



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

ALINE LORRAINE SILVA LACERDA

ANÁLISE DOS DADOS DE CICLO DE TRANSPORTE GERADOS PELO SISTEMA DE
DESPACHO PARA UMA MINA DE COBRE

Belo Horizonte

Junho/2019

ALINE LORRAINE SILVA LACERDA

ANÁLISE DOS DADOS DE CICLO DE TRANSPORTE GERADOS PELO SISTEMA DE
DESPACHO PARA UMA MINA DE COBRE

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

Orientador: Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Belo Horizonte, MG

2019

L131a	<p>Lacerda, Aline Lorraine Silva. Análise dos dados de ciclo de transporte gerados pelo sistema de despacho para uma mina de cobre [recurso eletrônico] / Aline Lorraine Silva Lacerda. – 2019. 1 recurso online (87 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Carlos Enrique Arroyo Ortiz.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 82-87.</p> <p>Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia metalúrgica - Teses. 2. Integridade de dados – Teses. 3. Seis sigma (Padrão de controle de qualidade) – Teses. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 669(043)</p>
-------	--



ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DA ALUNA ALINE LORRAINE SILVA LACERDA

Realizou-se, no dia 19 de julho de 2019, às 15:30 horas, 4042, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *ANÁLISE DOS DADOS DE CICLO DE TRANSPORTE GERADOS PELO SISTEMA DE DESPACHO PARA UMA MINA DE COBRE*, apresentada por ALINE LORRAINE SILVA LACERDA, número de registro 2017755936, graduada no curso de ENGENHARIA DE MINAS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA METALÚRGICA, MATERIAIS E DE MINAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador (UFOP), Prof(a). Adilson Curi (UFOP), Prof(a). Vidal Felix Navarro Torres (ITV- Mineração).

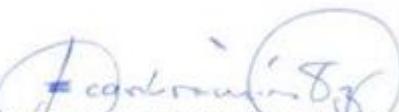
A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

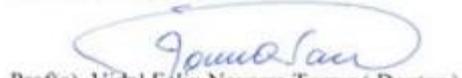
Belo Horizonte, 19 de julho de 2019.



Prof(a). Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Doutor)



Prof(a). Adilson Curi (Doutor)



Prof(a). Vidal Felix Navarro Torres (Doutor)

Dedico esse trabalho à minha mãe: mulher guerreira, de fibra,
que tornou real meu sonho de “engenheira” e possibilitou que eu fosse muito além.
E ao meu pai, que em meio à toda sua simplicidade,
soube apoiar as minhas decisões e contribuir à sua maneira para fazê-las acontecer

“The only real way to find areas to improve is to look at what you’re already doing”
Larry Widdifield (Caterpillar, 2010).

RESUMO

O sistema de despacho é uma ferramenta de gerenciamento de equipamentos de mina que permite maximizar a produtividade e eficiência e minimizar os custos operacionais a partir da tomada de decisões utilizando dados em tempo real. Para que seja possível ao sistema atingir a solução ótima e refletir a realidade operacional da mina, é necessário garantir a confiabilidade e qualidade dos dados de entrada utilizados pelo algoritmo de otimização do sistema. Além disso, os dados coletados no banco de dados do sistema de despacho são essenciais para a geração de relatórios operacionais da unidade e demandam confiabilidade nas informações, uma vez que são condicionais para garantir o gerenciamento eficiente do negócio. O frequente acompanhamento do ciclo de carregamento e transporte realizado na Mina do Sossego e avaliação contínua de relatórios gerados por dados do sistema de despacho, possibilitaram identificar uma oportunidade de melhoria operacional na unidade, uma vez que foram encontradas inconsistências nos tempos de ciclo coletados no banco de dados do sistema. Este estudo apresenta a análise e caracterização da integridade dos dados coletados em tempo real pelo sistema de despacho na Mina do Sossego aplicando a metodologia de melhoria contínua *Lean Seis Sigma*, para que se possa garantir uma operação otimizada e confiabilidade dos dados gerados pelo sistema.

Palavras-chave: Sistema de despacho, tempos de ciclo, integridade de dados, Lean Seis Sigma.

ABSTRACT

Dispatch system is a fleet management solution that allows a mine operation to maximize production and efficiency, while minimizing operational costs through assignments based on real-time data. In order to permit the system to reach for the optimal solution and generate real operational data, it's necessary to assure data accuracy and quality, basis for the optimization algorithm account. In addition, collected data from a dispatch database system is essential to support operational reports and thus demand trustworthy information for key business management. Regular monitoring of load and haul cycles coupled with continual analysis of dispatch reports provides opportunity to identify operational improvement, showing several cases for improvement to cycle times in the Sossego operation. This study aims to analyze and characterize the integrity of data collected in real time by the dispatch system at Sossego Mine by using the continuous improvement methodology Lean Six Sigma, in order to assure an optimized operation and accurate data generate by the system.

Keywords: Dispatch system, cycle times, data integrity, Lean Six Sigma.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de conhecimento das técnicas de melhorias de processos em uma mineradora.	16
Figura 2 - Ciclo operacional simplificado das operações unitárias de mina à céu aberto.....	21
Figura 3 - Alocação estática de caminhões.	23
Figura 4 - Alocação dinâmica de caminhões.	24
Figura 5 - Interação MR, PL e PD.	27
Figura 6 - Opções de circuitos antes da PL.	27
Figura 7 - Opções de circuitos selecionados pela PL.....	28
Figura 8 - Circuito otimizado hipotético.	29
Figura 9 - Ciclo de carregamento e transporte.	32
Figura 10 - Exemplificação de cálculos de tempo para o sistema de despacho.....	34
Figura 11 - Tela de exceções disponível no controle operacional do sistema de despacho.....	35
Figura 12 - Vista geral de rede de telecomunicação via wireless na mina.....	37
Figura 13 - Rádio antena instalada na lateral dos equipamentos.	38
Figura 14 - Modelo de antena repetidora móvel de campo MasterLink.	39
Figura 15 - Computador de bordo do sistema Dispatch.....	39
Figura 16 - Tela de interação entre operador e sistema de despacho.	40
Figura 17 - Início do ciclo e solicitação de destino pelo operador.....	40
Figura 18 - Chegada no destino de carregamento.	41
Figura 19 - Início de carregamento.	41
Figura 20 - Término de carregamento.....	42
Figura 21 - Fluxograma simplificado da base de dados do sistema de despacho.	43
Figura 22 - Metodologia Lean Seis Sigma (DMAIC).....	44
Figura 23- Localização da Mina do Sossego na Província Mineral de Carajás.	49
Figura 24- Limite dos corpos de minério no depósito de Sossego.....	50
Figura 25- Imagem de satélite da Mina do Sossego.....	51
Figura 26 - Fluxo de produção da Mina do Sossego.....	53
Figura 27 - Exemplo de análise de integridade para amostras de tempo de manobra.	54
Figura 28 - Exemplo de análise de integridade de dados para tempos de manobra e carregamento.	55
Figura 29 - Impacto na integridade de dados da Mina do Sossego por categoria.....	56

Figura 30 - Matriz resultante para integridade de dados da Mina do Sossego.....	57
Figura 31 - Integridade de dados por turma por mês.	57
Figura 32 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas P&H4100 e CAT793.....	59
Figura 33 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas Buc495HR e CAT793.....	59
Figura 34 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas PC5500 e CAT793.....	59
Figura 35 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas PC5500 e CAT785.....	60
Figura 36 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas PC2000 e CAT785.....	60
Figura 37 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas P&H2300 e CAT793.....	60
Figura 38 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas P&H2300 e CAT785.....	61
Figura 39 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas WA1200 e CAT793.....	61
Figura 40 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas WA1200 e CAT785.....	61
Figura 41 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas CAT740 e caminhões rodoviários.....	62
Figura 42 - Levantamento de causas prováveis através do Diagrama de Causa e Efeito	63
Figura 43 - Diagrama de Causa e Efeito após Teste de Hipótese.....	64
Figura 44 - Separação de áreas operacionais da mina para coleta de dados.....	66
Figura 45 - Trajeto para coleta de dados da área 01.....	67
Figura 46 - Trajeto para coleta de dados da área 02.....	67
Figura 47 - Resultados para saúde de rede da área 01 da mina.....	72
Figura 48 - Resultados para saúde de rede da área 02 da mina.....	73
Figura 49 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho.....	74
Figura 50 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho por turma.....	75
Figura 51 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho por turno.....	75

Figura 52 - Tratativa da exceção por cheio repetido por turma.	77
Figura 53 - Tratativa da exceção por cheio repetido por mês.	77
Figura 54 - Tratativa da exceção por carregamento repetido por turma.	78
Figura 55 - Tratativa da exceção por carregamento repetido por mês.	78
Figura 56 - Tratativa da exceção por início de carga em equipamento parado por turma.	79
Figura 57 - Tratativa da exceção por início de carga em equipamento parado por mês.	80
Figura 58 - Tratativa da exceção por chegada durante carregamento por turma.	81
Figura 59 - Tratativa da exceção por chegada durante carregamento por mês.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se estéril igual a minério.....	30
Tabela 2 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se minério acima de estéril. ...	30
Tabela 3 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se estéril acima de minério. ...	30
Tabela 4 - Classificação das técnicas e ferramentas propostas para o ciclo DMAIC.	45
Tabela 5 - Método 5W2H.....	47
Tabela 6 - Resumo das principais frotas de produção da Mina do Sossego.	52
Tabela 7 - Teste de Hipótese para as causas levantadas.	63
Tabela 8 - Matriz GUT de Prioridade das causas.....	69
Tabela 9 - Plano de ação construído pelo método 5W2H.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PO – Pesquisa Operacional

PL – Programação linear

PD – Programação Dinâmica

BP/MR – *Best Path* ou Melhor Rota

GPS – *Global Positioning System*

SGBD – Sistema Gerenciador de Base de Dados

SQL – *Structured Query Language*

TPS – *Toyota Production System*

GQT – Gestão pela Qualidade Total

TQC – *Total Quality Control*

TQM – *Total Quality Management*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*

SIPOC – *Suppliers, inputs, process, outputs, customer*

GUT – Gravidade, Urgência e Tendência

SNR – *Signal to noise ratio*

RTT – *Round-trip time*

5W2H – *What, Why, How, Where, Who, When, How much*

PP – Pequeno Porte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	17
2	OBJETIVO	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	CICLO DE PRODUÇÃO	20
3.2	SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE FROTA	21
3.2.1	SISTEMA DE DESPACHO	25
3.3	INTEGRIDADE DE DADOS	36
3.3.1	INTEGRIDADE DE DADOS DO DESPACHO.....	36
3.4	LEAN SEIS SIGMA	43
3.4.1	DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.....	46
3.4.2	MATRIZ DE PRIORIDADE	46
3.4.3	5W2H	47
4	ESTUDO DE CASO: MINA DO SOSSEGO	49
4.1.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OPERAÇÃO.....	50
4.1.2	INTEGRIDADE DE DADOS.....	53
5	ASPECTOS METODOLÓGICOS	58
5.1	TEMPOS DO CICLO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE.....	58
5.2	LEVANTAMENTO DE CAUSAS PROVÁVEIS.....	62
5.2.1	AVALIAÇÃO INFRAESTRUTURA DE REDE.....	65
5.3	PRIORIZAÇÃO DAS CAUSAS.....	68
5.4	PLANO DE AÇÃO	69
6	RESULTADOS PRELIMINARES	72
6.1.1	INFRAESTRUTURA DE REDE DA MINA	72
6.1.2	TRATATIVA DE EXCEÇÕES DO DESPACHO	73

1 INTRODUÇÃO

Segundo Sachs e Nader (2005), a mineração é parte da chamada indústria de processo, sendo tipicamente um empreendimento de grande porte, com alocação de alto volume de investimentos, equipamentos pesados e grandes plantas industriais. A grande concorrência existente no mercado mundial exige cuidadoso e eficiente gerenciamento das operações para alcançar sucesso e lucratividade no empreendimento.

A indústria de mineração, assim como outras indústrias, está frequentemente em busca de melhorias em seus processos de forma a garantir uma operação sustentável com ganhos de produtividade, considerando flutuações nos custos e preços das *commodities* no mercado. A demanda por confiabilidade nas informações e embasamento científico para a tomada de decisões críticas inerentes ao setor mineral requer investimentos significativos em aplicações inteligentes e melhorias contínuas nos processos produtivos.

Segundo Steinberg (2010), as vantagens competitivas procuradas por empresas dentro do setor mineiro podem ser atingidas por meio de inovações tecnológicas, melhoria na qualidade e garantia da entrega do produto, ou mesmo com reduções de custos pela reengenharia de processos. Nesse contexto, a Pesquisa Operacional e ferramentas de melhoria contínua passaram a ser largamente implementadas nas indústrias de cadeia mineral como importante ferramenta no auxílio de soluções para problemas cada vez mais complexos.

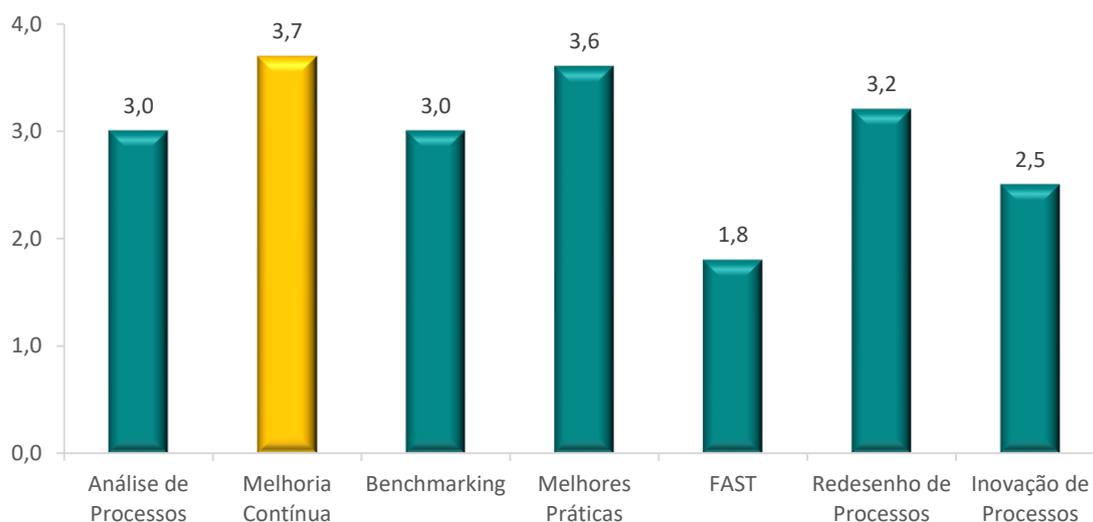
A PO é também uma poderosa e eficiente ferramenta de controle e planejamento estratégico da produção. De acordo com Tubino (1997), o planejamento da produção consiste em gerar condições para que as empresas possam decidir rapidamente perante oportunidades e ameaças, otimizando suas vantagens competitivas em relação ao ambiente concorrencial no qual atuam, garantindo sua perpetuação no tempo.

Segundo Arenales *et al.* (2015), a Pesquisa Operacional (PO) é uma abordagem científica aplicada para a solução de problemas reais envolvendo tomada de decisão e gerenciamento de sistemas complexos. Normalmente, quando estamos diante de algum problema de tomada de decisão, trata-se de um problema específico de Pesquisa Operacional. O objetivo principal da PO é encontrar a melhor utilização de recursos limitados procurando determinar o uso otimizado de atividades ou recursos, fornecendo um conjunto de procedimentos e métodos quantitativos para tratar de forma sistêmica problemas que envolvam a utilização de recursos escassos (ARAÚJO, 2008).

A metodologia Seis Sigma, como uma ferramenta operacional enxuta centrada sobre a drástica diminuição de defeitos, é altamente recomendada para propor melhorias em cadeias de valor mineral. Segundo Coutinho (2017), um dos fatores que leva ao baixo custo operacional das mineradoras no Brasil é a boa eficiência no processo de produção das grandes empresas, que tem como sua estratégia a aplicação de programas de melhoria contínua a exemplo das empresas Vale, CSN, Gerdau, Samarco e Anglo American.

Um estudo de caso realizado em uma mineradora por BALDAM et al (2017) mostrou a efetividade das técnicas de melhoria de processos. A figura 1 apresenta o estudo feito para um espaço amostral de 50 mil funcionários, no qual o nível de conhecimento sobre as metodologias de melhoria contínua apresentou os melhores resultados, com pontuação de 3,7 em uma escala de 0 a 4.

Figura 1 - Nível de conhecimento das técnicas de melhorias de processos em uma mineradora.



Fonte: Adaptado de BALDAM et al (2017).

Para Amaral e Pinto (2010), o ciclo de carregamento e transporte em minas a céu aberto é um estágio crítico no processo de produção podendo representar entre 30%- 40% dos custos totais da mina e uma alocação ótima bem estruturada pode resultar em significativa economia para a organização. Gerenciamento de frota é uma técnica de otimização de transporte usada no planejamento operacional que permite ganhos de produtividade através da maximização da utilização dos equipamentos e reduz, portanto, custos de operação (CORONADO, 2014).

O sistema de gerenciamento de frota pode ser feito através de alocação estática ou dinâmica, sendo o termo despacho comumente aplicado para sistemas de alocação dinâmica. O planejamento operacional também implica no gerenciamento dos equipamentos de carga, isto é, na escolha da frente de lavra que um determinado equipamento de carga será alocado. Este gerenciamento de equipamentos deve respeitar as restrições operacionais da mina e as metas de qualidade e de produção (PANTUZA JR., 2011).

As rotineiras atividades da operação comumente não permitem que se despenda tempo para verificação da qualidade e precisão dos dados armazenados e coletados pelo sistema de despacho e muitas vezes aspectos elementares como a integridade dos dados, passam despercebidos. Entretanto, tal sistema utiliza critérios preestabelecidos para sua operação, bem como dados em tempo real e históricos para antecipar e sugerir ações para otimizar a produtividade do processo. Portanto uma base de dados não confiável conduz o sistema a atingir soluções ótimas para cenários que não representam a realidade das operações na mina.

Um estudo feito por uma empresa prestadora de serviços aplicando metodologia própria indicaram que a Mina do Sossego possui baixa integridade de dados e apontaram para a necessidade de análises mais sólidas para tratativa dos desvios. Neste trabalho será analisada a qualidade e precisão dos dados gerados no ciclo operacional da Mina do Sossego, que são fonte para geração de inúmeros relatórios de indicadores operacionais para gerenciamento eficiente do negócio. Servem ainda como base para estudos de substituição de frotas, dimensionamento de equipamentos, orçamentos e suporte para tomada de decisões confiáveis durante a análise de qualquer problema. Além disso, são também dados de entrada para cálculos em tempo real para otimização da operação realizados pelo sistema de despacho. O desenvolvimento do trabalho e etapas do estudo serão realizadas com o auxílio da metodologia Lean Seis Sigma e ferramentas de melhoria contínua de processo.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O sistema de despacho busca maximizar a produção através de dados em tempo real (tempos de ciclo, barramentos, frentes fixas, etc.) seguindo um plano mestre previamente definido pelo algoritmo de programação do sistema. Quando operado de maneira otimizada - sem interferências manuais na tomada de decisão do algoritmo e utilizando dados de entrada confiáveis, o sistema pode gerar ganhos reais de produtividade e redução de custos nas operações.

Para garantir que o sistema alcance a solução ótima e reflita a realidade operacional da mina, é necessário garantir a confiabilidade dos dados gerados pelo sistema. Além disso, os dados coletados no banco de dados do sistema de despacho são essenciais para a geração de relatórios operacionais da unidade que demandam confiabilidade nas informações, uma vez que são peça chave para garantir o sucesso no gerenciamento do empreendimento.

Resultados de um estudo apresentado por uma empresa prestadora de serviços apontaram que os dados do ciclo operacional gerados pelo sistema de despacho da Mina do Sossego apresentam baixa integridade de dados. Tais informações apresentaram uma oportunidade de melhoria operacional do processo, através de análises robustas do problema que permitam soluções e de resultados satisfatórios para a organização.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar e caracterizar a qualidade e a integridade dos dados coletados em tempo real pelo sistema de despacho e que alimentam o algoritmo de otimização e tomada de decisão no gerenciamento de equipamentos na mina de forma a garantir uma operação otimizada do sistema, configurações corretas de variáveis operacionais no sistema e confiabilidade dos dados de entrada do algoritmo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral do trabalho, as seguintes etapas individuais serão realizadas:

- i. Revisar o histórico de informações operacionais que podem interferir na otimização e integridade dos dados do sistema, como por exemplo, barramentos, frente-fixa e dados de ciclo de transporte e carregamento;
- ii. Definir um período representativo para análise das informações;
- iii. Coletar informações sobre o ciclo de produção para o período escolhido e tratar os dados;
- iv. Analisar os resultados obtidos através de softwares de análise estatística conveniente;
- v. Avaliar condições externas não operacionais que possam interferir na integridade de dados da mina, como condição das balanças dos caminhões, sinal de cobertura de rede, etc.;
- vi. Realizar simulações do sistema de despacho utilizando software Dsim Open Pit para cenários utilizados dados considerados íntegros e não-íntegros;
- vii. Comparar e avaliar os resultados obtidos para os dois cenários.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão bibliográfica dos principais conceitos e técnicas citadas ao longo deste trabalho. Sendo assim, serão abordados conceitos referentes ao ciclo de produção de uma mina a céu aberto, sistemas de gerenciamento de frota e otimização e integridade de dados de sistema de despacho.

