caros, e a sua ociosidade gera prejuízo, ou um menor lucro. Os status do equipamento podem ser obtidos através da leitura do CGC. Uma boa prática é a construção de gráficos pondo lado a lado cada status e analisando se pode ser melhorada a utilização dos equipamentos.
- **Manutenção:** Existem 4 tipos de manutenção, Corretiva Planejada, Corretiva não Planejada, Preventiva e Preditiva. O conceito de cada uma delas será explicado e pode-se afirmar que elas estão correlacionadas. Preditiva-> Análise de parâmetros durante o funcionamento (Ex. Vibrações,

Temperaturas, Calibragem dos Pneus). Preventiva-> consiste em fazer planos de análise, para uma manutenção Corretiva planejada, ela também é responsável por revisões periódicas para troca de óleo e checagens. Corretiva Planejada -> Ela é programada de acordo com resultados das manutenções preditivas e preventivas, é feita para consertar um defeito do equipamento, a importância dela é porque sendo a parada esperada podemos programar e remanejar a frota para que não haja perda na produção. Corretiva Não- Planejada-> ocorre quando há quebra ou falha de alguma peça do equipamento e isso não foi previsto. É uma prática que deve ser minimizada, pois como não esperamos, não programamos e assim podemos ter um comprometimento da produção. Não achei na literatura fator para medir esse parâmetro, proponho que ele seja: Manutenção Planejada dividida pelo número de manutenções totais (Planejada + não planejada). Predições e prevenções não vão entrar na conta pois são essenciais para o bom funcionamento, ou seja, elas não podem ser excluídas.

- TKPH (Tonelada/quilômetro por hora): Este índice permite avaliar os pneus de acordo com o trabalho que podem executar, dentro de limites seguros de temperatura. Os valores máximos dos índices foram determinados pelos fabricantes dos pneus de maneira que a sua temperatura interna não seja superior a 107°C. A fórmula para calcular o TKPH é: $TKPH = \frac{CMP}{2} \times VM$ (Carga Média Sobre o Pneu) x VM (Velocidade Média). É importante salientar que os pneus durante o ciclo sobre carga com o caminhão vazio e com o caminhão carregado. O CMP é definido como: $CMP = \frac{Carga\ com\ o\ Caminhão\ Vazio + Carga\ com\ o\ Caminhão\ Cheio}{2}$ dividido por dois. A velocidade média é medida ao longo de todo o percurso por interfaces.
- Condição e utilização dos pneus: Um parâmetro de suma importância, pois os pneus podem representar 33% do custo de operação. Existem diversos fatores que influem na vida dos pneus. Esses fatores são: pressão, sobrecarga, velocidade, má montagem, alinhamento do eixo dianteiro, folga e suspensão e diversos outros. As más condições de trabalho podem resultar em redução no km/hora do pneu, fadiga da carcaça, riscos de corte no flanco, maior aquecimento, aumento de combustível, menor estabilidade, enfim diversos danos. É recomendável checar as pressões dos pneus antes do turno ou pelo menos uma vez por dia, não colocar carga nominal maior do que a designada pelo fabricante e sempre que houver uma manutenção conferir alinhamentos, folgas e suspensões. As pressões e sobre carga podem ser medidas diretamente na interface do equipamento.
- Condições de Infraestrutura na Mina (Estrada, Frente de Lavra, Praça, Oficina, Espaço para Manobra): Nesse parâmetro será observado as condições nas quais os equipamentos trabalham. Uma má condição como pista estreita interfere diretamente na produtividade dos caminhões, bem como aumenta os riscos de corte nos pneus, além de aumentar o risco de acidente. Obstáculos no caminho como pedras podem provocar cortes nos pneus e diminuir a produtividade. Ondulações na pista podem provocar sobrecarga dinâmica e diminuir a produtividade também. Ladeiras com altas inclinações podem provocar sobre carga. Praças desniveladas, com presença de água, com falta de limpeza e com pequeno espaço de manobra impactam negativamente na produtividade, máquinas demoram um tempo maior para manobrar, há um aumento no corte e arrancamento dos pneus e podem

patinar e deslizar mais facilmente. É proposto observações diretas do gerente de mina, e presença constata do pessoal de apoio nivelando e fazendo a manutenção.

- MTBF (Mean Time Between Failures)-> Tempo medio entre falhas. É um parâmetro que mede a frequência com que as falhas ocorrem. Pode ser interessante para detectar tendências, e se é o momento de substituir o equipamento. Esse parâmetro deve ser lido, acompanhado pelo supervisor de mina. Ele pode ser usado para um mesmo caminhão, uma mesma peça ou frota.
- MTTR (Mean Time To Repair)-> Tempo médio de conserto das falhas. É o tempo necessário para consertar um equipamento ou um componente do equipamento. É importante que o mecânico tenha uma planilha na qual ele possa anotar esses dados, para futuras análises.
- MTTF (Mean Time To Failure)-> É relacionado com a expectativa de vida do componente. A principal função dela é medir a confiabilidade da peça. Esse parâmetro pode estar relacionado também com o tempo gasto para ocorrer a primeira falha, que normalmente será um tempo maior, do que entre as demais falhas. Esse parâmetro pode ser acompanhado pela anotação de pessoas especializadas.
- DMT -> Distância Média de Transporte. Quanto menor a distância média de transporte, menores os custos de produção e maior lucro. Tal parâmetro é medido apenas com o caminhão carregado. A DMT pode ser obtida através do BD do sistema, com a leitura de caminhão cheio.
- Eficiência-> Eficiência é um parâmetro que pode ser medido de várias maneiras. É essencial que achamos uma boa medida para se medir a eficiência, no caso do presente trabalho, iremos tomar como eficiência o tempo de ciclo, mas poderia ser por exemplo produção instantânea. Eficiência será medida como o tempo de ciclo mínimo dividido pelo tempo de ciclo real. O tempo de ciclo mínimo é o tempo de ciclo ideal, alcançado se tudo funcionar perfeitamente. Para produção, poderíamos medir produtividade real dividido pela produtividade máxima.
- OEE (Overall Equipment Effectiveness)-> É um dos parâmetros mais importantes em um empreendimento. Ele é responsável por medir a eficácia global dos equipamentos ou produtividade, enfim, podemos resumir com a eficácia global. Esse sistema de medição é essencial para a identificação e resolução de problemas e melhoria continua. No presente trabalho no iremos definir a eficácia global por: $OEE = \text{Tempo de Produtividade} / \text{Tempo de Calendário}$. Pode ser calculado pela análise de informações no BD. O OEE pode ser calculado também Multiplicando a disponibilidade pela utilização e eficiência. Antes de iniciar um trabalho é importante definir qual será o parâmetro utilizado.
- Custo Por Tonelada-> O presente parâmetro mede o custo da produção do minério. Através dele conseguimos realmente saber o custo necessário para pesquisar, retirar, beneficiar e transportar o minério. Através dele é que definimos preço do produto final, de quanto será nosso lucro. É importante somar todos os preços , para que saibamos exatamente o preço do produto.

Esse parâmetro pode ser medido pela produção total dividido pelo custo para produzi-la.

- **Segurança->** Um empreendimento como mineração necessita de cuidados com a segurança, qualquer acidente pode ser grave devido ao tamanho dos equipamentos. Preocupados principalmente com a saúde dos trabalhadores e depois com produção, devemos tomar cuidados para que não ocorra acidentes, não afetando a produção, e nem a saúde dos funcionários. Um das maneiras de contabilizar esse fato é o número de dias trabalhados sem acidente. Essa prática é bem comum nas Minas, e esse tempo é bem alto, superando em alguns casos um, dois ou até mais anos. Boas práticas ajudam em muito para que não ocorra acidentes, visto que a maioria deles ocorre com descuido ou desatenção. Ações e práticas devem ser observadas e gerenciadas pelo gerente de mina. A contabilização ocorre pelo gerente de mina à medida que os acidentes acontecem.
- **REM (Relação Estéril/Minério)->** A relação estéril/minério é um parâmetro muito complexo, normalmente quando esse assunto é abordado são necessários textos longos para seu entendimento. Farei um resumo para um entendimento superficial. A REM é um fator de suma importância na exequibilidade de minas, é um dos maiores impactos nos custos de produção de uma mina. A REM define os limites da cava, custos de produção, tempo necessário para decapeamento, entre outros. Comumente é necessário realizar um decapeamento (Retirada de estéril para explorar o minério), essa retirada é bem onerosa e é necessário um outro lugar para locar o material retirado. Quanto maior a profundidade de uma mina maior a quantidade de estéril que deverá ser retirada. Um fator que é potencialmente inviabilizador de projetos. A relação estéril/minério é calculada $Re/m = \frac{\text{Estéril}}{\text{Minério}}$. No dispatch poderia ser calculado por caçambada de estéril/ caçambada de minério em um lugar e período de tempo pré-determinado. Quanto menor a REM maior o lucro e produção da Mina.
- **Km Cheio/Km Vazio->** Um parâmetro polêmico no setor da mineração. Existem diversas opiniões, e elas são divergentes. Apresentarei minha conclusão e os motivos. A otimização da mina, seja por maior produtividade e/ou menor custos ocorrerá quando a relação Km Cheio/Km Vazio for menor do que 1 (um). Essa conclusão foi tomada devido ao fato de que vazios os caminhões consomem menos combustível, gastam menos pneus, tem menor probabilidade de falhas mecânicas, e o principal, conseguem uma maior produtividade. A produtividade maior é alcançada devido ao fato de que vazio o caminhão possui uma velocidade maior, e é capaz de percorrer maiores trechos em menor tempo. Esse parâmetro deve ser medido pelo Tempo de Ciclo Cheio/ Tempo de Ciclo Vazio.
- **Taxa de escavação->** Este fator está intimamente relacionado com a produtividade instantânea/ global. Ela é medida de acordo com a tonelagem por hora escavada. O Valor obtido deve ser comparado com o valor de referência fornecido pelo manual do fabricante, se estiver abaixo do rendimento esperado é um sinal de que existe algum problema com o equipamento, e deve ser feita uma avaliação.