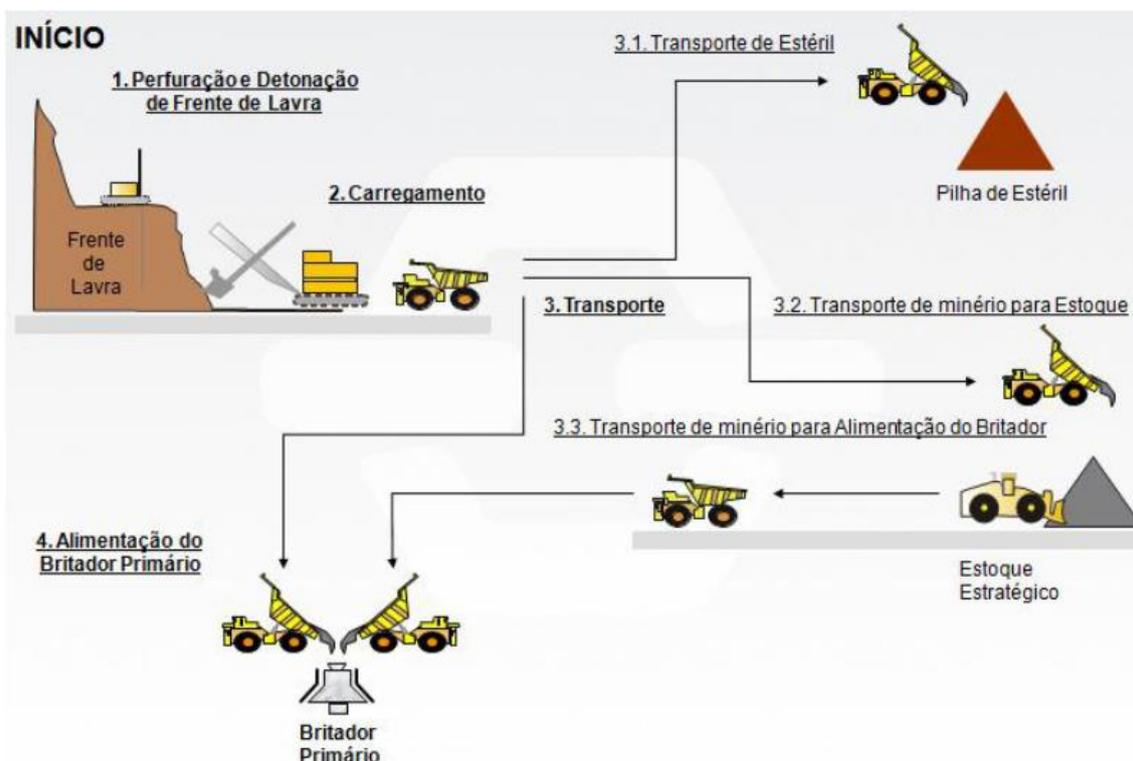
3.1 CICLO DE PRODUÇÃO

Segundo Hartman (2002), as atividades de mineração são realizadas de maneira cíclica, usando uma série de etapas fundamentais para transportar o material que está sendo extraído. As etapas básicas necessárias para a extração mineral do depósito, de maneira a aproveitá-lo economicamente são classificadas, de acordo com Hartman e Mutmansky (2002), pelas seguintes tarefas, que formam as operações unitárias básicas para um ciclo de produção em mina.

Ciclo de Produção = Perfuração + Detonação + Carregamento + Transporte.

Em minas a céu aberto, as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada. Após a detonação, o equipamento de carga é deslocado para frente de lavra, no local onde a carga foi desmontada, e se inicia o processo de carregamento. Os caminhões carregados transportam o material até determinados pontos de descarga: britadores, estoques de minério e pilhas de estéril (FELSCH JÚNIOR, 2014). Em seguida são alocados para uma frente de lavra disponível, onde o ciclo operacional é reiniciado conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Ciclo operacional simplificado das operações unitárias de mina à céu aberto.



Fonte: FELSCH JUNIOR, 2014.

Segundo Srajer et al. (1989), a operação eficiente de caminhões e equipamentos de carga em minas depende da alocação adequada de caminhões a equipamentos de carga e a pontos de descarga. A falta de sincronização entre as etapas de carga e descarga de material pode ocasionar filas, conseqüentemente, esperas e ociosidade de equipamentos e funcionários, caracterizado por Fitzsimons e Fitzsimons (2014) como sendo a demanda excedente a capacidade do servidor, requerendo gerenciamento especial para solução de tais situações.

3.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE FROTA

Montoya et al. (2015) dizem que a etapa de transporte dentro de uma cadeia de fornecimento corresponde a conseguir movimentar determinado material entre dois pontos geográficos, e que tal processo logístico pode envolver de 30 a 70% dos custos de um produto.

Segundo Munirathinam e Yingling (1994), sistemas de gerenciamento de frotas de transporte e carregamento estão sendo cada vez mais aplicados para melhorar a utilização de equipamentos e a produtividade em minas a céu aberto e para ajudar a assegurar que as

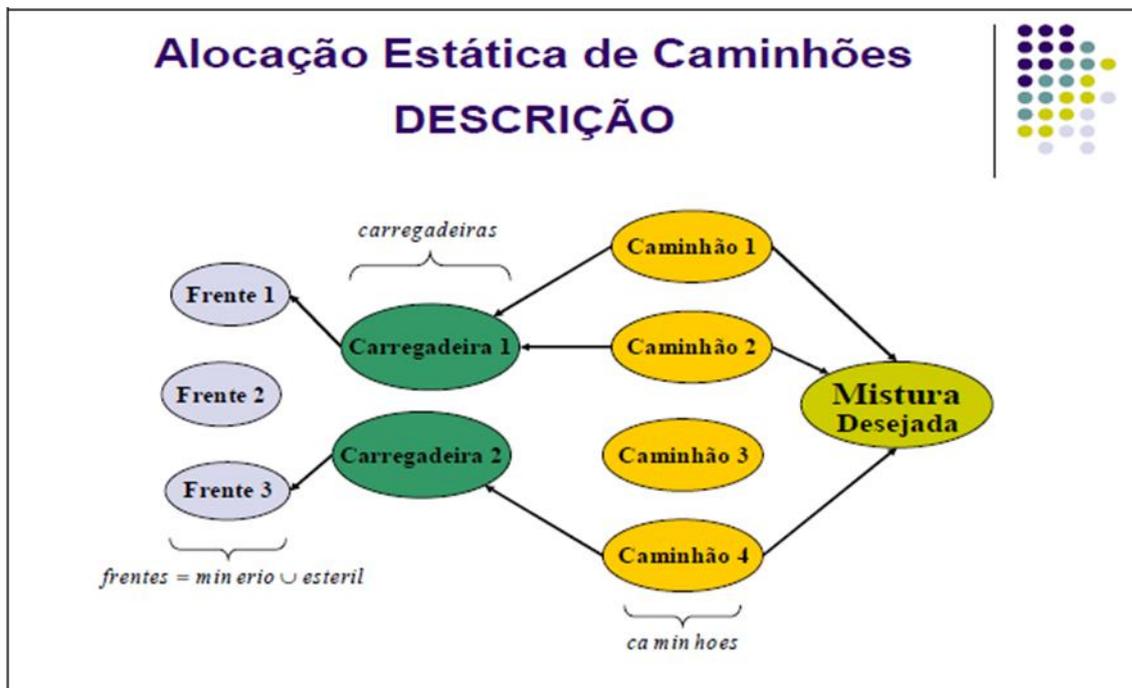
operações de extração nessas minas estejam dentro das premissas de desempenho estabelecidas. Em consequência de quebra de equipamentos, variações nas condições de escavação, capacidade de caminhões, características da mistura, frequentemente, a alocação de caminhões é requerida para manter a operação eficiente.

Em minas a céu aberto, são utilizados dois critérios para a alocação de caminhões: alocação estática e alocação dinâmica. Historicamente, as minas a céu aberto sempre operaram utilizando a alocação estática devido à falta de ferramentas e modelos consistentes, mas com o advento da possibilidade de monitoramento e controle por computador, a alocação dinâmica ganhou espaço entre as indústrias, despachando os caminhões para a lavra com maior possibilidade de contribuição para o atendimento dos objetivos de produção a curto prazo (KOLONJA *et al.*,1993).

A alocação estática ainda é um método utilizado em minas de pequeno e médio porte, isto por não apresentar a obrigatoriedade de utilização de um sistema automático de alocação normalmente associado a softwares e com maiores custos associados. Porém esse método proporciona menor produtividade devido às filas de caminhões e à ociosidade dos equipamentos de carga (COSTA, 2011). Além disso, esse método tende a provocar uma maior variância dos teores do ROM ao longo do tempo, devido ao fato de não haver um controle efetivo e sistemático das descargas dos caminhões.

Nesse sistema, cada caminhão é alocado a uma única rota, ou seja, permanece se deslocando entre dois pontos fixos, um de carga e outro de descarga, conforme ilustrado na figura 3. De acordo com Costa et al. (2004), para viabilizar a lavra em diferentes frentes os equipamentos devem ser alocados de acordo com suas disponibilidades de operação e produtividades. Esses equipamentos de carga devem ser alocados de modo que seja considerada a compatibilidade com os equipamentos de transporte e a utilização máxima de sua capacidade de produção. Essa compatibilidade está relacionada, principalmente, com o número de passes necessários para encher a caçamba do caminhão.

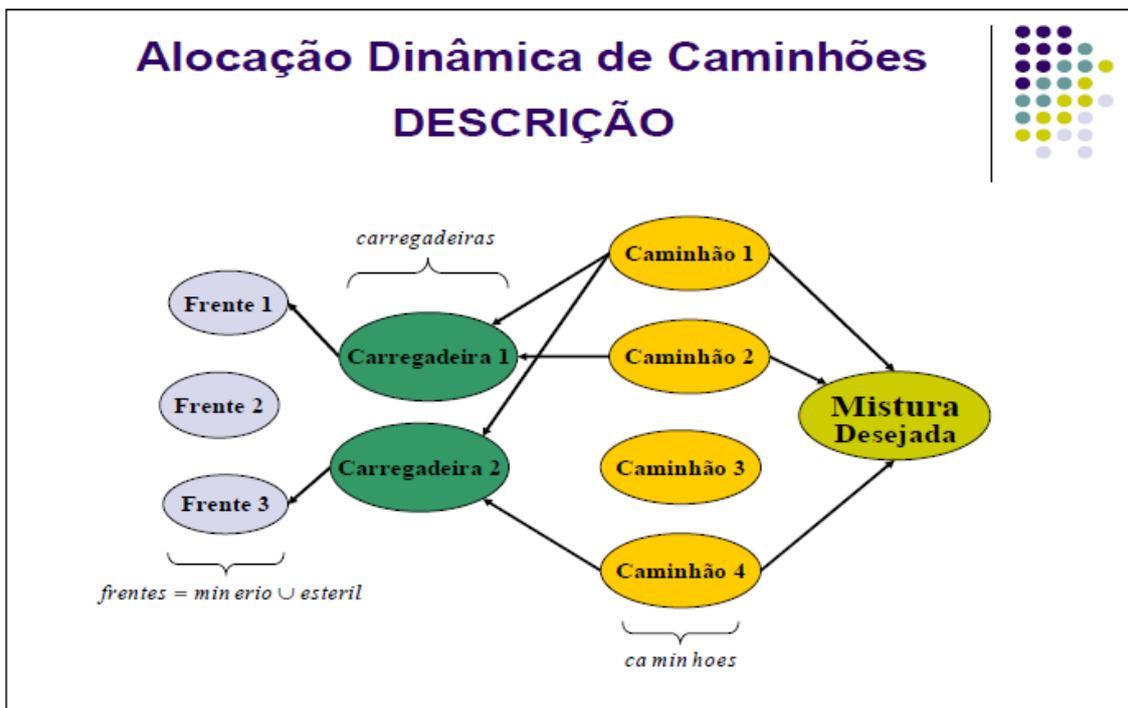
Figura 3 - Alocação estática de caminhões.



Fonte: ARAÚJO, 2008.

Na alocação dinâmica, um caminhão pode ser alocado a novos pontos de carga e basculamento de forma a prevenir a formação de filas e aumentar a produtividade da frota. Este aumento de produtividade da frota pode refletir um aumento na capacidade de produção da mina ou a redução do número de equipamentos necessários para manter o mesmo nível de produção. Para isso, é importante que o despacho de caminhões seja eficiente (COSTA, 2005). A figura 4 exemplifica o sistema de alocação dinâmica de caminhões.

Figura 4 - Alocação dinâmica de caminhões.



Fonte: ARAÚJO, 2008.

Merschann e Pinto (2001) sugeriram dois modelos diferentes para a alocação dos equipamentos, ambos buscando maximizar o ritmo de lavra. Um destes considera a alocação estática de caminhões e o outro adota um modelo de alocação dinâmica. O modelo de alocação dinâmica contempla o problema da mistura e a alocação de equipamentos de carga, o atendimento da relação estéril/minério mínima e considera a alocação dinâmica dos caminhões.

Ezawa e Silva (1995) desenvolveram um sistema de alocação dinâmica de caminhões visando a redução da variabilidade dos teores dos minérios produzidos e a geração de ganhos de produtividade no sistema de transporte na Mina do Pico, em Itabirito. Segundo os autores, a preocupação se faz necessária devido à complexidade geológica da reserva da mina. Este sistema pode ser considerado um exemplo de tentativa de utilização dos dois critérios de despacho (qualidade e produtividade), mas não considera as políticas simultaneamente.

Segundo Knights e Bonates (1999), pode se dizer que os termos “alocação dinâmica” e “despacho” são equivalentes.

3.2.1 SISTEMA DE DESPACHO

A primeira instalação de um sistema computadorizado de despacho registrado ocorreu em 1979, na mina de cobre chamada Tyrone, próxima a cidade de Silver City, estado do Novo México, Estados Unidos.

Segundo Alarie e Gamache (2002) problemas de despacho de caminhões não ocorrem apenas na indústria mineral. Eles estão presentes em qualquer indústria que gerencia uma frota de veículos ou um grupo de pessoas, tal como indústrias de transporte, táxi e entrega de pacotes. Entretanto, aplicado às minerações apresenta simplificações em relação ao encontrado em outras indústrias.

Dentre essas simplificações, esses mesmos autores, citam que minas são sistemas fechados, os pontos de carga e descarga permanecem à mesma distância por um longo período de tempo, as distâncias são pequenas comparadas com a duração do turno e a frequência da demanda de cada ponto é alta.

O sistema de despacho é uma ferramenta de gerenciamento de equipamentos de mina que permite maximizar a produtividade e minimizar os custos operacionais a partir de tomada de decisões utilizando dados em tempo real e outras variáveis definidas manualmente, de acordo com a necessidade individual de cada mina (COSTA, 2011). É um software de gerenciamento que combina tecnologia de computadores, comunicação de rádios e GPS (Modular Mining Systems Inc, 2005).

Um sistema de despacho reúne um algoritmo de sequenciamento de viagens, um sistema de comunicação entre os equipamentos de carga, caminhões e central de comandos. O algoritmo utilizado permite tomar a melhor decisão no gerenciamento de equipamentos considerando o cenário atual da mina - dados coletados em tempo real e dados de entrada como topografia e configurações previamente definidas pela equipe técnica da mina. O sistema é multidirecional, recebe dados em tempo real e o monitoramento das operações é altamente efetivo.

Segundo Munirathinam e Yingling (1994), White et al. (1982), Alvarenga (1997) e Alarie e Gamache (2002), com sistemas de despacho, espera-se aumento da produtividade com a utilização dos recursos existentes (caminhões e equipamentos de carga) ou a produção desejada com redução da necessidade de equipamento. Para Qing-hua *et al.* (2008) a aplicação prática indica que o sistema aumenta consideravelmente a produtividade e eficiência de

produção em minas e poupa investimentos e custos de transporte. Essas metas são alcançadas por considerações cuidadosas de alternativas de alocação de caminhão/equipamento de carga em tempo real e determinação de decisões de alocação que aumentem a utilização de recursos e diminuam o tempo de espera em todos os caminhos.

De acordo com Çetin (2004), o “Dispatch”, sistema de despacho desenvolvido pela Modular Mining System ® é um dos mais poderosos sistemas e é utilizado em muitas minas a céu aberto pelo mundo, inclusive na Mina do Sossego.

3.2.1.1 ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO DISPATCH

A estratégia de otimização do Dispatch envolve a alocação ótima de recursos de transporte (caminhões) entre escavadeiras com o objetivo de maximizar a produtividade global dos caminhões. Essa alocação de tonelada é limitada por restrições operacionais - capacidade do britador, qualidade de material, capacidades de escavação, etc., e prioridades definidas (Modular Mining Systems Inc, 2005).

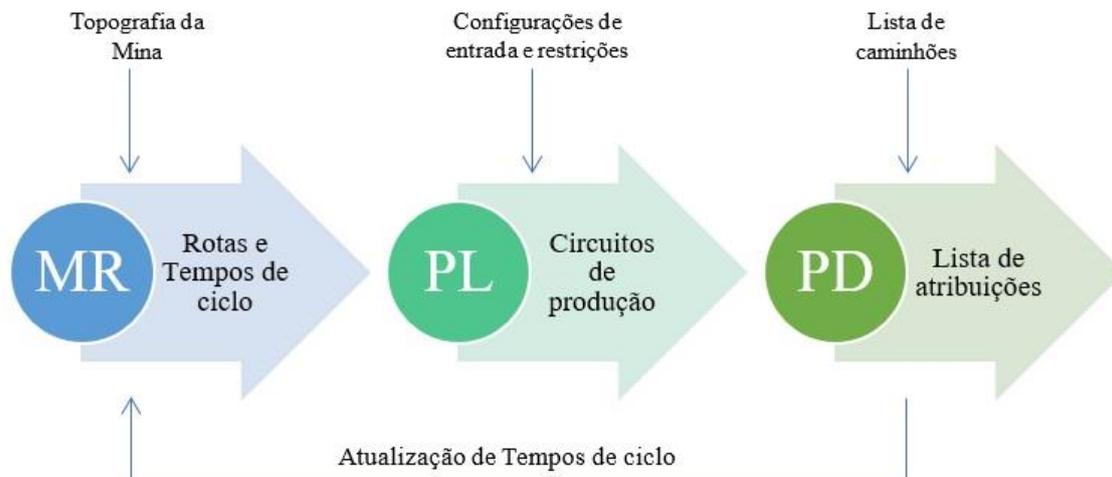
O algoritmo do sistema utiliza dados da rede de estradas, topografia, menor rota entre pontos e outras configurações definidas e a partir dessas informações cria um “plano mestre” com o objetivo de maximizar a produtividade dos caminhões.

A estratégia é composta de duas fases:

- 1) MR + PL (melhor rota e programação linear)
- 2) PD (programação dinâmica)

A fase da estratégia envolve o cálculo da menor rota entre dois pontos A e B pela MR, que alimenta a PL com informações de rede de estradas e topografia da mina antes de tentar qualquer otimização. A MR é recalculada toda vez ocorre uma mudança nas rotas e topografia. Através das informações coletadas, a PL cria um plano mestre considerando os recursos disponíveis, as prioridades e as restrições, com o objetivo de maximizar a produtividade dos caminhões. A figura 5 ilustra como a MR, PL e PD se interagem para maximizar a produtividade dos caminhões.

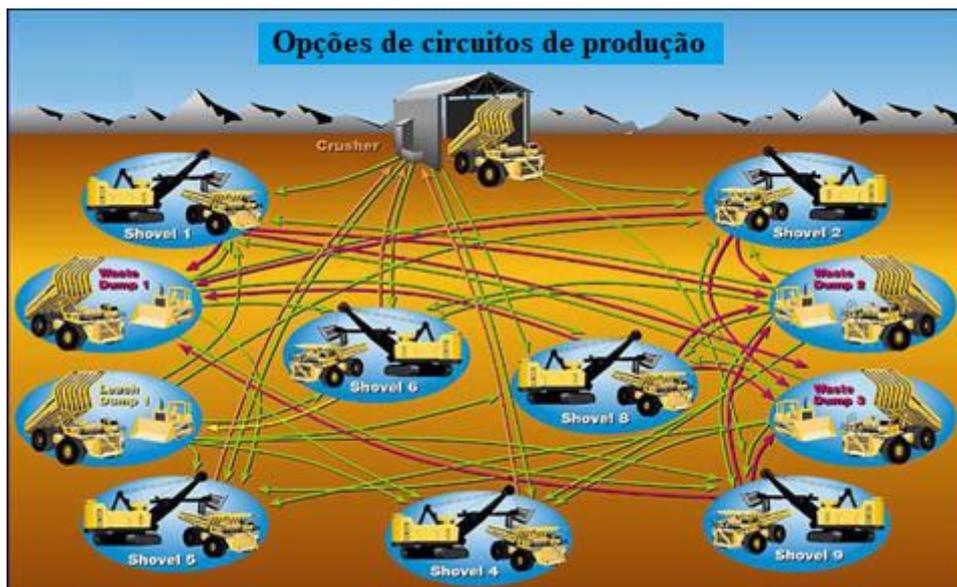
Figura 5 - Interação MR, PL e PD.