- Tempo de Ociosidade-> É o tempo no qual os equipamentos estão aptos para realizarem alguma atividade, mas por falta de designações ou tarefas não estão produzindo. É preferível que se tenha tempo de ociosidade de equipamentos mais caros e escavadeiras próximas de zero, escavadeiras são relacionadas a produtividade e equipamentos mais caros necessitam de investimentos maiores. Comumente equipamentos mais caros são as escavadeiras. Uma situação ideal é que não exista tempo de ociosidade para nenhum equipamento.
- Desmorte Efetivo-> O desmorte em uma mina é feito com equipamentos de escavação (escavadeiras, carregadeiras, outros) e por uso de explosivos. A escolha do método é variável de acordo com a dureza da rocha. Explosivos são utilizados quando a rocha possui maior resistência. O desmorte de rocha feito por explosivos, comumente pode ser otimizada, economizando e aumentando os lucros. Essa otimização pode ser feita utilizando menos carga (explosivo), ou locando estes de forma a obter um melhor desmorte. Como parâmetro para esse indicador podemos usar a carga de furo, números de horas do rompedor ou britadeiras e o números de matacos gerados. Caso o número de matacos gerados seja alto e/ou termos um número excessivo de horas de utilização do rompedor, conclui-se que o desmorte poderia ser melhorado.
- Identificação de Gargalos e Otimização de Operação-> Gargalos na produção são locais que limitam a produtividade, sua localização é importante, caso seja necessário aumentar a produção é sabido onde se deve atuar. Operações comumente possuem algumas práticas que podem ser melhores, simples observações e raciocínios lógicos permitem uma melhoria significativa. Melhorias e identificações devem ser observadas, analisadas e discutidas pelo responsável em operação da mina, não pode ser medido, apenas observado e melhorado.
- Operator e Dispatcher Performance-> Operadores do sistema despacho influem diretamente na produtividade, logo, uma questão importante é saber se o manuseio das ações está acontecendo de forma correta. Não existe um parâmetro definido ou fórmula para avaliar esse parâmetro. É necessário verificar o total de ações e verificar se foram tratadas corretamente ou não, neste ponto checamos se as que não foram tratadas corretamente são significativas, de modo a interferir na performance do sistema. Alguns fatores que podem atrapalhar a performance são: tempo zero de manobra, tempo zero de carga, mensagens atrasadas, demora para a tomada de decisões, alto índice de redesignações, entre outros. Tais ações podem interferir negativamente prejudicando a qualidade dos relatórios, produtividade da mina e o cálculo do tempo de ciclo.
- EFH (Equivalent Flat Haul)-> é uma medida de distância “relativa” que pode ser usada para comparar as rotas de transporte. Através dessa medida podemos comparar e analisar as melhores rotas, e assim escolher a de melhor produtividade ou menor gasto. O cálculo realizado envolve a “distância real percorrida, o grau de inclinação e a distância percorrida caso a estrada fosse plana. Para alguns casos mais complexos pode-se envolver condições de estrada, curvatura de estrada, isso irá depender das intenções do estudo. O cálculo realizado é $EFH = \frac{\text{Distância Percorrida} \times \text{Velocidade no plano}}{\text{Velocidade Real na Rampa}}$. Pode ser muito utilizado para simulações.

Fonte: Lisboa¹² (2015)

¹² LISBOA, R. Advanced data analysis. São Paulo: Modular, 2015.