Fonte: Adaptado de Modular Mining Systems, 2005.

Esse plano (solução do problema de programação linear) contém circuitos otimizados de produção que indicam quais os pontos de basculamento devem fornecer recursos (caminhões vazios) para quais escavadeiras, considerando o tipo de caminhão ótimo, produtividade das escavadeiras e localização do recurso de carregamento. A figura 6 apresenta as opções de circuito para o despacho antes do cálculo da PL.

Figura 6 - Opções de circuitos antes da PL.



Fonte: Adaptado de Modular Mining Systems, 2005.

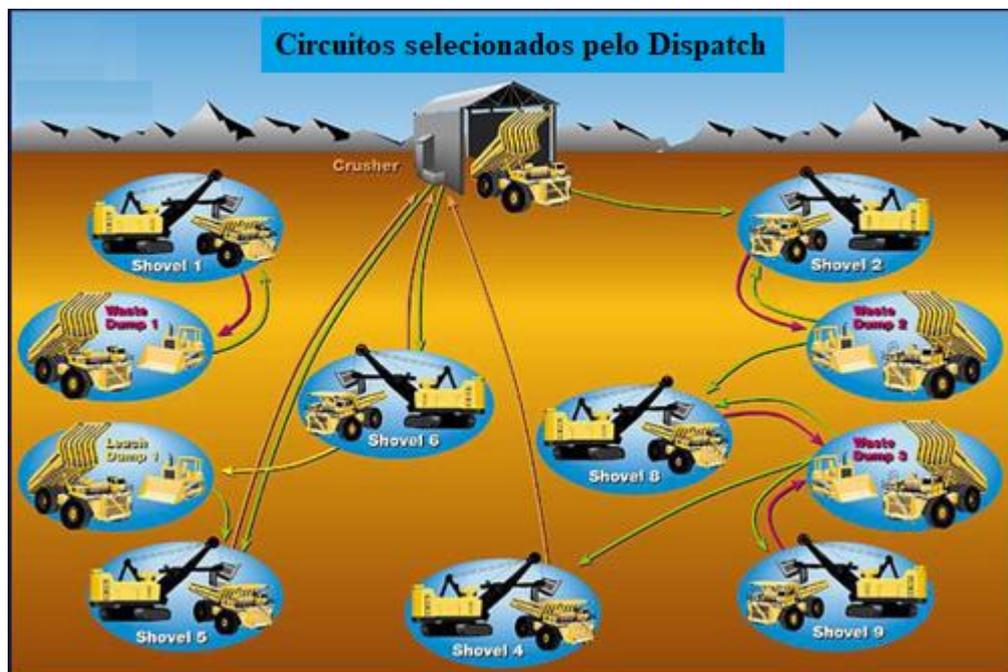
A PL então define um peso (produtividade dos caminhões) para cada circuito possível considerando restrições como barramento, rotas fechadas, etc., que podem tornar alguns circuitos impossíveis. As equações 3.4 e 3.5 mostram o cálculo utilizado pela PL para definir a produtividade dos caminhões para os circuitos cheio e vazio.

$$\textit{Produtividade circuito cheio} = \frac{\textit{Tamanho do caminhão}}{\textit{Tempo de viagem} + \textit{Tempo de basculo}} \quad (3.4)$$

$$\textit{Produtividade circuito vazio} = \frac{\textit{Tamanho do caminhão}}{\textit{Tempo (viagem} + \textit{manobra} + \textit{carregamento)}} \quad (3.5)$$

Após ranquear os circuitos possíveis, o algoritmo de programação linear seleciona os circuitos mais produtivos, ou seja, aqueles com menor tempo de viagem e maior taxa de carregamento e aloca para cada um a maior taxa de alimentação possível, considerando as restrições (taxa de escavação, percentual de utilização, taxa de alimentação da britagem, parâmetros de qualidade, etc.) e recursos de transporte disponíveis. Na figura 7 vemos os circuitos mais produtivos selecionados pela PL após os cálculos.

Figura 7 - Opções de circuitos selecionados pela PL.



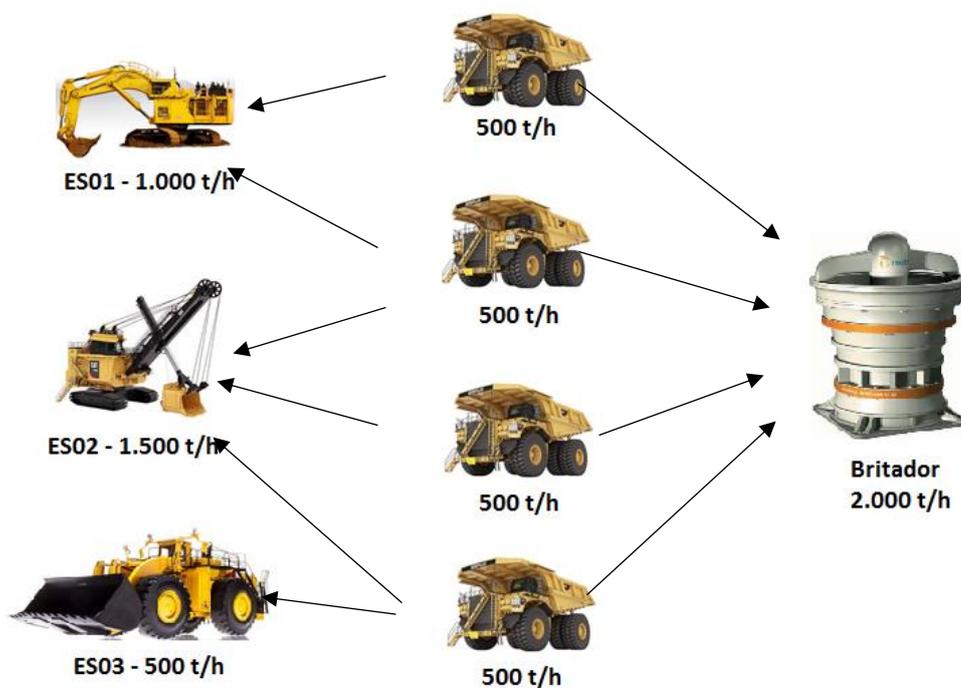
Fonte: Adaptado de Modular Mining Systems, 2005.

Após isso, o algoritmo calcula o número de caminhões necessários para atingir as taxas de alimentação calculadas para cada circuito (equação 3.6). O tamanho do caminhão ótimo é definido através de dados históricos e pela relação do tamanho da caçamba *versus* o tamanho do caminhão, que determina o número de passes necessários para encher o caminhão e, portanto, o tempo de carregamento do circuito.

$$N^{\circ} \text{ de caminhões} = \frac{\text{Taxa de alimentação do circuito} \times \text{Tempo de viagem}}{\text{Tamanho do caminhão ótimo}} \quad (3.6)$$

Na segunda fase da estratégia de otimização, a programação dinâmica (PD) tenta atingir, em tempo real, as taxas de alimentação dos circuitos de produção calculados pela PL, designando caminhões ótimos (quando possível) para os circuitos. É nessa etapa que são considerados restrições como barramentos, frente fixa, fechamento de rotas, etc. Na figura 8 é apresentado um circuito hipotético simplificado com os recursos necessários para atingir as taxas de alimentação calculadas pela PL.

Figura 8 - Circuito otimizado hipotético.



Fonte: Adaptado de COSTA, 2011.

Prioridades influenciam a programação linear em casos onde a mina está sub capacitada de caminhões (operando com menos caminhões do que o número necessário calculado pela programação linear). Nos casos de haver um número igual ou maior de caminhões (sobre capacidade), prioridades não afetam a programação linear, pois existem recursos necessários para programação linear atender a necessidade de todas as escavadeiras. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam o ranking de escavadeiras de acordo com as prioridades utilizadas.

Tabela 1 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se estéril igual a minério.

Estéril igual a Minério		
Material Escavado	Prioridade	Ranking
Minério ou estéril	Alta	1
Minério ou estéril	Normal	2
Minério ou estéril	Baixa	3

Tabela 2 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se minério acima de estéril.

Minério acima de Estéril		
Material Escavado	Prioridade	Ranking
Minério	Alta	1
Minério	Normal	2
Minério	Baixa	3
Estéril	Alta	5
Estéril	Normal	6
Estéril	Baixa	7

Tabela 3 - Ranking das escavadeiras por prioridade utilizada se estéril acima de minério.

Estéril acima de Minério		
Material Escavado	Prioridade	Ranking
Estéril	Alta	1
Estéril	Normal	2
Estéril	Baixa	3
Minério	Alta	5
Minério	Normal	6

Minério	Baixa	7
---------	-------	---

No caso de sub capacitação, algumas escavadeiras podem ficar ociosas ou totalmente inutilizadas pela programação linear. Contudo, o operador do sistema de despacho pode alterar quais escavadeiras serão menos utilizadas, geralmente essa “alteração” só é feita para atingir metas de produção e qualidade estabelecendo prioridades.

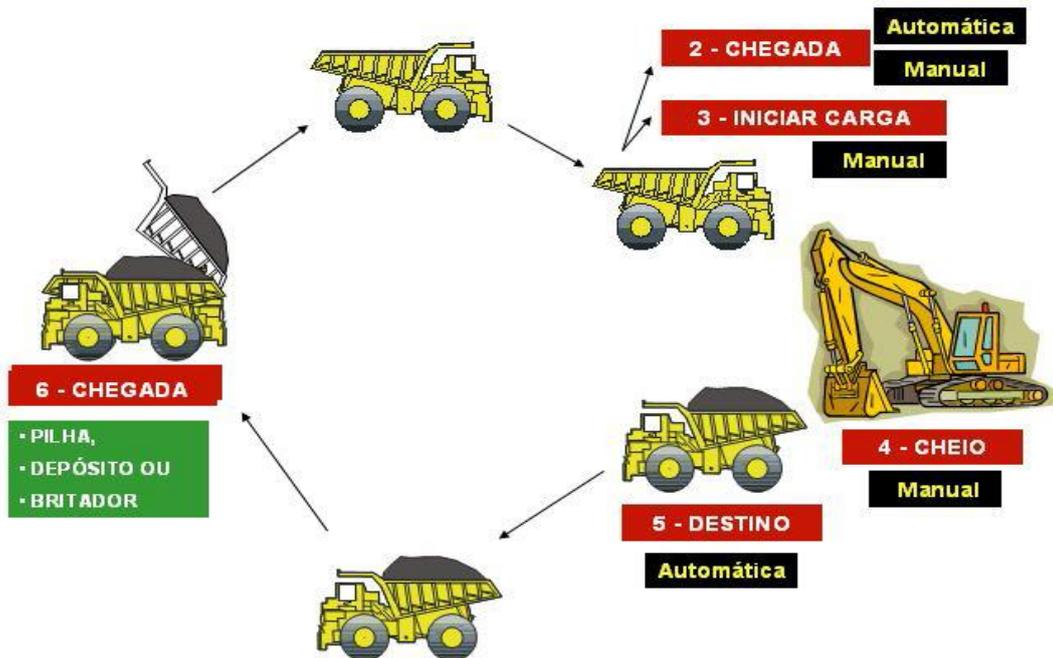
3.2.1.2 CICLO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DISPATCH

O processo de transporte por caminhões tem por objetivo deslocar o material desde sua origem na frente de lavra até o seu destino final da mina. O ciclo de produção dos caminhões se inicia na alocação do caminhão para alguma atividade e é realizada pela sala de controle no sistema de despacho. Pode ser realizada uma alocação dinâmica, buscando-se uma otimização de produção através de algoritmos computacionais ou pode ser feita manualmente buscando a fixação da frota em determinada frente de lavra (COUTINHO, 2017).

O sistema de despacho faz todo o monitoramento das atividades dos equipamentos no ciclo de carregamento e transporte ilustrado na figura 9 e separa estas atividades em tempos, calculados através de ações em campo. Desta forma é possível atuar nos pontos em que a operação estiver com os tempos acima do estabelecido como meta para determinada atividade. Os tempos do ciclo podem ser divididos em:

- Tempo de manobra;
- Ociosidade das máquinas de carga;
- Tempo de fila dos caminhões;
- Tempo de carregamento;
- Tempo de basculamento;
- Tempo de transporte.

Figura 9 - Ciclo de carregamento e transporte.



Fonte: Modular Mining Systems, 2005.

O sistema de despacho direciona os caminhões para os equipamentos de carga de forma automática, com a ativação do comando “destino” feito pelo operador através do computador de bordo alocado no equipamento e a partir desta ação começa a ser contabilizado o tempo de deslocamento vazio.

Ao chegar à praça de carregamento indicada, o operador informa esta ação, novamente no computador de bordo, iniciando a contagem do tempo de manobra para o carregamento ou tempo de fila (caso haja algum caminhão em carregamento no momento). O tempo de manobra para o caso de não ter nenhum caminhão na escavadeira quando o caminhão chegar é definido como a diferença entre o tempo que o caminhão inicia a carga menos o tempo em que o caminhão chega na escavadeira.

Para o caso onde já tenha um caminhão carregando na escavadeira quando o caminhão chega é definido como a diferença entre o tempo que o caminhão inicia a carga menos o tempo que a escavadeira libera o caminhão cheio que estava sendo previamente carregado. O tempo em fila dos caminhões é definido como a diferença entre o tempo que a escavadeira libera o caminhão previamente carregado menos o tempo em que o caminhão atual chega à escavadeira. Se nenhum caminhão estiver carregando na escavadeira, o tempo médio será contado pelo sistema como zero segundo.

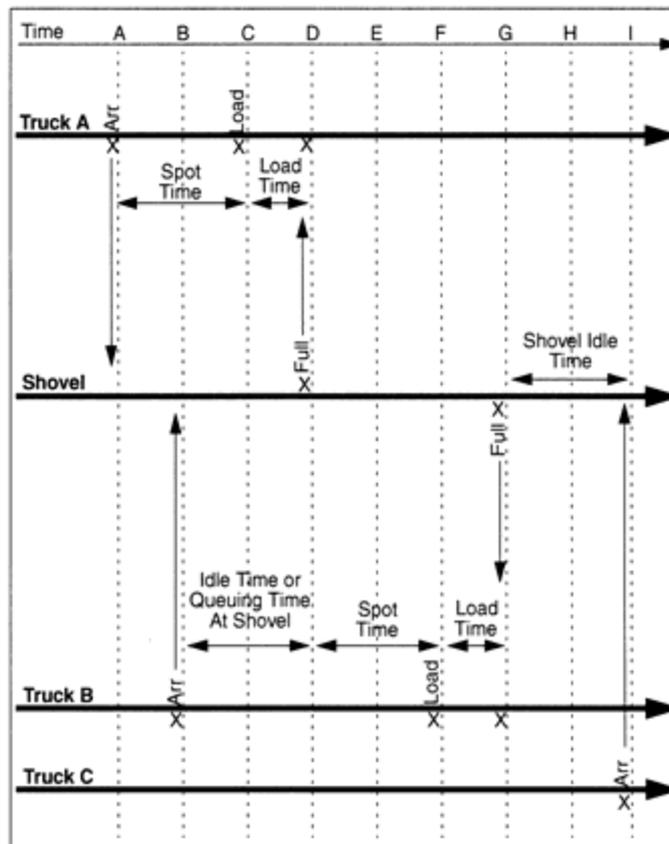
Após a realização da manobra, no momento em que se iniciar o processo de carregamento, o operador deve apontar o “início de carga”, desta forma é finalizado a contagem do tempo de manobra e se inicia o tempo de carregamento. O tempo de ociosidade das máquinas de carga é definido como a diferença da chegada de um caminhão na máquina e o momento em que ela liberou o caminhão que estava sendo carregado anteriormente. Se os caminhões estão continuamente nas máquinas de carga, então o tempo médio será contado pelo sistema como zero segundo.

Completada a ação de carregamento, o operador do equipamento de carga deve apontar o fim do carregamento, indicando que o caminhão está carregado e pronto para transportar o material até o local de basculamento. O tempo de carregamento é, portanto, definido pela diferença entre a ação “cheio” que indica o fim do carregamento e a ação “início de carga”. Após esta ação, o sistema de despacho aloca este equipamento, de forma automática, ao ponto de descarga.

A próxima etapa contabilizada é o tempo de deslocamento carregado. Ao chegar no ponto de basculamento, o operador realiza a última etapa do ciclo, novamente a “chegada”, iniciando a contagem do tempo de basculamento. O cálculo do tempo da manobra do basculamento é uma média da diferença entre o momento da chegada do caminhão no ponto de descarga até o momento em que ele conclui o basculamento, subtraído do tempo basculamento propriamente dito, (este é definido pelo usuário do sistema). Ao término do basculamento, o ciclo se reinicia com o pedido de um novo “destino”.

A figura 10 exemplifica a forma de cálculo para os tempos de ciclo feita pelo sistema de despacho.

Figura 10 - Exemplificação de cálculos de tempo para o sistema de despacho.



Fonte: Modular Mining Systems, 2005.

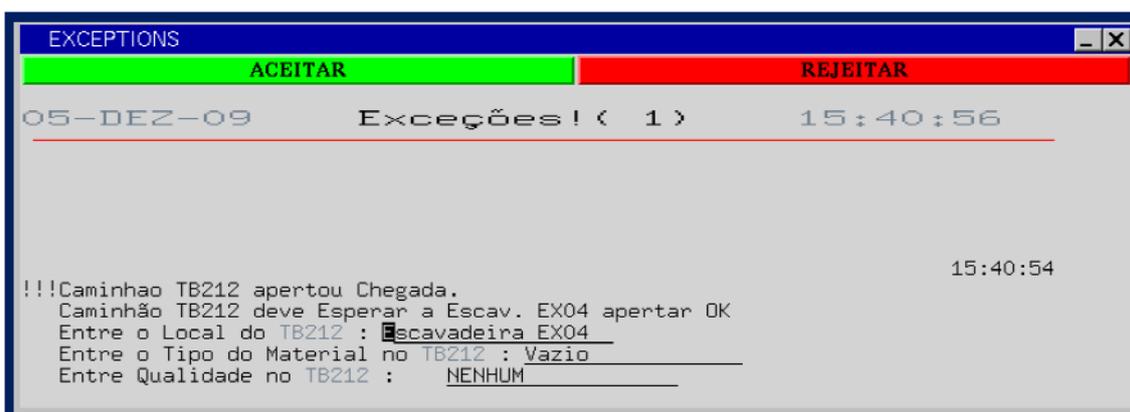
De acordo com a figura anterior, o caminhão A (*truck A*) é o primeiro a chegar (arr.) na escavadeira (*shovel*), o tempo entre a chegada e o início de carga (*load*) é considerado tempo de manobra (*spot time*). O tempo entre o início de carga e o cheio (*full*) da escavadeira é contabilizado como tempo de carregamento (*load time*). Quando o caminhão B (*truck B*) chega na escavadeira, o caminhão A já está carregando, este tempo entre a chegada do caminhão B e o cheio da escavadeira para o caminhão A é considerado tempo em fila para o caminhão B (*idle time* ou *queuing time at shovel*). O tempo entre o fim da espera em fila e o início de carga é considerado tempo de manobra para o caminhão B. O espaço de tempo compreendido entre o início de carga e o cheio da escavadeira para o caminhão B é considerado como tempo de carregamento. Podemos ver neste exemplo que o tempo entre o cheio para o caminhão B e a chegada do caminhão C é computado como sendo tempo ocioso para a escavadeira (*shovel idle time*).

3.2.1.3 EXCEÇÕES GERADAS PELO DESPACHO

Ações realizadas fora da ordem do ciclo de carga e transporte geram exceções no sistema Dispatch que indicam alguma anomalia vinda do campo e alertam o controle operacional para a necessidade do tratamento desta ação. É possível aceitar, rejeitar ou modificar a ação gerada, para que o sistema faça a realocação do equipamento na ação correta do ciclo de carga e transporte.

A tela de exceções (figura 10) é umas das ferramentas que mais requer a interação do despachante, que é responsável pelo controle operacional do sistema de despacho, pois através dela é possível realizar o tratamento das exceções, receber mensagens do campo e mudanças de estado do equipamento. As exceções aparecem na tela na ordem cronológica, conforme ocorrerem em campo e é necessário ler e tratar cada uma para que a seguinte apareça na tela.

Figura 11 - Tela de exceções disponível no controle operacional do sistema de despacho.



Fonte: Modular Mining Systems, 2010.

As exceções são divididas em cinco categorias: exceções de chegada, exceções de designação, exceções de carga/cheio, exceções de estado, exceções gerais e informativas (não precisam de tratativa). Enquanto o operador do equipamento uma resposta da sua exceção gerada, a mensagem “despachante precisa verificar” aparecerá no computador de bordo do equipamento e é necessário que aguardar a tratativa da ação pelo controle operacional.

Apenas uma exceção é exibida por vez na tela de exceções, as demais são armazenadas em ordem cronológica e um contador registra o número de exceções pendentes em tela. Toda a tratativa (aceite, rejeição ou modificação) dada pelo controle operacional às exceções geradas em campo é armazenado no banco de dados do despacho.

3.3 INTEGRIDADE DE DADOS

Para atingir o sucesso em qualquer negócio, a tomada de decisões deve ser baseada no desempenho do negócio e onde são necessárias melhorias no processo. Com os últimos desenvolvimentos em tecnologia, é possível monitorar continuamente as várias atividades dos equipamentos, gravando e armazenando seus indicadores de desempenho em bancos de dados, visando a centralização de dados e integração para uma análise mais elaborada (CORONADO e TENORIO, 2015).

Neste trabalho, integridade de dados é definida como a confiabilidade das informações geradas durante o ciclo operacional da mina e que servem como dados de entrada para a tomada de decisões do algoritmo de otimização do sistema de despacho e geração de inúmeros relatórios de indicadores operacionais.

3.3.1 INTEGRIDADE DE DADOS DO DESPACHO

Werkema (2014) define que os dados representam a base para a tomada de decisões confiáveis durante a análise de qualquer problema. Grandes operações mineiras utilizam informações extraídas do banco de dados do sistema de despacho para a elaboração de relatórios de produção e indicadores de mina como, por exemplo, custos, consumo de insumos, produtividade, utilização e disponibilidade física de equipamentos, entre outros.

Segundo Costa e Ganga (2010) o software Dispatch fornece dados históricos com alto nível de confiabilidade e o banco de dados disponibilizado pelo sistema possibilita um melhor gerenciamento da mina. Entretanto, este trabalho analisa a confiabilidade dos dados coletados em tempo real pelo sistema e aplicado para inúmeros fins, bem como avalia possíveis distúrbios operacionais que possam comprometer a confiabilidade desses dados.

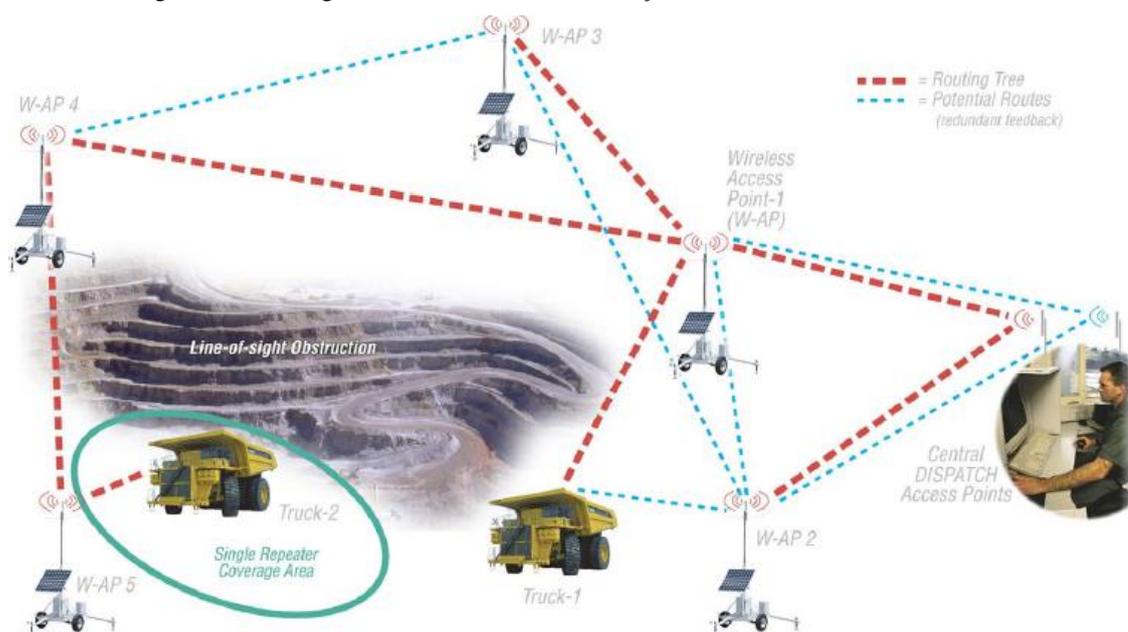
Segundo White e Olson (1986), para que o sistema de despacho seja completo é importante que o sistema de monitoramento dos equipamentos seja preciso e confiável, de modo que as operações da mina possam ser otimizadas em tempo real. No que se refere à coleta de dados, o sistema recebe continuamente, consulta e armazena dados através de uma rede de telecomunicações para atualizar registros, tomar decisões e gerar relatórios.

3.3.1.1 COMUNICAÇÃO E PRINCIPAIS COMPONENTES

O sistema Dispatch é integrado, basicamente, por software simulador (princípios de Pesquisa Operacional aplicada) e a comunicação se dá através de informações via rede wireless, antenas GPS e computador de bordo instalados em todos os equipamentos em operação e rádio de comunicação. Consta de um conjunto central de computadores responsável pelos cálculos de otimização da movimentação, uma rede de telecomunicação via wireless com taxas de dados de alta velocidade, hardwares produzidos especialmente para o ambiente de mineração e consoles gráficos de bordo instalados nos equipamentos de mina.

A rede é composta por hardwares de processamento e conversão de dados (antenas repetidoras móveis, access points, links secundários) que são responsáveis pela distribuição do sinal de rádio na mina. Pela figura 11 é possível ter uma visão geral da rede de comunicação da mina e interação entre equipamentos e hardwares. A atualização da posição de cada equipamento de mina é realizada através de receptores GPS (Global Positioning System) instalados em pontos estratégicos dos equipamentos e a informação é transmitida ao computador central na sala de controle por meio de sinal de rádio.

Figura 12 - Vista geral de rede de telecomunicação via wireless na mina.



Fonte: Modular Mining Systems, 2004.

Para distribuição do sinal em toda a mina são utilizadas antenas repetidoras fixas e móveis (figura 13) que permitem a distribuição rápida e maior mobilidade de cobertura na mina. Também são instaladas antenas de rádio (figura 12) nas laterais do equipamento para receber o sinal distribuído.

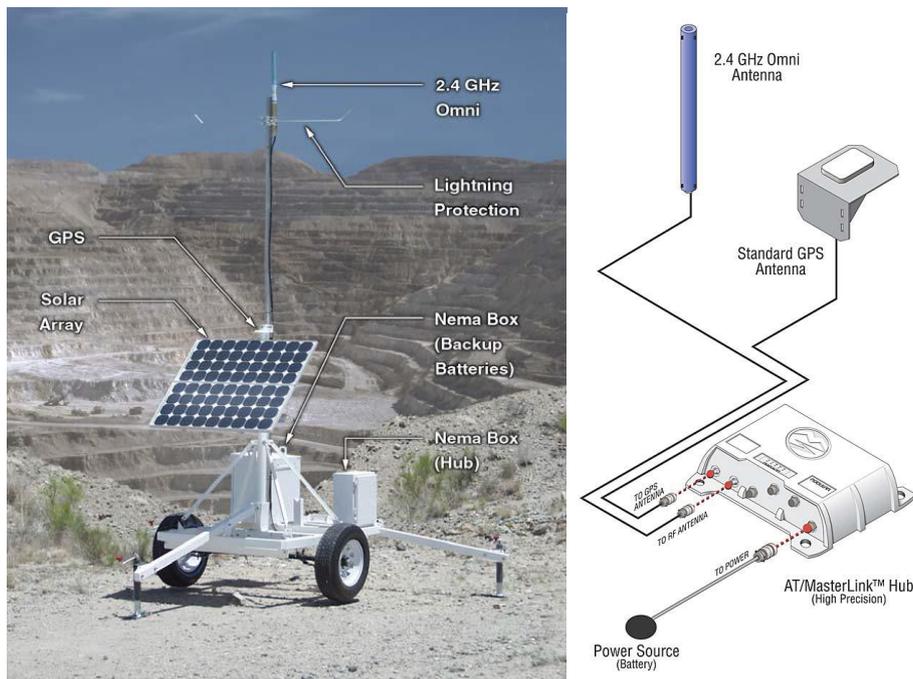
Figura 13 - Rádio antena instalada na lateral dos equipamentos.



Fonte Modular Mining Systems, 2004.

Para garantir uma cobertura total em todas as regiões da mina, existem repetidoras posicionadas em locais estratégicos. No entanto, como os equipamentos se deslocam livremente pelas diversas regiões da mina, o canal de comunicação destes com o central devem ser sempre ajustados de acordo com a região onde se encontra. Este constante monitoramento de canais dos equipamentos é feito automaticamente pelo sistema, onde comandos da central são enviados aos equipamentos quando estes são detectados nos pontos de transição entre as regiões da mina.

Figura 14 - Modelo de antena repetidora móvel de campo MasterLink.



Fonte: Modular Mining Systems, 2004.

A interação entre o sistema e operador se dá por um terminal local instalado dentro da cabine do equipamento, que é um display gráfico colorido com tela *touchscreen* (figura 14) e possibilita ao operador receber instruções do sistema, assim como também retornar informações.

Figura 15 - Computador de bordo do sistema Dispatch.



Fonte: Modular Mining Systems, 2010.

Para interagir com o sistema de despacho, o operador possui acesso a várias funcionalidades disponíveis no computador de bordo, conforme figura 15.

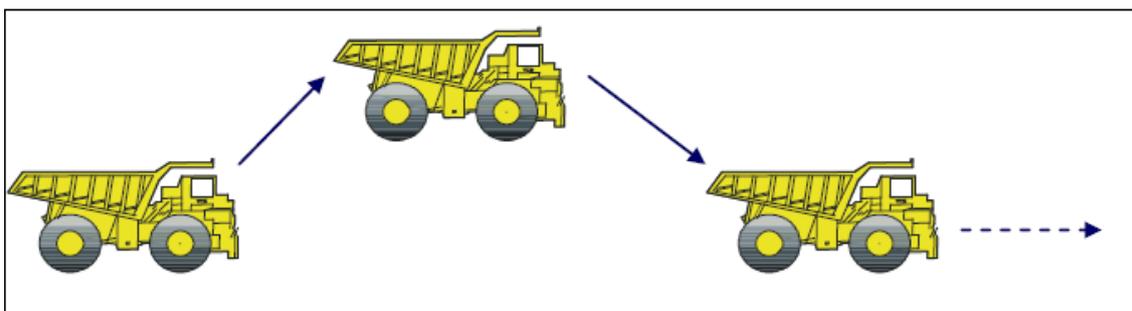
Figura 16 - Tela de interação entre operador e sistema de despacho.

Ações	Estados	Opções	Ações	Estados	Opções
				Olá A DISPATCH Pré-Início Completo – Obrigado	
Please Log On	Welcome to Intellimine		Próx.: Chegada	NORTE2-245	
		Hora:	ScrnCntr	Descargas: 0	Hora:

As funcionalidades do menu “Ações” são referentes a identificação do operador, inspeção do equipamento e funções de continuidade do ciclo. De especial importância para este trabalho são as funções de continuidade do ciclo descritas a seguir, pois a partir das apropriações de tempo feitas pelo operador são definidos e calculados os tempos do ciclo de carregamento e transporte, previamente detalhados no item 3.3.2 deste trabalho.

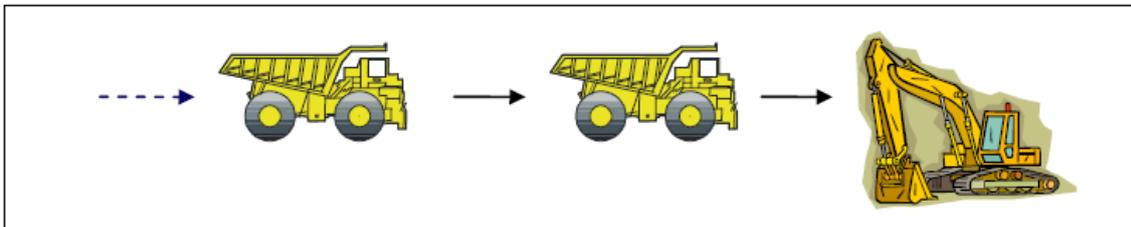
- Destino: ação em que o operador do caminhão é capaz de solicitar um destino, uma designação para um local de carregamento (figura 16);

Figura 17 - Início do ciclo e solicitação de destino pelo operador.



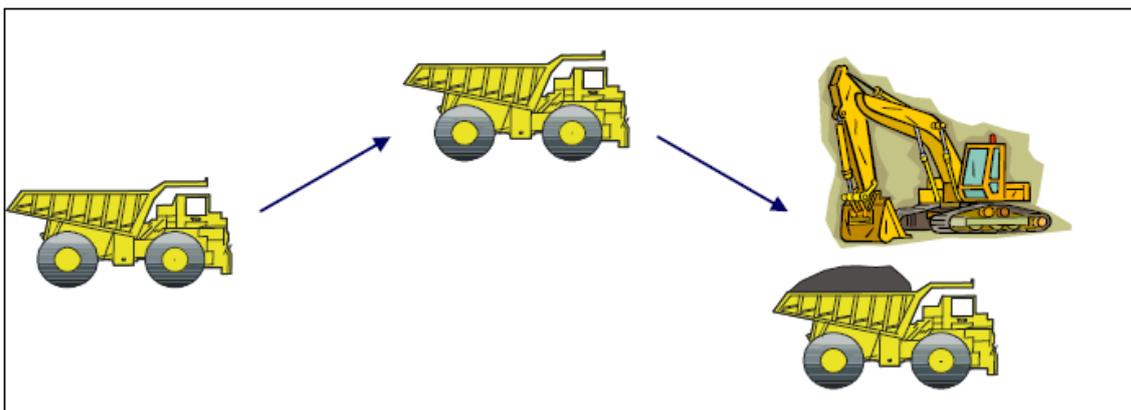
- Chegada: o operador do caminhão é capaz de informar ao sistema a chegada no local onde foi destinado (figura 17);

Figura 18 - Chegada no destino de carregamento.



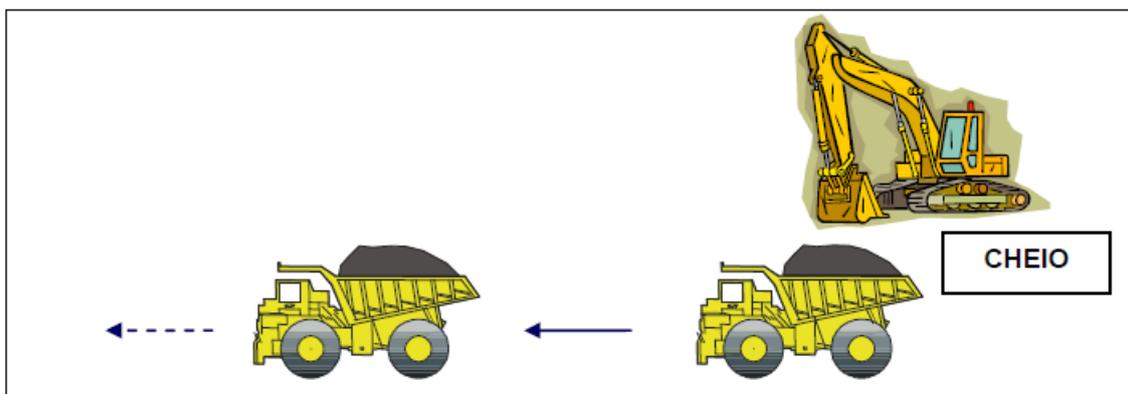
- Carregamento: o operador do caminhão informa ao sistema a “primeira caçambada”, o início o do carregamento na escavadeira ou pá mecânica (figura 18). O início de carregamento no caminhão pode ser feito automaticamente através da interface de carga com a balança do caminhão.

Figura 19 - Início de carregamento.



- Cheio: ação usada pelo operador o equipamento de carga para finalizar o carregamento do caminhão e liberá-lo para um local de basculamento (figura 19).

Figura 20 - Término de carregamento.



Além da busca pela otimização dinâmica das operações, o sistema também é responsável pela coleta e armazenamento em tempo real de todas as informações necessárias para controles de produção, indicadores de desempenho, entre outros, o que torna possível o acesso a informações completas quanto ao ciclo de produção.

3.3.1.2 BANCO DE DADOS

Segundo Takai et. al (2005), um Sistema Gerenciador de Base de Dados (SGBD) é uma coleção de programas que permitem aos usuários criarem e manipularem uma base de dados. Um SGBD é, assim, um sistema de software de propósito geral que facilita o processo de definir, construir e manipular bases de dados de diversas aplicações.

Definir uma base de dados envolve a especificação de tipos de dados a serem armazenados na base de dados. Construir uma base de dados é o processo de armazenar os dados em algum meio que seja controlado pelo SGBD. Manipular uma base de dados indica a utilização de funções como a de consulta, para recuperar dados específicos, modificação da base de dados para refletir mudanças no mini-mundo (inserções, atualizações e remoções) e geração de relatórios.

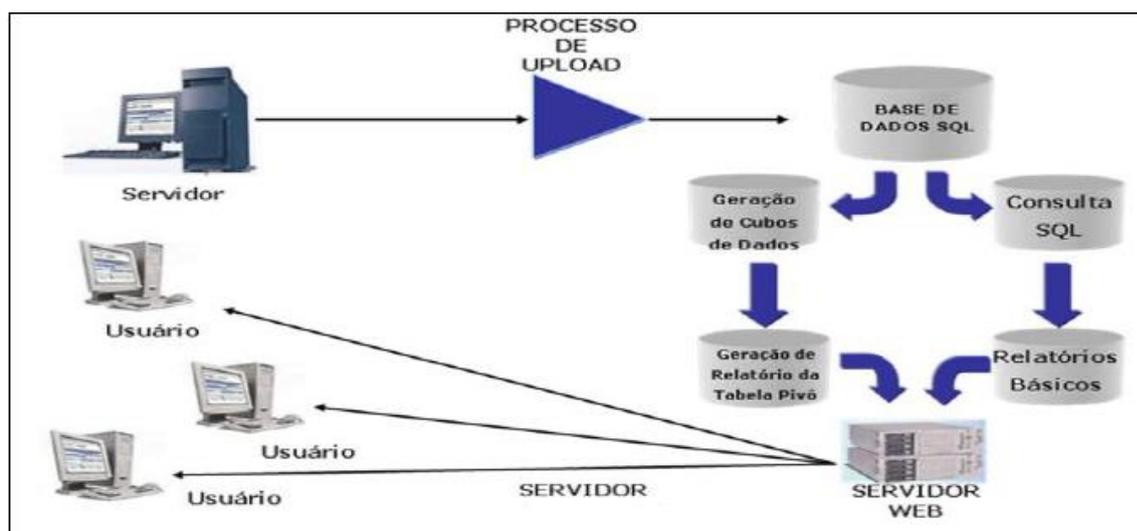
- Dados: Valor de um campo armazenado, matéria-prima para obtenção de informação;

- Informação: Dados compilados e processados de acordo com solicitação de consultas e análises.

Os dados enviados pelos equipamentos que possuem o sistema de despacho são armazenados em um servidor exclusivo, sendo possível realizar consultas frequentes. O banco de dados do sistema de despacho possui vários registros de operação e através de consultas pré-determinadas, desenvolvidas em linguagem SQL, são gerados relatórios sobre os dados coletados para inúmeros propósitos, como controle de custos, consumo de combustíveis, controle de estado dos equipamentos, etc.

A figura 20 demonstra o processo de *upload* do banco de dados do sistema Dispatch.

Figura 21 - Fluxograma simplificado da base de dados do sistema de despacho.



Fonte:

FELSCH JÚNIOR, 2014.

3.4 LEAN SEIS SIGMA

Reis (2016) apud Werkema (2014) descreve *Lean Seis Sigma* como a metodologia resultante da integração entre o Seis Sigma e o *Lean Manufacturing*, por meio da união dos principais pontos fortes de cada programa, portanto é uma ferramenta mais abrangente,

poderosa e eficaz que cada uma das partes individualmente e adequada para a solução de qualquer necessidade de melhoria de processos ou produtos.

O programa de qualidade Seis Sigma foi criado pela Motorola, em 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar os concorrentes estrangeiros que estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo (WERKEMA, 2014). Jesus (2015) determina que Seis Sigma tem raízes na Gestão pela Qualidade Total – GQT (TQC ou TQM) utilizando os conceitos de que a qualidade é de responsabilidade de todos, foco na satisfação dos clientes, significativo investimento na educação e treinamento em estatística, análise de causa raiz e metodologias de solução de problemas.

O *Lean*, por sua vez, teve as suas origens no produtor automotivo japonês Toyota, derivando de evoluções do *Toyota Production System* (TPS) (GELDERMAN e WEELE, 2011). O principal objetivo do TPS (também conhecido como *Just-in-Time*) era a identificação e a posterior eliminação de desperdícios, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a qualidade e a velocidade de entrega do produto aos clientes.

A implementação da metodologia Seis Sigma envolve uso de etapas focadas na melhoria contínua e um dos modelos adotado é o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*), que foi concebido e aperfeiçoado para aplicações em processos já existentes. Este modelo é constituído de cinco etapas, brevemente detalhadas na figura 21, que dividem o estudo em fases e facilitam a estruturação das atividades, sugerindo uma sequência lógica para a resolução de problemas.

Figura 22 - Metodologia *Lean* Seis Sigma (DMAIC).



Fonte: COUTINHO, 2017.

Na fase *Define* são feitas a identificação das prioridades, estabelecimento da meta geral e forma de condução do projeto. Na *Measure* é quando se faz o desdobramento do problema, análise de variações e oportunidades de melhorias e estabelecimento de metas específicas. *Analyze* objetiva a identificação das causas potenciais, quantificação e priorização das causas. A *Improve* se refere ao teste de medidas, elaboração do plano de ação, execução e validação do plano de ação e por fim, a *Control*, que está relacionada à verificação dos resultados alcançados, padronização, monitoramento e conclusão do projeto.

A complexidade na resolução de problemas muitas vezes requer o uso de técnicas e ferramentas que visam auxiliar a organização na análise dos dados e informações acerca do problema. Nesse contexto, alguns autores desenvolveram matrizes que podem ser aplicadas ao longo do ciclo DMAIC e tem como objetivo identificar, organizar e definir qual a melhor técnica ou ferramenta para a resolução eficaz e eficiente de um dado problema.

É importante destacar que algumas ferramentas são utilizadas com menor assiduidade e outras são aplicáveis em determinadas atividades. As tabelas 4 apresenta uma classificação de técnicas e ferramentas sugeridas pelos autores citados para aplicação no ciclo DMAIC.

Tabela 4 - Classificação das técnicas e ferramentas propostas para o ciclo DMAIC.

Técnicas e ferramentas para times de trabalho	Técnicas e ferramentas de processos	Técnicas e ferramentas estatísticas
Fatores críticos para o sucesso	Brainstorming	Teste T
Lista de verificação	Teste de Hipótese	Gráfico de box e Whisker
Gráfico de inclusão/exclusão	Diagrama Espinha de Peixe	Teste Qui-quadrado
	Análise de Pareto	Histograma
	Mapeamento do Processo	Gráfico de pontos
	SIPOC	Teste Kurshall Wallis
	5S	<i>Plot Matrix</i>
	Matriz GUT	Diagrama de dispersão
	5W2H	Gráficos de probabilidade normal

Fonte: Adaptado de HENDERSON e EVANS, 2000.

Para Coutinho (2017) a aplicação da filosofia *Lean Seis Sigma* tem grande contribuição prática e cultural para a melhoria contínua dos processos e gestão a qualquer ramo de atividade empresarial, seja administrativo ou de manufatura. Carvalho et al. (2005), enfatiza que o

programa DMAIC propõe-se ao aprimoramento dos processos por meio da escolha destes e do melhoramento das pessoas a serem orientadas para alcançar os resultados tracejados.

3.4.1 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

O Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa, é uma representação gráfica para ajudar na análise de causa-raiz, em que o problema ou situação corrente a ser analisada fica destacada e, ligadas a ela, as possíveis causas ficam dispostas em forma de espinha de peixe, daí o nome popular de "Diagrama de Espinha de Peixe".

A investigação das possíveis causas deve levar em consideração vários aspectos e recomenda-se que se pense nos 6M:

- Método: toda a causa envolvendo o método que estava sendo executado o trabalho;
- Matéria-prima: toda causa que envolve o material que estava sendo utilizado no trabalho;
- Mão-de-obra: toda causa que envolve uma atitude do colaborador (procedimento inadequado, pressa, imprudência, ato inseguro, etc.);
- Máquinas: toda causa envolvendo a máquina que estava sendo operada;
- Medida: toda causa que envolve instrumentos que estavam sendo utilizados no trabalho;
- Meio ambiente; toda causa que envolve o meio ambiente em si (poluição, calor, poeira, etc.) e o ambiente de trabalho (layout, falta de espaço, dimensionamento inadequado dos equipamentos, etc.).

3.4.2 MATRIZ DE PRIORIDADE

A Matriz de Prioridade é uma ferramenta utilizada para selecionar os problemas ou causas que apresentam maior prioridade, diante das condições próprias, customizadas e da especificidade do processo. É utilizada na priorização das estratégias, tomadas de decisão e solução de problemas de organizações e projetos.

Fornece um método no qual a atenção do grupo é focalizada para as opções que de fato são mais relevantes, estabelecendo uma classificação numérica de prioridade entre as opções. Normalmente, a lista de opções a ser priorizada corresponde às tarefas de implementação do Diagrama em Árvore (RODRIGUES, 2004). São diversas as situações que solicitam seu uso:

- Há um consenso ao que é uma boa solução mas quanto a importância relativa entre elas;
- Há limitações de recursos, sendo necessário então escolher apenas algumas opções;
- As opções disponíveis têm muitas inter-relações, o que torna difícil identificar as mais relevantes.

3.4.3 5W2H

O método 5W2H consiste em uma série de perguntas direcionadas ao processo produtivo e permite identificar as rotinas mais importantes, detectando seus problemas e apontando soluções (LISBOA e GODOY, 2012).

A técnica 5W2H é uma ferramenta prática que permite, a qualquer momento, identificar dados e rotinas mais importantes de um projeto ou de uma unidade de produção. Também possibilita identificar quem é quem dentro da organização, o que faz e porque realiza tais atividades. Segundo o SEBRAE (2008), a técnica 5W2H (tabela 5) é uma ferramenta prática que permite, a qualquer momento, identificar dados e rotinas mais importantes de um projeto ou de uma unidade de produção. Também possibilita identificar quem é quem dentro da organização, o que faz e porque realiza tais atividades.

Tabela 5 - Método 5W2H

	<i>What</i>	O quê	Que ação será executada?
	<i>Who</i>	Quem	Quem irá executar/participar da ação?
5W	<i>Where</i>	Onde	Onde será executada a ação?
	<i>Why</i>	Por que	Quando a ação será executada?
	<i>When</i>	Quando	Por que a ação será executada?
2H	<i>How</i>	Como	Como será executada a ação?
	<i>How much</i>	Quanto	Qual o custo de executar a ação?

Fonte: SEBRAE, 2008.

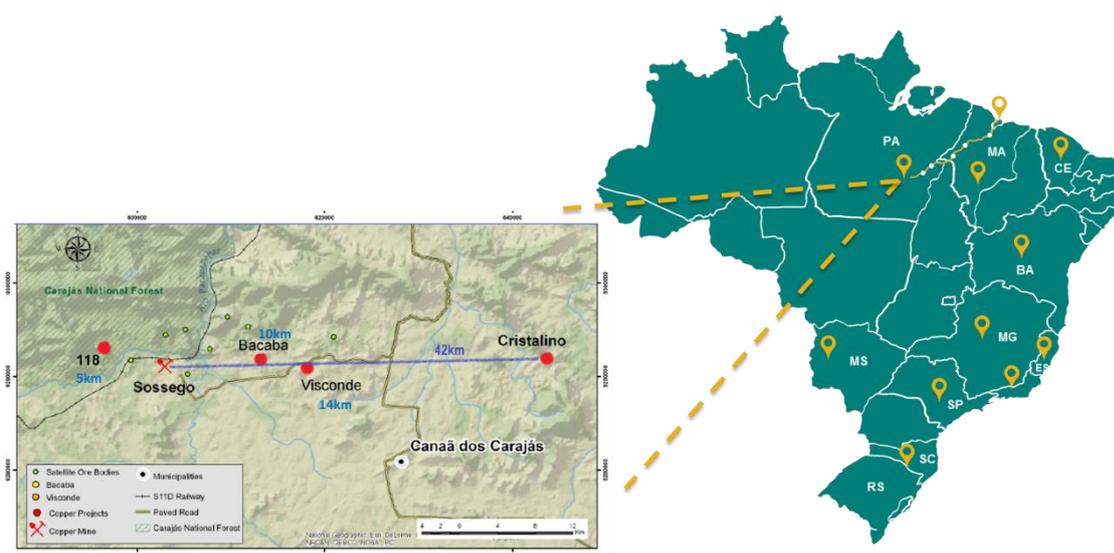
O método é constituído de sete perguntas, utilizadas para implementar soluções:

- O quê? Qual a atividade? Qual é o assunto? O que deve ser medido? Quais os resultados dessa atividade? Quais atividades são dependentes dela? Quais atividades são necessárias para o início da tarefa? Quais os insumos necessários?
- Quem? Quem conduz a operação? Qual a equipe responsável? Quem executará determinada atividade? Quem depende da execução da atividade? A atividade depende de quem para ser iniciada?
- Onde? Onde a operação será conduzida? Em que lugar? Onde a atividade será executada? Onde serão feitas as reuniões presenciais da equipe?
- Por quê? Por que a operação é necessária? Ela pode ser omitida? Por que a atividade é necessária? Por que a atividade não pode fundir-se com outra atividade? Por que A, B e C foram escolhidos para executar esta atividade?
- Quando? Quando será feito? Quando será o início da atividade? Quando será o término? Quando serão as reuniões presenciais?
- Como? Como conduzir a operação? De que maneira? Como a atividade será executada? Como acompanhar o desenvolvimento dessa atividade? Como A, B e C vão interagir para executar esta atividade?
- Quanto custa realizar a mudança? Quanto custa a operação atual? Qual é a relação custo / benefício? Quanto tempo está previsto para a atividade?

4 ESTUDO DE CASO: MINA DO SOSSEGO

A Mina do Sossego foi a primeira mina de cobre operada pela Vale e sua lavra teve início em 2004. Está localizada no sudeste do estado do Pará, a 20 km da sede do município de Canaã dos Carajás (figura 25) e encontra-se inserida no contexto da Província Mineral de Carajás, uma das maiores províncias minerais do mundo que apresenta jazidas de ferro, manganês, níquel, cobre, ouro, estanho, bauxita e caulim.

Figura 23- Localização da Mina do Sossego na Província Mineral de Carajás.

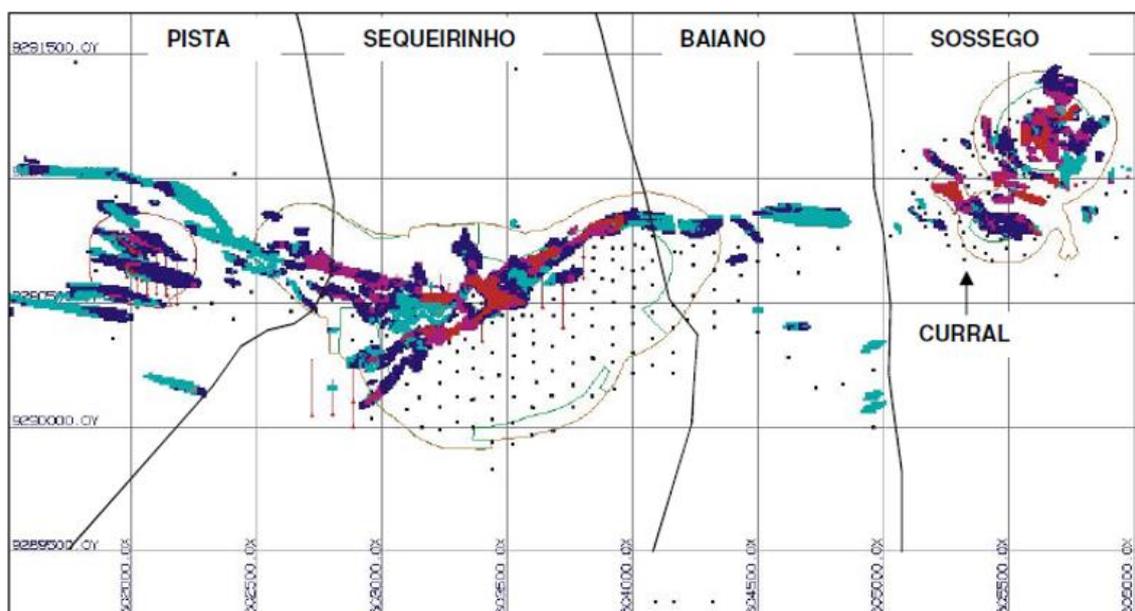


Segundo Carvalho (2009), o depósito de Sossego insere-se em um cinturão de mineralizações de Cu-Au com cerca de 60 km de extensão, ao longo das Serras Sul e do Rabo da Província Mineral de Carajás do qual fazem parte os depósitos Cristalino e alvo 118, além de outros alvos menores como Bacabá, Jatobá, Visconde, Bacuri, Castanha e Ipê (figura 25).

Estes alvos estão em diversos níveis de pesquisa e desenvolvimento e, se viáveis, irão compartilhar a unidade de concentração existente nesta mina, aumentando a vida útil do projeto. Por se tratar de uma unidade com potencial extensão da vida útil, é relevante estudar e propor melhorias operacionais que possam ser aplicadas nos projetos futuros, garantindo eficiência e performance produtiva do ciclo operacional.

Na mina do Sossego, a mineralização está disposta em um conjunto de cinco corpos de minério: Pista, Sequeirinho, Baiano, Sossego e Curral (figura 26), porém apenas os corpos Sequeirinho, Sossego e Pista estão sendo lavrados atualmente.

Figura 24- Limite dos corpos de minério no depósito de Sossego.



Fonte: Carvalho, 2009.

Segundo relatório divulgado pela Vale no New York Stock Exchange em abril de 2017, as reservas provadas do complexo Sossego são 101,5 Mt @ 0,64% Cu e 0,2g/t Au. Nesse mesmo ano a unidade lavrou 12,5 Mt de minério bruto (ROM) e a produção da planta de beneficiamento foi de 376 mil toneladas de concentrado de cobre com teor médio de 30% de cobre.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OPERAÇÃO

A mina do Sossego possui três depósitos principais, Sossego, Sequeirinho e Pista, em lavra atualmente, cuja geometria atual das cavas é apresentada na figura 27. O minério de cobre é explorado pelo método de cava a céu aberto e o ROM, majoritariamente proveniente das cavas Pista e Sequeirinho, é processado por meio de britagem primária, moagem SAG seguida por moagem de bolas e flotação direta. O concentrado final é transportado por caminhões

rodoviários até o terminal de armazenamento em Parauapebas e, posteriormente segue pela Estrada de Ferro Carajás até o terminal marítimo Ponta da Madeira (MA), de onde é exportado.

Figura 25- Imagem de satélite da Mina do Sossego.



Fonte: Google Earth, 2017.

A lavra na mina do Sossego é feita através das operações unitárias básicas em minas a céu aberto que são: perfuração e desmonte, carregamento e transporte. As operações de lavra são controladas pelo sistema Dispatch que faz a alocação dinâmica dos equipamentos de transporte e controla configurações de entrada como o *match* escavadeira-caminhão, que tem influência direta na produtividade do circuito de produção.

A perfuração conta com uma frota mista de perfuratrizes de 12 ¼” de diâmetro para produção, sendo que em desmonte controlado de delineação de talude final, são usados diâmetros de 10 5/8” e 6 ½”. Para carregamento e escavação, a mina adotou a conveniência de uso de escavadeira hidráulicas nos materiais saprolíticos, combinando escavadeiras a cabo e pás carregadeiras na lavra de materiais mais competentes e ainda escavadeiras de pequeno porte para carregamento dos caminhões de pequeno porte.

O transporte é feito através de caminhões fora de estrada de 150 e 240 toneladas e ainda caminhões rodoviários e articulados de pequeno porte, adquiridos nos últimos anos devido à

necessidade de lavra em cotas profundas com praças de lavra estreitas. Equipamentos auxiliares dão suporte às operações realizando manutenção das frentes de lavra, acessos e depósitos de estéril e de estocagem de minério. A frota de infraestrutura é composta principalmente por tratores de esteira e de pneus, motoniveladoras, retroescavadeiras, pás mecânicas e caminhões pipa. A tabela 5 apresenta um resumo das principais frotas de produção disponíveis na mina do Sossego.

Tabela 6 - Resumo das principais frotas de produção da Mina do Sossego.

Equipamento	Tipo	Frota	Unidades
Transporte	Caminhões Fora de Estrada	CAT 793C/D	28
		CAT 785C	12
	Caminhões Articulados	CAT 740A	8
	Caminhões Rodoviários	Mercedes 4844K	13
Escavação	Escavadeiras Elétricas	PH-4100 XPB	1
		Buc 495-HR	2
		PH-2300 XPA	1
	Escavadeiras Hidráulicas	PC5500	1
		PC2000	1
Carregamento	Carregadeiras	WA1200	2
Perfuração	Perfuratrizes Pré-Corte	Cubex DR560	3
		T4	1
	Perfuratrizes Produção	Pit Viper	4
		Buc 49HR	3

A figura 28 ilustra o fluxo de movimentação da mina, destacando o envio de minério ao britador primário, pilhas de estoque de minérios e depósitos de estéril, oriundos das cavas em operação.

em duas partes iguais. Sendo assim, o quinto decil é igual ao segundo quartil, que por sua vez é igual à mediana.

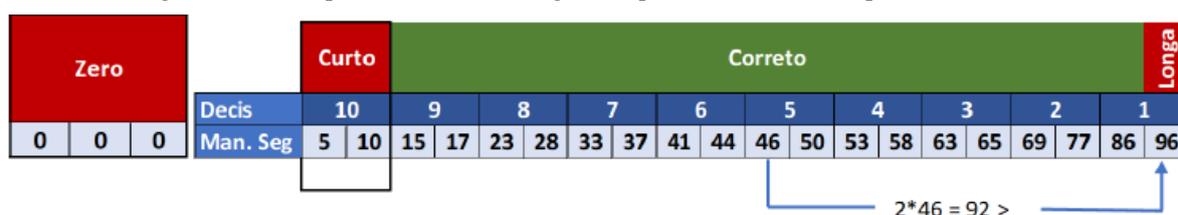
Para análise da integridade dos dados, define-se como:

- Manobra curta (*ShortSpot*) e Carregamento curto (*ShortLoad*): os tempos que nas distribuições dos decis estejam dentro do intervalo definido pelo décimo decil;
- Manobra longa (*LongSpot*) e Carregamento longo (*LongLoad*): definido pelos tempos que sejam maiores que o dobro do menor valor dentro do quinto decil;
- Manobra zerada (*ZeroSpot*) e Carregamento zerado (*ZeroLoad*): são todos os tempos dentro do ciclo cujo valor seja igual a zero.

Logo, somente as cargas que estejam sem nenhum dos valores de manobra ou carregamento zerado ou cujo tempo de manobra e carregamento estejam entre os valores mínimos e máximos calculados são considerados como tendo uma integridade de dados correta.

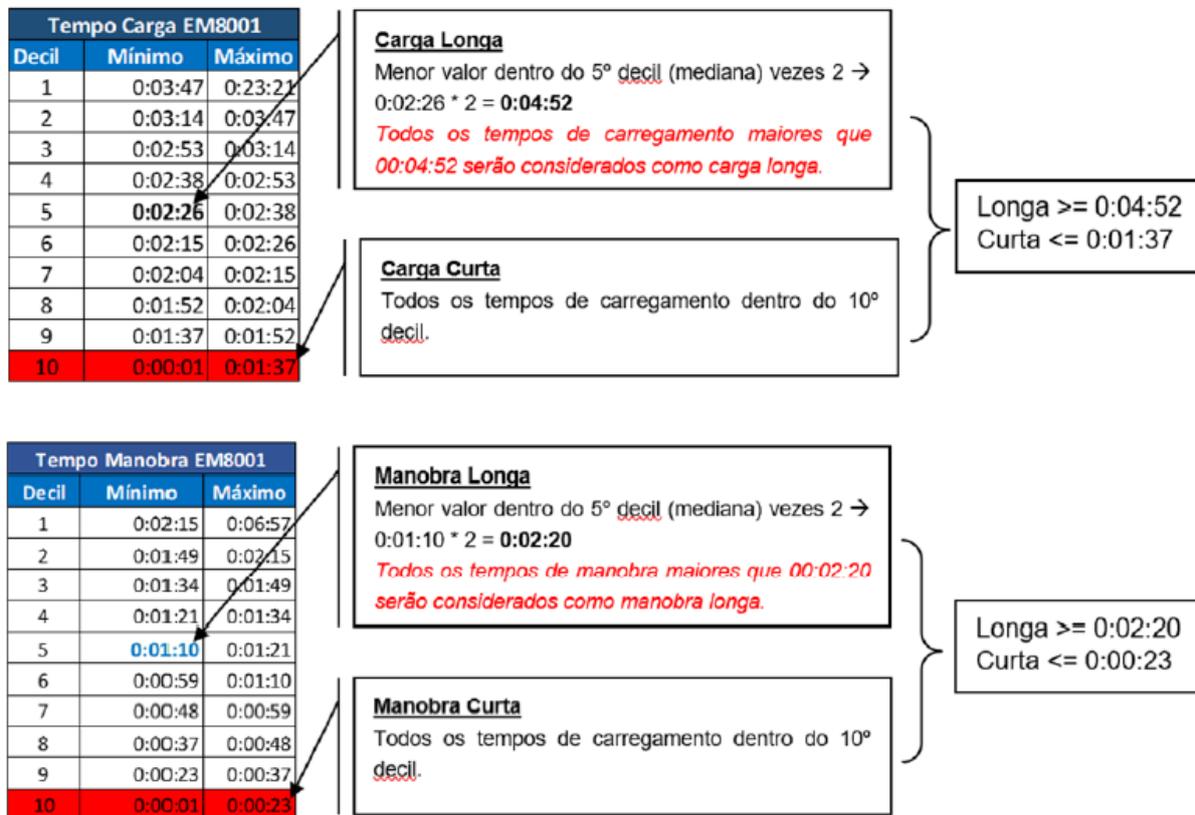
A figura 26 exemplifica a metodologia apresentada pela empresa para 23 dados de tempo de manobra que variam de 0 a 96 segundos.

Figura 27 - Exemplo de análise de integridade para amostras de tempo de manobra.



Para o exemplo analisado, teríamos 3 tempos zerados, 2 tempos curtos e 1 tempo longo e 17 tempos corretos, totalizando 73,9% de tempos de manobra corretos. A figura 27 apresenta um exemplo mais completo, utilizando dados de manobra e carregamento para uma escavadeira fictícia EM8001.

Figura 28 - Exemplo de análise de integridade de dados para tempos de manobra e carregamento.



As combinações de tempo de manobra de tempo de carregamento resultam em uma matriz com 16 categorias possíveis:

- *ZeroSpotZeroLoad* – Manobra zerada e carregamento zerado;
- *ZeroSpotShortLoad* – Manobra zerada e carregamento curto;
- *ZeroSpotCorrectLoad* – Manobra zerada e carregamento correto;
- *ZeroSpotLongLoad* – Manobra zerada e carregamento longo;

- *ShortSpotLongLoad* – Manobra curta e carregamento longo;
- *ShortSpotZeroLoad* – Manobra curta e carregamento zerado;
- *ShortSpotCorrectLoad* – Manobra curta e carregamento correto;
- *ShortSpotLongLoad* – Manobra curta e carregamento longo;

- *CorrectSpotZeroLoad* – Manobra correta e carregamento zerado;
- *CorretSpotShortLoad* – Manobra correta e carregamento curto;

- *CorrectSpotCorrectLoad* – Manobra correta e carregamento correto;
- *CorrectSpotLongLoad* – Manobra correta e carregamento longo;
- *LongSpotZeroLoad* – Manobra longa e carregamento zerado;
- *LongSpotShortLoad* – Manobra longa e carregamento curto;
- *LongSpotCorrectLoad* – Manobra longa e carregamento correto;
- *LongSpotLongLoad* – Manobra longa e carregamento longo.

De especial importância é a categoria *CorrectSpotCorrectLoad* (manobra correta e carregamento correto) que define um ciclo operacional correto e o indicador de integridade de dados da operação. A mesma empresa define ainda que o valor mínimo para garantia de boa performance do sistema de despacho seria 60% dos dados íntegros e valores ideais acima de 70%.

As figuras 28 e 29 apresenta os resultados da análise de integridade de dados para a Mina do Sossego por categoria entre fevereiro e abril de 2018 aplicando a metodologia previamente descrita.

Figura 29 - Impacto na integridade de dados da Mina do Sossego por categoria.

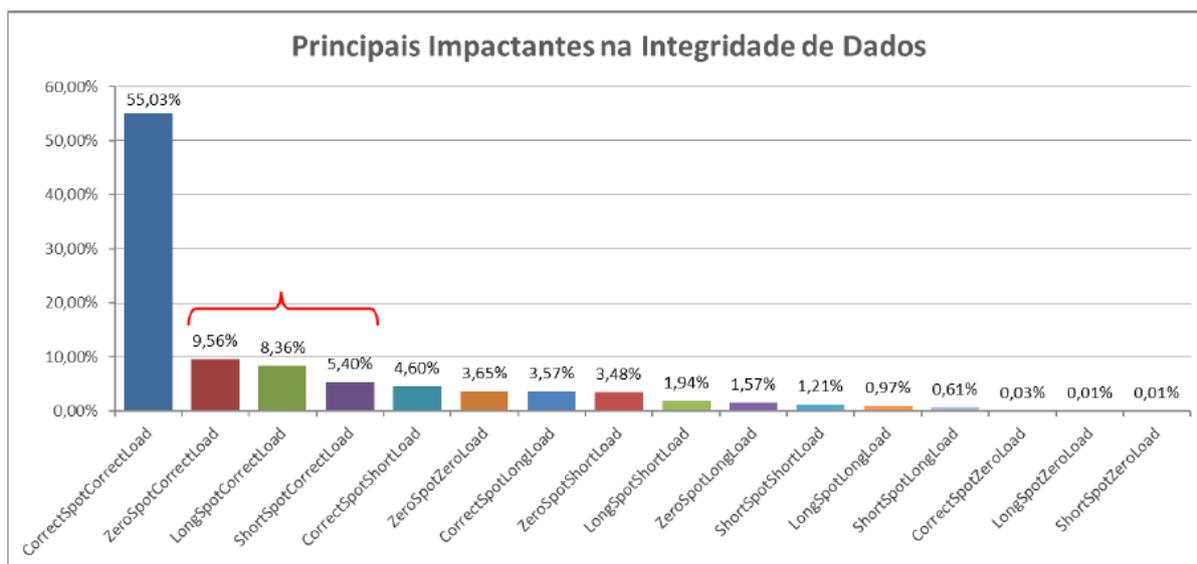


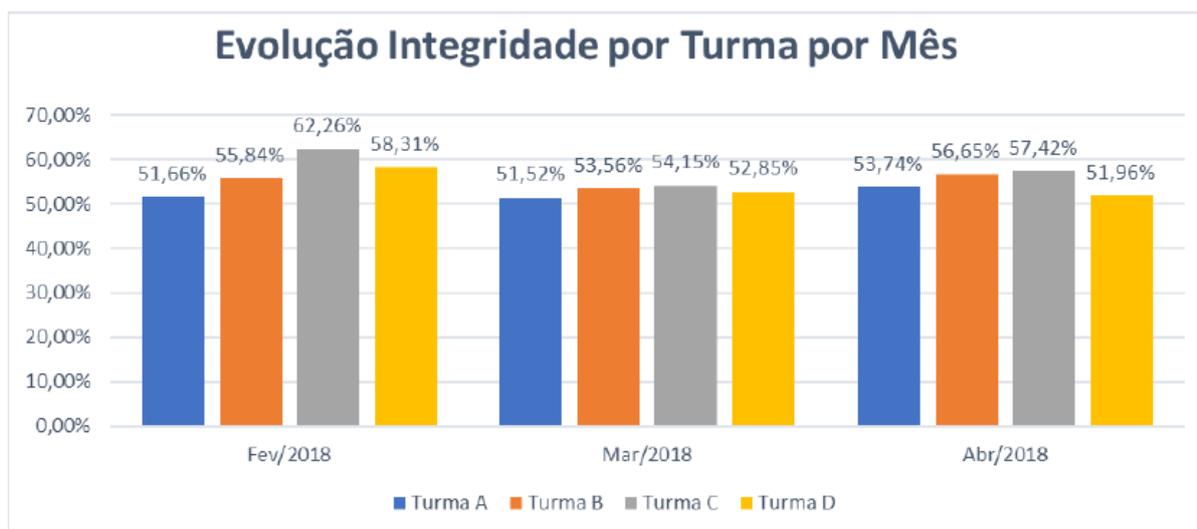
Figura 30 - Matriz resultante para integridade de dados da Mina do Sossego.

		Spot			
		Zero	Short	Correct	Long
Load	Zero	3,65%	0,01%	0,03%	0,01%
	Short	3,48%	1,21%	4,60%	1,94%
	Correct	9,56%	5,40%	55,03%	8,36%
	Long	1,57%	0,61%	3,57%	0,97%

A análise da integridade de dados da Mina do Sossego resultou num indicador igual a 55,03% para o referido período e percebe-se que as maiores impactantes da integridade de dados para a operação são as categorias *ZeroSpotCorrectLoad* (9,56%), *LongSpotCorrectLoad* (8,36%) e *ShortSpotCorrectLoad* (5,40%).

A figura 30 apresenta a evolução na integridade de dados por turma para o período.

Figura 31 - Integridade de dados por turma por mês.



Os gráficos apresentados na figura 30 apresentam valores com até 10 pontos percentuais de diferença entre as turmas, o que indica uma possível tendência comportamental.

5 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia Lean Seis Sigma será utilizada neste trabalho de forma a orientar na solução do problema através da melhoria contínua dos processos da unidade. O método escolhido foi o DMAIC, que divide o estudo em fases, sugerindo uma sequência lógica para a resolução de problemas. A investigação das possíveis causas foi realizada com o auxílio das ferramentas Diagrama Espinha de Peixe/ Diagrama de Causa e Efeito e a checagem posterior feita com auxílio da técnica Teste de Hipótese. Após a definição das causas prováveis, foi utilizada a matriz GUT para priorização da solução para as causas levantadas.

Após a definição final das causas prováveis, será utilizada a ferramenta 5W2H para construção do plano de ação para tratativa das causas levantadas para o problema. Após a realização das ações de melhoria, será implantada uma rotina de verificação dos parâmetros do ciclo operacional para controle da integridade de dados da mina.

Todos os dados operacionais da unidade são armazenados em banco de dados SQL e será necessário realizar consulta ao banco de dados e ao sistema de relatórios Power View. A análise dos dados para definição do problema será realizada com auxílio da ferramenta Minitab 18.1.

Será necessário avaliar a estrutura de rede da operação, responsável pela comunicação dos equipamentos com o software Dispatch para definição da etapa de levantamento de causas prováveis. A metodologia aplicada para avaliar a infraestrutura de rede da mina será detalhadamente descrita no tópico 4.1 deste trabalho.

5.1 TEMPOS DO CICLO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE

A contabilização do tempo necessário para a realização de cada tarefa faz com que o somatório dos tempos necessário para completar um ciclo de produção seja chamado de “tempo de ciclo”. O tempo de ciclo é um indicador essencial para se medir a produtividade nas etapas de carregamento e transporte.

As figuras 32 a 41 apresentam distribuições de frequências dos tempos de carregamento e manobra para os principais *match* frota de carregamento/frota de transporte do ciclo de produção da Mina do Sossego para o período de fevereiro à abril, conforme analisado em outro estudo previamente citado neste trabalho. A construção de histogramas tem caráter preliminar neste estudo, sendo utilizado com ferramenta auxiliar na análise da distribuição dos dados.

Figura 32 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o *match* das frotas P&H4100 e CAT793.

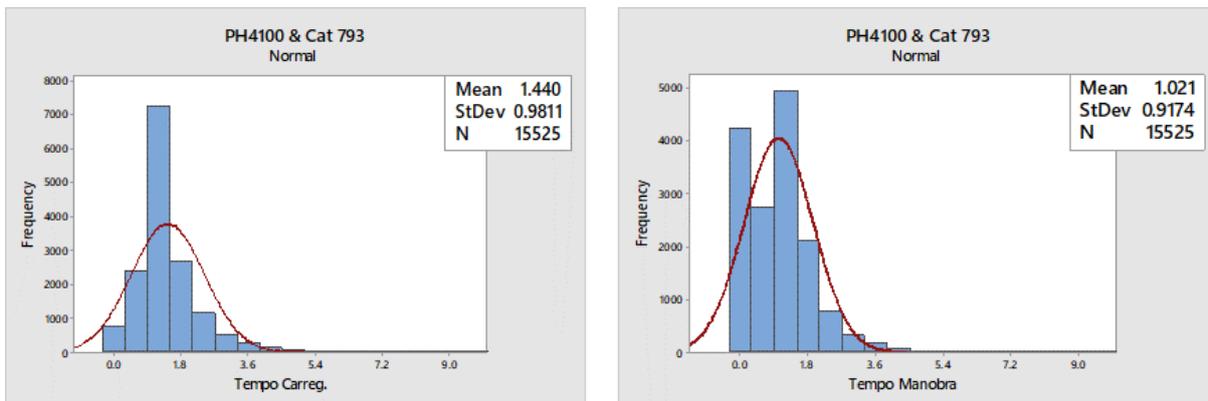


Figura 33 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o *match* das frotas Buc495HR e CAT793.

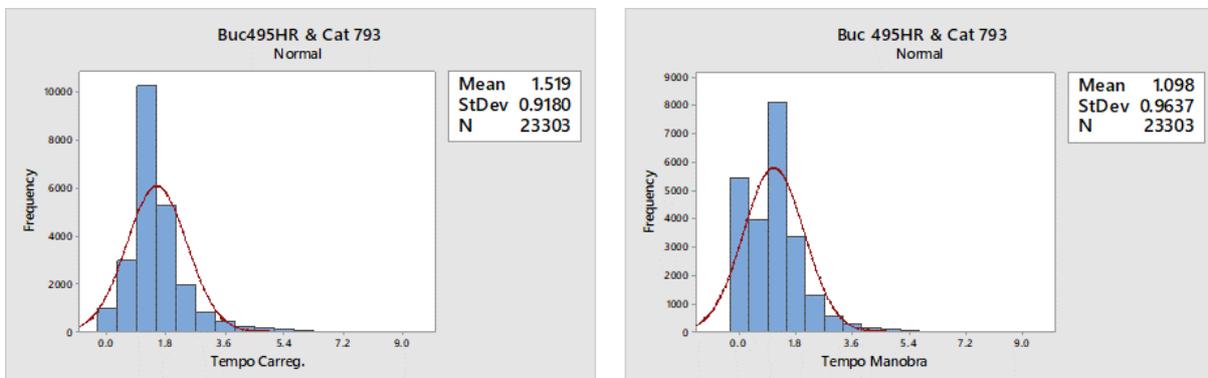


Figura 34 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o *match* das frotas PC5500 e CAT793.

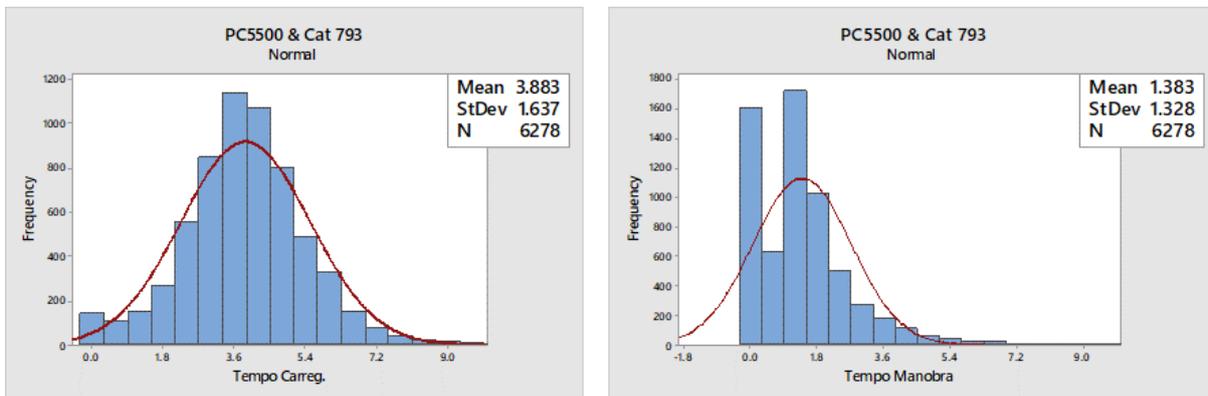


Figura 35 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas PC5500 e CAT785.

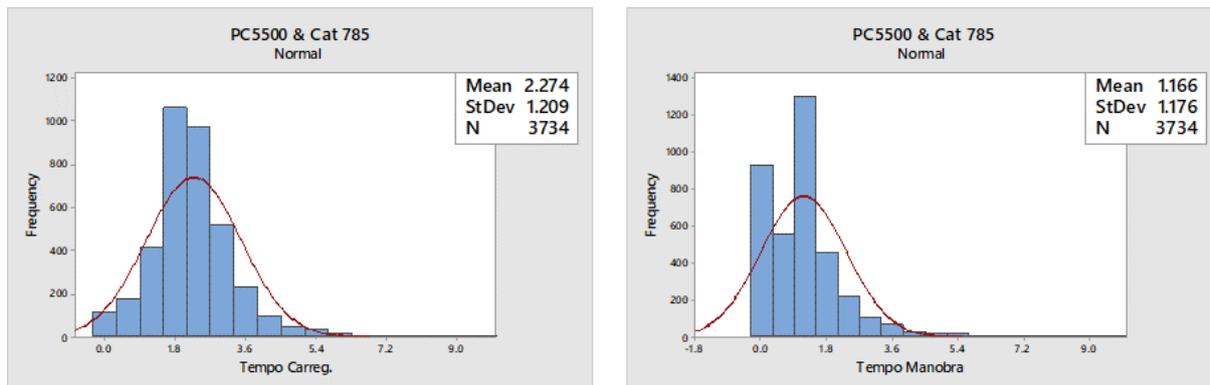


Figura 36 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas PC2000 e CAT785.

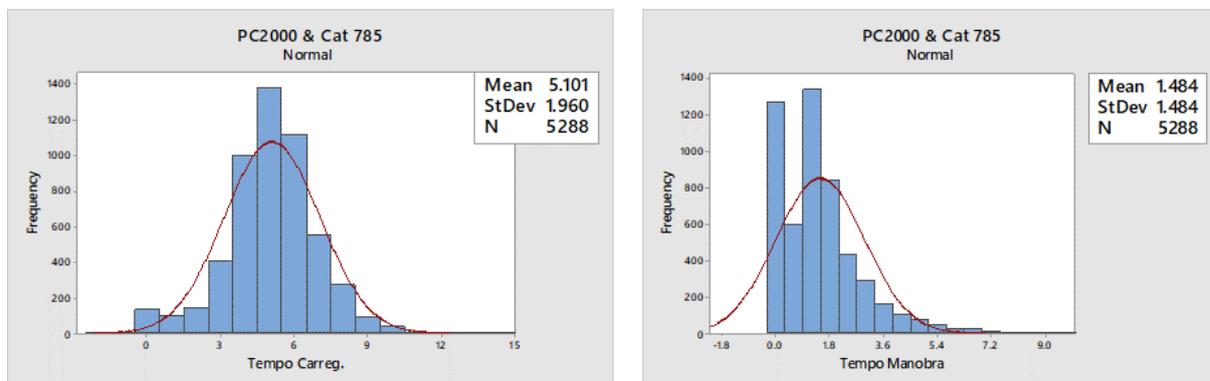


Figura 37 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas P&H2300 e CAT793.

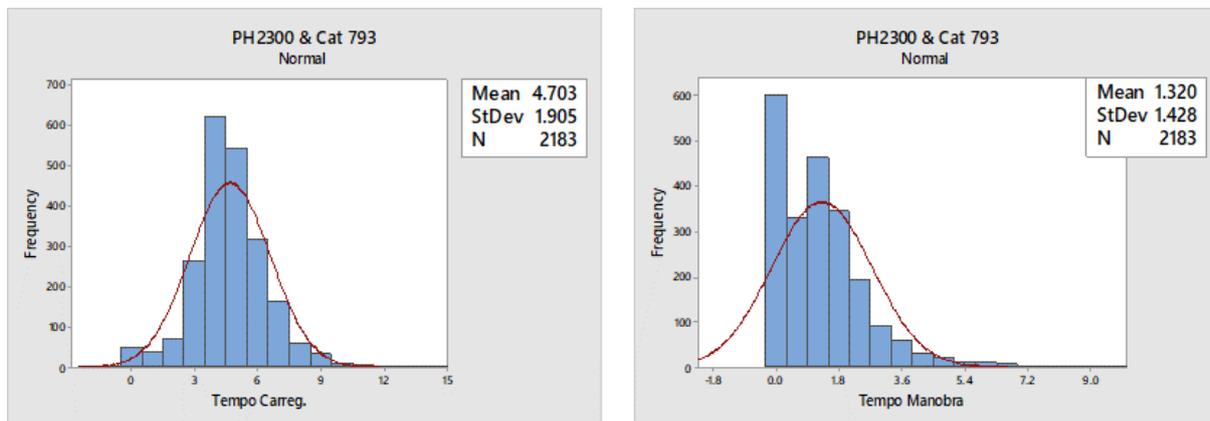


Figura 38 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas P&H2300 e CAT785.

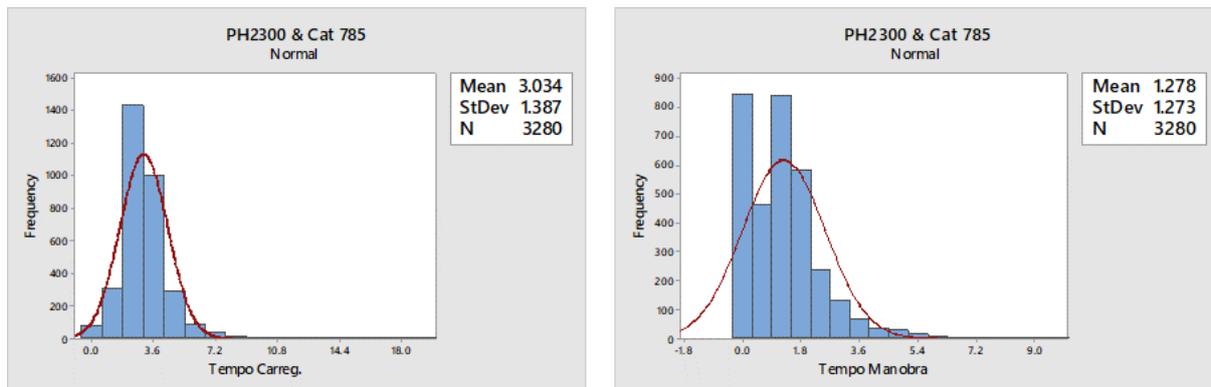


Figura 39 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas WA1200 e CAT793.

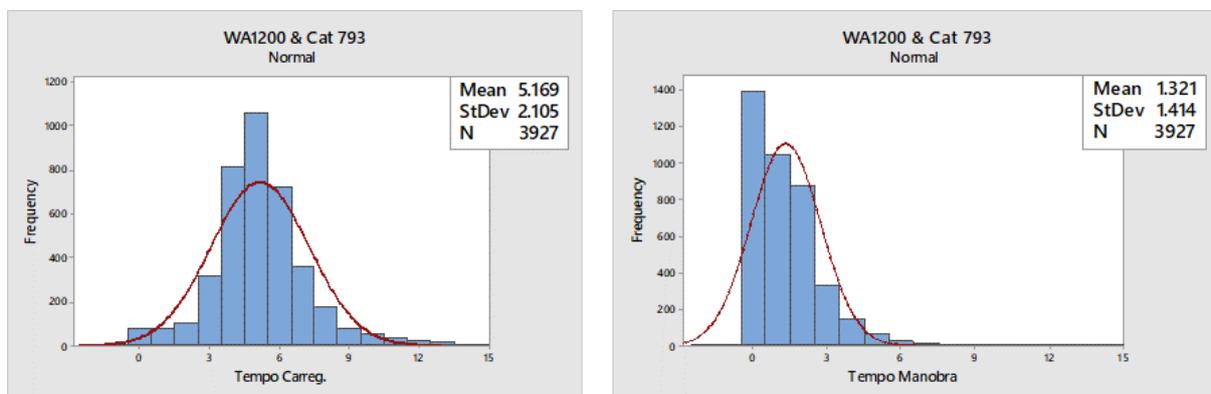


Figura 40 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o match das frotas WA1200 e CAT785.

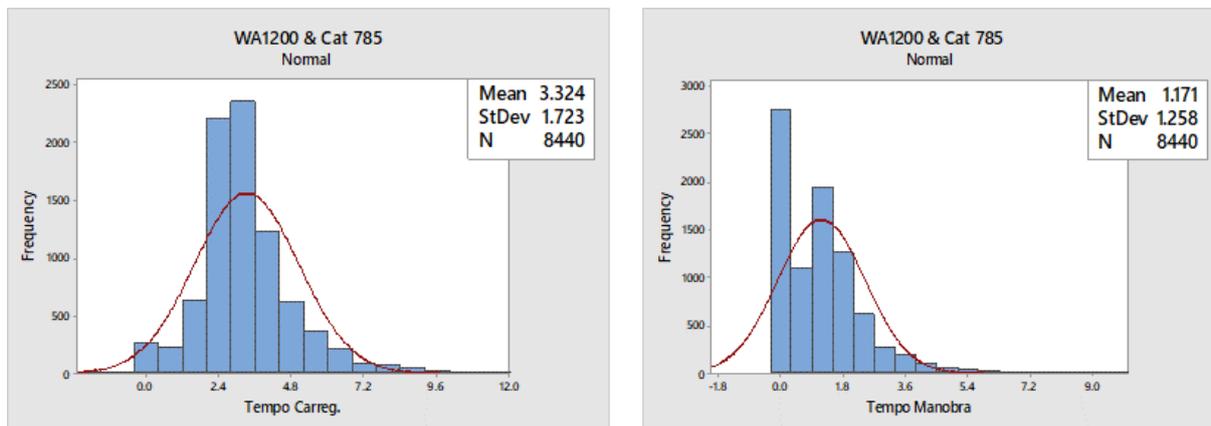
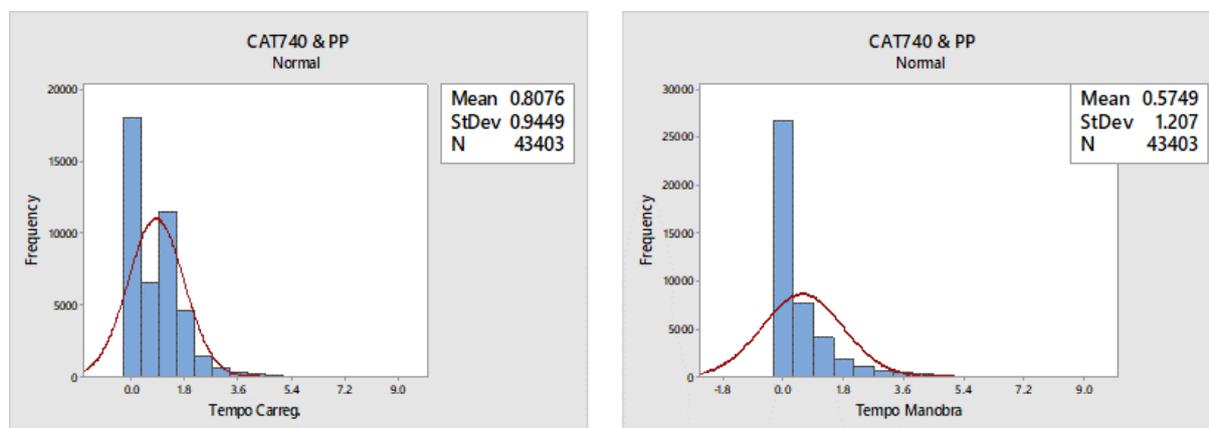


Figura 41 - Histograma de tempos de carregamento e manobra para o *match* das frotas CAT740 e caminhões rodoviários.

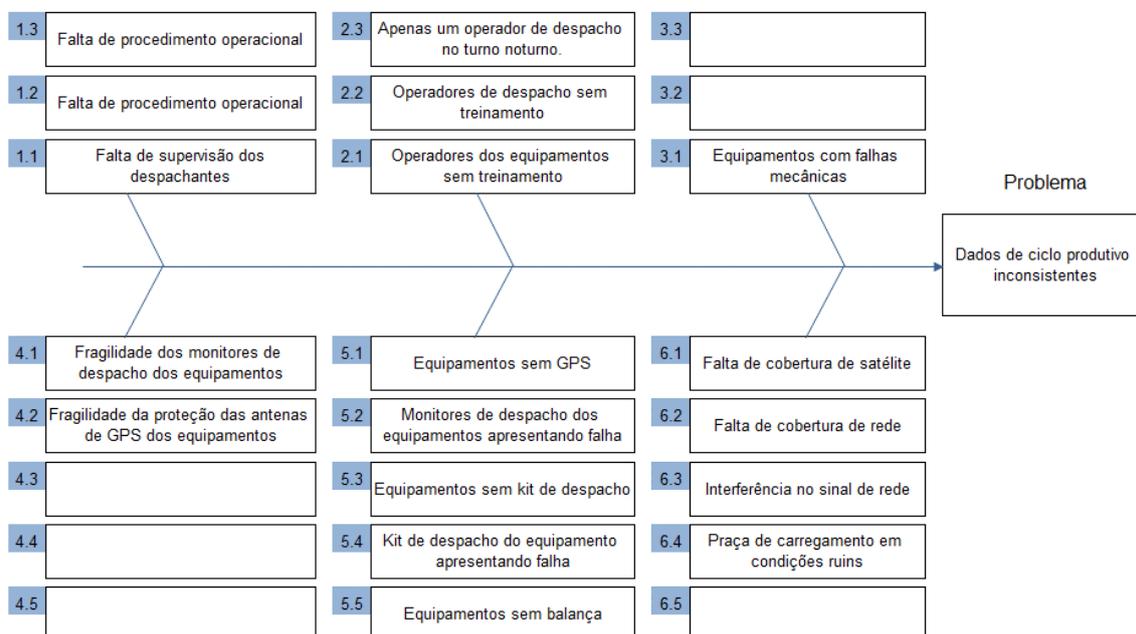


Pode-se identificar que, para todos os histogramas apresentados, foram encontrados valores zerados para os tempos de manobra e carregamento, quando na verdade sabe-se que esses tempos jamais apresentam valores iguais a zero em campo que, portanto, podem sugerir potenciais problemas de comunicação de rede na mina. Percebe-se ainda que há uma frequência maior de valores iguais a zero para os tempos de manobra tratando-se dos mesmos ciclos analisados, o que indica a presença de outros fatores causadores possíveis, além da falta de comunicação de rede. Esclarece-se, no entanto, que se trata de uma análise inicial num estágio prematura do estudo.

5.2 LEVANTAMENTO DE CAUSAS PROVÁVEIS

Utilizando a ferramenta Diagrama de Espinha de Peixe, também conhecida como Diagrama de Causa e Efeito, foram levantadas as possíveis causas para o problema definido. Este diagrama é uma representação gráfica para ajudar na análise de causa-raiz, em que o problema ou situação corrente a ser analisada fica destacada e, ligadas a ela, as possíveis causas ficam dispostas em forma de espinha de peixe. A figura 29 ilustra o diagrama construído para o problema definido.

Figura 42 - Levantamento de causas prováveis através do Diagrama de Causa e Efeito



Após a construção do diagrama, a técnica do teste de hipóteses foi aplicada com o objetivo de auxiliar na definição e análise das causas mais prováveis para o problema. A tabela 6 apresenta a análise feita para todas as causas levantadas durante a construção do Diagrama de Causa e Efeito.

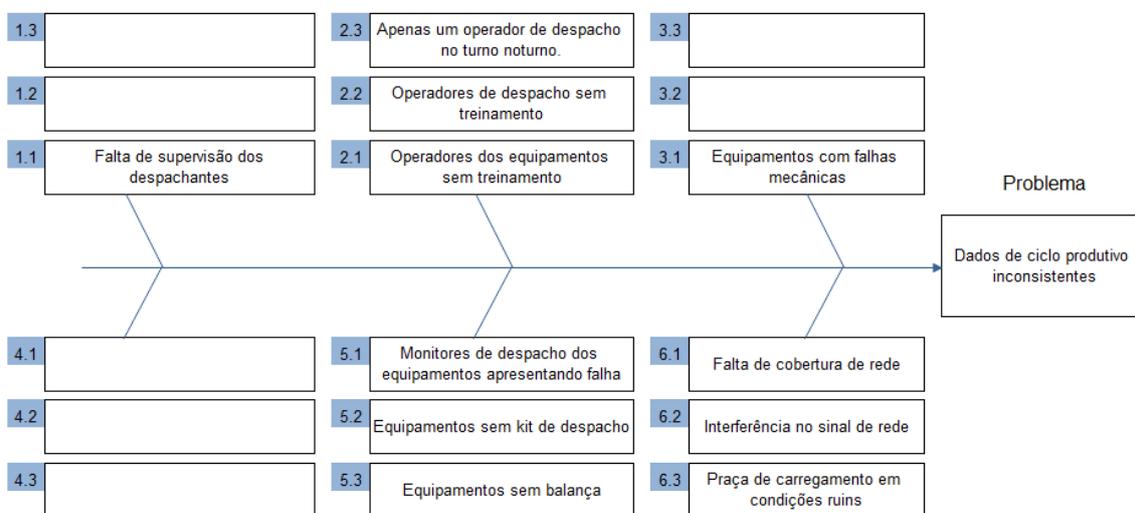
Tabela 7 - Teste de Hipótese para as causas levantadas.

Hipótese	Análise
Falta de procedimento operacional	Existe procedimento operacional.
Falta de supervisão dos despachantes	Falta acompanhamento operacional do trabalho dos despachantes.
Operadores dos equipamentos sem treinamento	Muitos operadores alegam desconhecer os procedimentos operacionais.
Operadores de despacho sem treinamento	Muitos despachantes alegam não terem sido propriamente treinados.
Equipamentos com falhas mecânicas	Equipamentos apresentam baixo rendimento com frequência.
Fragilidade dos monitores de despacho dos equipamentos	Foram realizados vários testes e o monitor mostrou-se bastante resistente.
Fragilidade da proteção das antenas de GPS dos equipamentos	Não foi encontrada nenhuma proteção danificada.
Equipamentos sem GPS	Alguns equipamentos não têm GPS.
Monitores de despacho dos equipamentos apresentando falha	É uma queixa muito comum dos operadores. O touchscreen do monitor apresenta falhas.

Equipamentos sem kit de despacho	Vários caminhões de pequeno porte não têm kit de despacho.
Kit de despacho do equipamento apresentando falha	Nenhum operador relatou falhas nos kits de despacho.
Equipamentos sem balança	Muitos equipamentos não têm balança, no entanto o operador sempre pode realizar a ação.
Falta de cobertura de satélite	Raros são os problemas e cobertura de satélite na mina.
Falta de cobertura de rede	Número de repetidoras insuficiente para cobertura total da área operacional.
Interferência no sinal de rede	O sinal pode sofrer interferências de outras fontes.
Praça de carregamento em condições ruins	Falta de equipamentos de infraestrutura para suporte nas praças.
Apenas um operador de despacho no turno noturno	Não é possível para apenas um despachante realizar o controle operacional e tratativa de exceções com eficácia.

Uma nova matriz (figura 30) foi definida com as causas consideradas mais prováveis como resultado do Teste de Hipótese. Nessa nova matriz, 11 causas permaneceram como prováveis contribuidoras do problema.

Figura 43 - Diagrama de Causa e Efeito após Teste de Hipótese.



Para verificação das causas “Falta de cobertura de rede” e “Interferência no sinal de rede” resultantes da aplicação do método Diagrama Causa e Efeito, será necessário avaliar a qualidade da infraestrutura da rede de telecomunicações da operação. A metodologia aplicada nessa avaliação é apresentada no tópico seguinte.

5.2.1 AVALIAÇÃO INFRAESTRUTURA DE REDE

Para verificar a saúde da infraestrutura de rede de telecomunicações da mina, será necessário fixar um kit contendo um GPS e antenas do software Ekahau magneticamente ao teto de um veículo traçado, além do auxílio de notebook no interior do veículo. Após isso, o veículo será conduzido pelas áreas operacionais da mina para a coleta de dados.

O Ekahau Site Survey Pro 9.0.3 é uma ferramenta para análise, planejamento e administração de rede sem fio. A ferramenta permite uma visão ao nível do solo da cobertura e desempenho, possibilitando criar, melhorar e solucionar problemas na rede. O software é utilizado com um GPS possibilitando varrer grandes áreas verificando sua cobertura e sua intensidade de sinal.

Além do software, será utilizado um notebook HP Latitude E6440 (processador Core™ I5, com 4GB de RAM e Windows® 7), um adaptador USB SR71 Ubiquiti Networks, duas antenas com 3dbi de ganho e um GPS USB BU353 GlobalSat.

Para uma melhor visualização dos resultados do site survey a mina foi dividida em duas áreas. A área entre a linha amarela será denominada área 01 e entre a linha azul denominada área 02, conforme ilustrado na figura 22.

Figura 44 - Separação de áreas operacionais da mina para coleta de dados.



Após a delimitação das regiões, foi definido o percurso a ser realizado em cada área da mina para coleta dos dados. As figuras 23 e 24 demonstram os trajetos definidos para cada área.

Figura 45 - Trajeto para coleta de dados da área 01.



Figura 46 - Trajeto para coleta de dados da área 02.



Para definir a saúde da infraestrutura de rede da Mina do Sossego, serão avaliados 8 parâmetros distintos:

- Signal strength;
- Signal to noise ratio;
- Interference/noise;
- Data rate;
- Throughput;

- Packet loss;
- Round-trip time.

Signal strength ou intensidade de sinal, às vezes também chamado de cobertura, é o requisito mais básico para uma rede sem fio. Como orientação geral, a baixa intensidade do sinal significa conexões não confiáveis e baixa taxa de transferência de dados. O *bullet* M2 trabalha com sinais de até -83 dBm, no entanto a Modular Mining considera como aceitáveis para boa comunicação com o Dispatch, sinais de até -75 dBm, Intensidade mais fortes do que -60 dBm são considerados como excelente.

SNR ou relação sinal-ruído indica o quanto a força do sinal é mais forte do que o ruído. O sinal deve ser mais forte do que o ruído (SNR maior que zero) para que a transferência de dados seja possível. Se o sinal for apenas um pouco mais forte do que o ruído, podem ocorrer desconexões ocasionais. 25 dB é o valor mínimo aceitável de relação.

Interference/noise exibe o nível de interferência na rede conforme medido pelo adaptador de rede. Valores acima -90 dBm é o desejável para o bom funcionamento da rede.

O indicador *Data rate* é a velocidade máxima possível (medida em megabits por segundo) na qual os dispositivos sem fio estarão transmitindo dados. O *Data rate* mostra um valor agregado do *upstream* e *downstream*.

O *Throughput* exibe a taxa de transferência medida. É o valor de desempenho real, que na prática, o medidor de performance está fornecendo.

Packet loss indica a perda de pacote partindo de nossa ferramenta de análise em campo para o *gateway* da rede no despacho. Como boas práticas, a Modular Mining recomenda que a rede não perca menos que 2% dos pacotes destinados ao gateway.

RTT representa o tempo de resposta de um pacote, ou seja, o tempo que ele demora para chegar ao seu destino, ser processado e retornar até a fonte. O RTT também é conhecido como “tempo de *ping*”. Para o bom funcionamento do despacho é recomendado ter sempre RTT menor do que 40 milissegundos.

5.3 PRIORIZAÇÃO DAS CAUSAS

Uma vez realizado o teste de hipóteses e definidas as causas mais prováveis, a próxima etapa do trabalho é utilizar a técnica de priorização das causas. A priorização das causas

levantadas pode ser feita através de várias ferramentas, no entanto para esse trabalho será utilizada a Matriz de Prioridade GUT.

Tabela 8 - Matriz GUT de Prioridade das causas.

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	Autonomia	Total
Falta de supervisão dos despachantes	3	3	3	3	12
Operadores de despacho sem treinamento	9	9	9	3	30
Operadores dos equipamentos sem treinamento	9	9	9	3	30
Equipamentos com falhas mecânicas	3	3	3	3	12
Monitores de despacho dos equipamentos apresentando falha	9	3	9	9	30
Equipamentos sem kit de despacho	9	3	3	9	24
Equipamentos sem balança	1	1	3	3	8
Falta de cobertura de rede	9	9	3	9	30
Interferência no sinal de rede	3	3	3	3	12
Praça de carregamento em condições ruins	3	1	3	3	10
Apenas um operador de despacho no turno noturno	3	9	3	9	24

A Matriz GUT de prioridade das causas apresentada na tabela 7 mostra que as causas “Operadores de despacho sem treinamento”, “Operadores dos equipamentos sem treinamento”; “Monitores de despacho dos equipamentos apresentando falha”, “Equipamentos sem kit de despacho”, “Falta de cobertura de rede” e “Apenas um operador de despacho no turno noturno” receberam maior pontuação da matriz e, portanto, são as que devem receber prioridade na análise e tratativa, uma vez que são as que tem maior influência ou impacto sobre a baixa integridade de dados do ciclo operacional do despacho.

5.4 PLANO DE AÇÃO

A Matriz GUT de prioridade resultou em 6 causas com maior contribuição e impacto no problema e estudado e serão, portanto, as primeiras causas a serem atacadas no plano de ação. O plano de ação foi construído através da metodologia 5W2H, no qual 7 perguntas são realizadas para cada causa levantada.

Neste trabalho optou-se por não apresentar a matriz completa resultante da metodologia devido ao grande volume de informação, portanto apenas 5 das 7 perguntas da metodologia 5W2H constam na tabela 9 que apresenta o plano de ação desenvolvido para tratativa do problema.

Tabela 9 - Plano de ação construído pelo método 5W2H.

MEDIDAS	O QUE	POR QUE	COMO	ONDE	QUEM
Operadores de despacho sem treinamento	Realizar reunião com despachantes para explicar o problema.	Para frisar a importância da tratativa correta das exceções.	Reunião de gestão mensal.	Sala de reunião do Despacho	Equipe de despacho da mina
Operadores de despacho sem treinamento	Programar treinamento de tratativa de exceções com a Modular para todos.	Para reciclar os operadores de despacho no procedimento correto.	Visita da Modular para o Performance Assurance por uma semana após o turno de 06h às 15h.	Sala de reunião do Despacho	Equipe de despacho da mina
Operadores dos equipamentos sem treinamento	Realizar treinamento no procedimento operacional para todos os operadores.	Para reciclar os operadores dos equipamentos no procedimento correto de apropriação das ações do ciclo.	Regularmente após o turno de 06h às 15h.	Sala de treinamento do escritório de campo	Equipe de despacho e instrutores da mina
Operadores dos equipamentos sem treinamento	Orientar instrutores de mina quanto à importância da capacitação dos operadores na apropriação correta das ações do ciclo produtivo.	Para garantir que todos os novos operadores contratados sejam treinados no procedimento correto.	Informar o gestor dos instrutores e agendar reunião.	Sala de reunião do escritório de campo	Equipe de despacho
Monitores de despacho dos equipamentos apresentando falha	Verificar com Suprimentos o status das negociações do novo contrato para reparo dos monitores com falha.	Para verificar se já é possível enviar os monitores para reparo.	Agendar call com Suprimentos.	Mina do Sossego	Equipe de despacho e automação de mina
Monitores de despacho dos equipamentos apresentando falha	Enviar monitores com falha para reparo na Modular em Belo Horizonte.	Para reparar as falhas dos monitores e melhorar as condições de trabalho dos operadores na mina.	Preencher formulário e solicitar orçamento para Modular.	Sala da automação	Equipe de automação de mina
Equipamentos sem kit de despacho	Avaliar com Suprimentos o status das negociações para o novo contrato e modalidades de compra de kits de despacho.	Para verificar se já é possível realizar compras de novos kits de despacho e as opções de compra.	Agendar call com Suprimentos.	Mina do Sossego	Equipe de despacho

Equipamentos sem kit de despacho	Avaliar com Investimentos Correntes a compra de kits de Despacho para os equipamentos que não possuem.	Para checar se a mina possui investimento disponível no ano para compra.	Agendar <i>call</i> com Investimentos Correntes.	Mina do Sossego	Equipe de despacho e automação de mina
Falta de cobertura de rede	Avaliar com a Mina de Carajás a possibilidade de doação de repetidoras sobressalentes que não estão sendo utilizadas após o upgrade da rede.	Pois as repetidoras da rede do Sossego já estão obsoletas e a Mina de Carajás recentemente realizou upgrade da rede e pode possuir repetidoras inutilizadas.	Agendar reunião com gestor da área em Carajás.	Mina de Carajás	Equipe de automação de mina
Falta de cobertura de rede	Avaliar com a Mina do Salobo a possibilidade de doação de repetidoras sobressalentes que não estão sendo utilizadas após o upgrade da rede.	Pois as repetidoras da rede do Sossego já estão obsoletas e a Mina do Salobo recentemente realizou upgrade da rede e pode possuir repetidoras inutilizadas.	Agendar reunião com gestor da área em Salobo.	Mina do Salobo	Equipe de automação de mina
Falta de cobertura de rede	Realizar um plano parcial de upgrade da rede da mina com a compra de novas repetidoras para atender as áreas com falta de cobertura.	Caso não se consiga doação de repetidoras com outras minas, será necessário realizar o upgrade parcial para conseguir comprar repetidoras de rede mais atuais.	Realizar medição da área e dimensionamento dos equipamentos.	Sala da automação	Equipe de automação de mina
Apenas um operador de despacho no turno noturno	Solicitar à gestão a contratação de mais um operador de despacho.	Para que possa suprir a necessidade de mais um operador de despacho no turno noturno.	Agendar reunião com a gestão da área.	Sala de reunião do escritório de campo	Equipe de despacho

6 RESULTADOS PRELIMINARES

Neste capítulo serão apresentados os resultados preliminares sobre a avaliação da saúde da infraestrutura de rede da mina e análise da tratativa das exceções geradas pelo sistema de despacho, ambos de grande impacto na integridade de dados do ciclo de produção.

6.1.1 INFRAESTRUTURA DE REDE DA MINA

De forma a avaliar a saúde da infraestrutura de rede da mina do Sossego e verificar se os parâmetros da rede no qual roda o despacho estão dentro dos intervalos considerados adequados, foi realizado um site survey das áreas operacionais da unidade. Foram avaliados todos os parâmetros previamente descritos no tópico 4.1 de acordo com os ranges definidos pela Modular como mínimos para a boa comunicação da rede na mina.

Figura 47 - Resultados para saúde de rede da área 01 da mina.



Figura 48 - Resultados para saúde de rede da área 02 da mina.



As figuras 31 e 32 apresentam o resultado final, conhecido como *Network Health* ou saúde da rede da mina, que resume com uma simples visualização se todos os parâmetros vistos anteriormente atendem simultaneamente uma certa localização da mina. As áreas em verde foram aprovadas na avaliação da saúde geral e as em vermelho, falharam. É importante destacar que as áreas em vermelho podem, por exemplo, ter uma boa cobertura, mas estar com SNR ou RTT fora dos parâmetros aceitáveis e, portanto, pode não haver conectividade na localização avaliada.

O relatório final do fornecedor apresenta que, através dos dados coletados, a distribuição atual das repetidoras não é suficiente para cobrir toda a área operacional da mina e portanto, é necessário a instalação de mais repetidoras na unidade. Não foi possível avaliar a qualidade do sinal em algumas áreas da mina devido a bloqueios físicos encontrados no momento da visita do fornecedor para realização do teste, portanto essas áreas não foram sinalizadas como aprovadas ou reprovadas no mapa.

6.1.2 TRATATIVA DE EXCEÇÕES DO DESPACHO

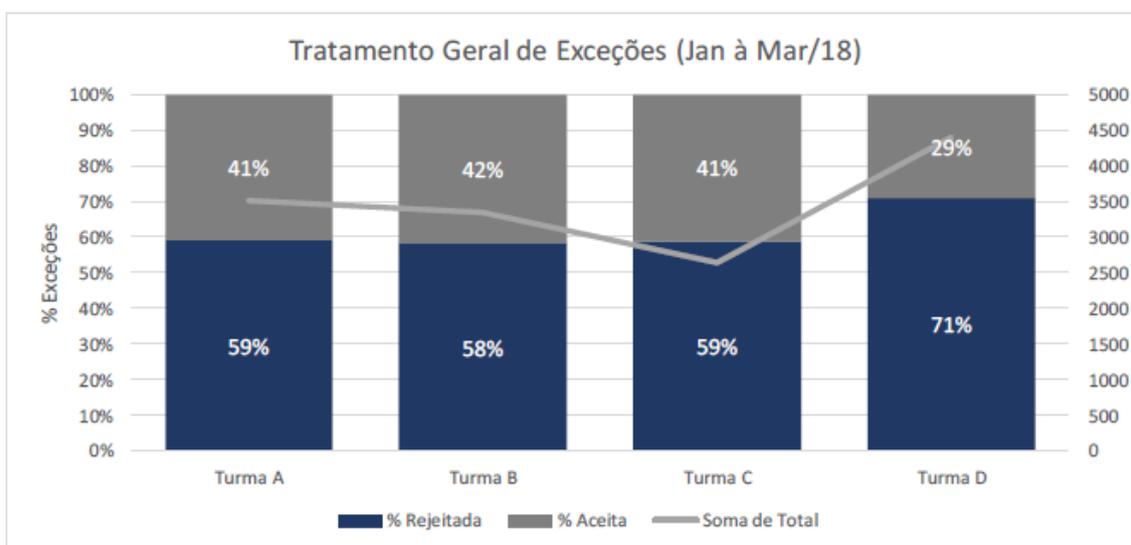
O tratamento das exceções é uma das atribuições da rotina diária do operador de despacho e muitas vezes toma muito tempo e atenção durante o seu turno de trabalho, tirando o foco que é o controle da operação da mina. Um sistema bem configurado e operadores bem treinados reduzem substancialmente o número de exceções geradas, permitindo que o

despachante possa manter-se mais atento a outros controles e configurações na busca de uma melhor estratégia de otimização.

Mais importante que a quantidade de exceções geradas, é como essas exceções são tratadas pelos operadores de despacho, pois a tratativa dessas exceções pode impactar na integridade dos dados do ciclo de produção da mina, uma vez que várias exceções acarretam no recálculo dos tempos de ciclo pelo sistema de despacho. Dessa forma, foram analisadas as principais exceções que podem comprometer a integridade de dados do ciclo de produção e a tratativa dada a cada uma pelos despachantes.

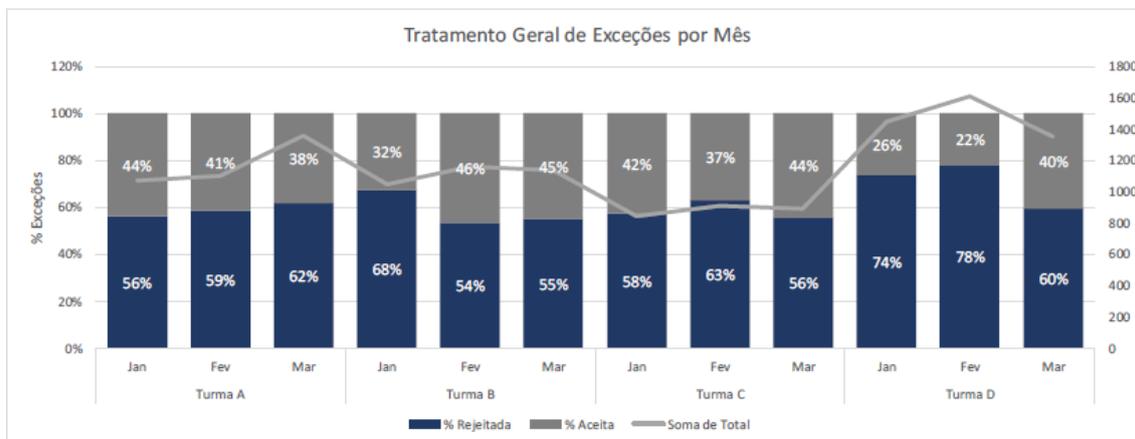
As figuras 33 e 34 mostram a quantidade total de exceções geradas por turma e a tratativa das exceções no geral.

Figura 49 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho.



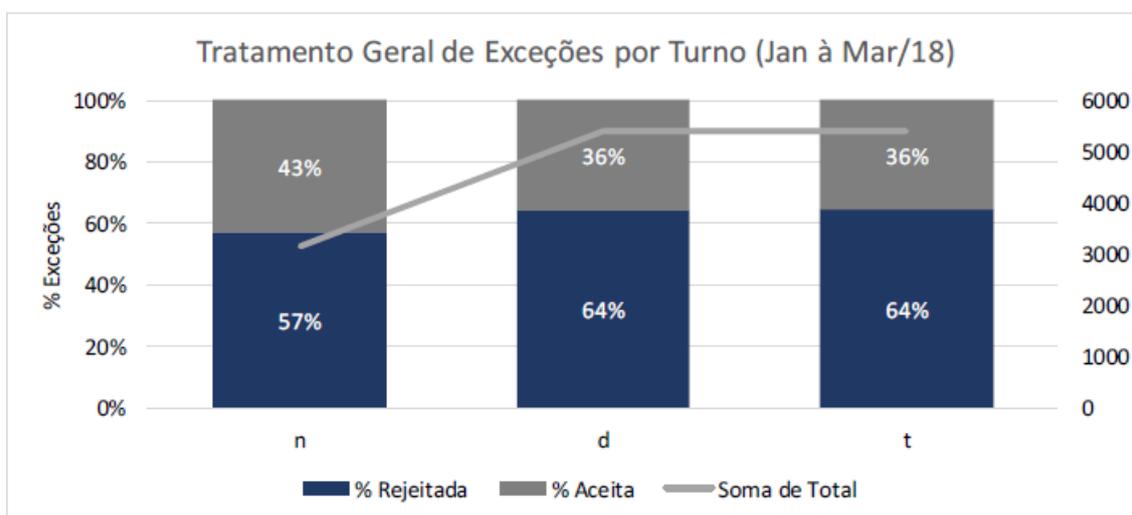
De acordo com a figura 33, a turma D destaca-se na rejeição das exceções geradas, enquanto as outras turmas estão bem próximas em relação a tratativa dada. Isso explica-se devido ao fato de que o despachante da turma D foi o último a ser contratado e recentemente passou por treinamentos enquanto o restante dos despachantes já opera o sistema a mais tempo.

Figura 50 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho por turma.



Nota-se, no entanto, que há uma queda no mês de março após o remanejamento desse operador para outra área por decisão gerencial e turma D passa então a equiparar-se às outras turmas. A figura 35 apresenta o mesmo sumário de tratativas gerais para o período, porém detalhada por turno.

Figura 51 - Tratativa geral das exceções geradas no despacho por turno.



Quando a tratativa geral é analisada turno a turno, percebe-se que há um número menor de rejeições das exceções no turno noturno quando comparado aos outros turnos. A justificativa para tal é o fato de que no turno noturno somente um despachante opera o sistema, enquanto nos outros turnos são dois. Com apenas um despachante operando o sistema, a atenção fica muito dispersa entre rádios, controle operacional da mina e otimização do sistema, o que acaba prejudicando a tratativa de exceções nesse turno.

As exceções geradas pelo despacho são divididas em cinco categorias: exceções de chegada, exceções de designação, exceções de carga/cheio, exceções de estado, exceções gerais e informativas (não precisam de tratativa) e dentro de cada categoria é possível rastrear a causa geradora da exceção. As figuras 36 a 43 apresentam as causas de maiores ocorrências para a mina do Sossego e a forma como foi dada a tratativa pelos despachantes.

As exceções por “carregamento repetido” e “cheio repetido” foram as causas com maior número de registro de exceções para o período na Mina do Sossego. Ações repetidas podem ocorrer por uma série de fatores, sendo as principais causas a falta de treinamento dos operadores em campo, falhas nos monitores de despacho que não registram as ações realizadas pelos operadores ou falhas de comunicação da rede que não transmite as ações realizadas em campo ao sistema de despacho central. Nesses casos, muitos operadores dos equipamentos acabam realizando novamente as ações por entender que a ação não foi efetivamente realizada, quando na verdade foi, e quando a comunicação com a rede é reestabelecida, duas ações de início de carregamento ou cheio são registradas no despacho, gerando uma exceção.

As figuras 36 e 37 apresentam os registros de exceções por “cheio repetido” que foi a causa com maior número de registros para o período na Mina do Sossego. Essa exceção ocorre quando o operador de equipamento de carga realiza a ação “cheio” mais de uma vez, que deve ser realizada apenas ao fim do processo de carregamento para que o caminhão seja então liberado para o destino de basculamento. Caso o despachante aceite a ação de “cheio repetido”, o tempo de trajeto carregado é reiniciado e o tempo gasto no carregamento é recalculado pelo sistema de despacho.

Figura 52 - Tratativa da exceção por cheio repetido por turma.

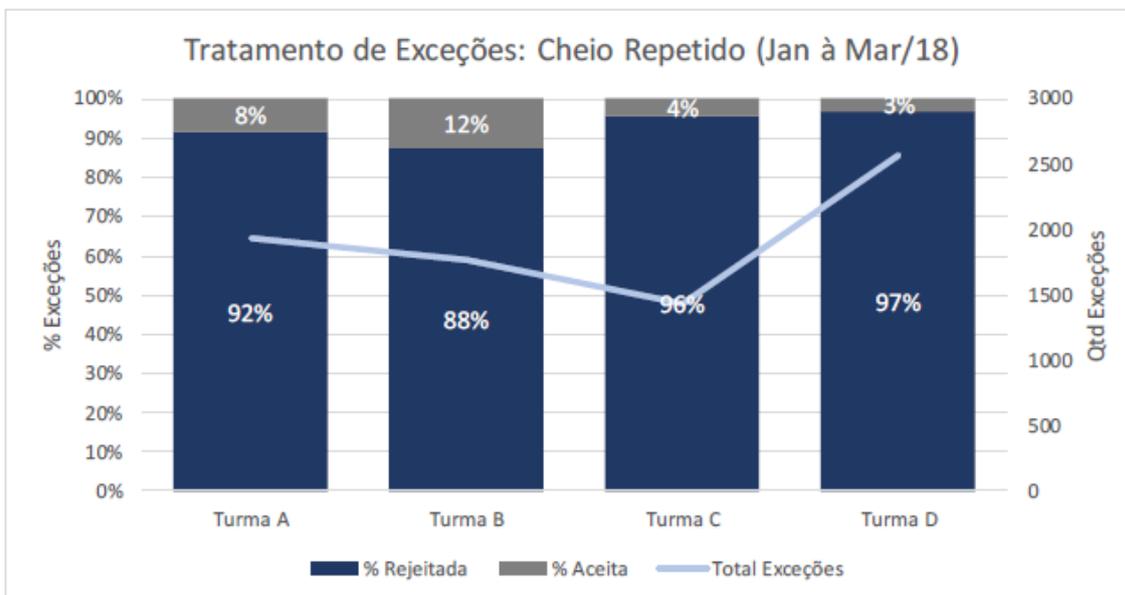
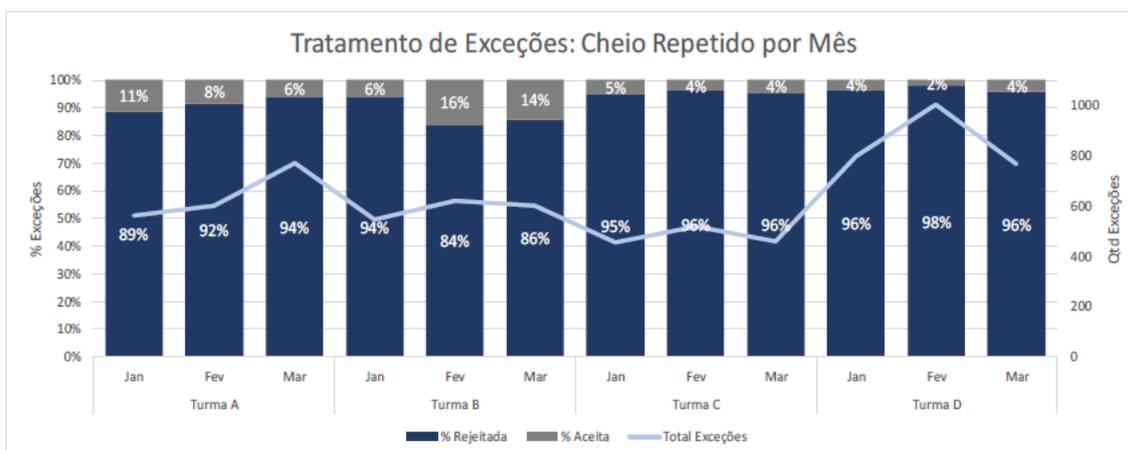


Figura 53 - Tratativa da exceção por cheio repetido por mês.

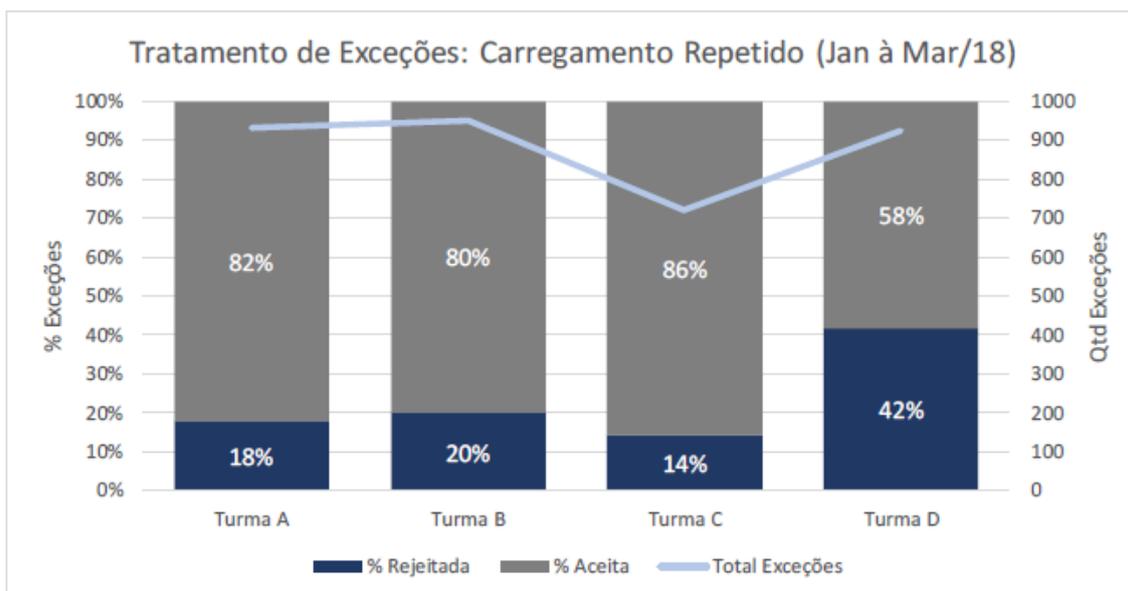


Verifica-se pelas figuras 36 e 37 que, apesar do alto número de registros por cheio repetido, a maioria das exceções foi rejeitada pelos operadores de despacho no período e apenas alguns meses apresentaram números pouco maiores que 10% de aceite. Apesar do percentual de aceite ser baixo para todas as turmas, nota-se que a turma D apresentou uma quantidade de eventos superior às demais turmas (quase o dobro da turma C), o que reflete que possivelmente a causa majoritária seja a falta de treinamento dos operadores dos equipamentos.

Nas figuras 38 e 39 é possível verificar o número total de os registros de exceções gerados por “carregamento repetido” que ocorre quando a ação de carregamento já foi executada pelo operador do caminhão e no entanto a ação “iniciar carga” é novamente realizada.

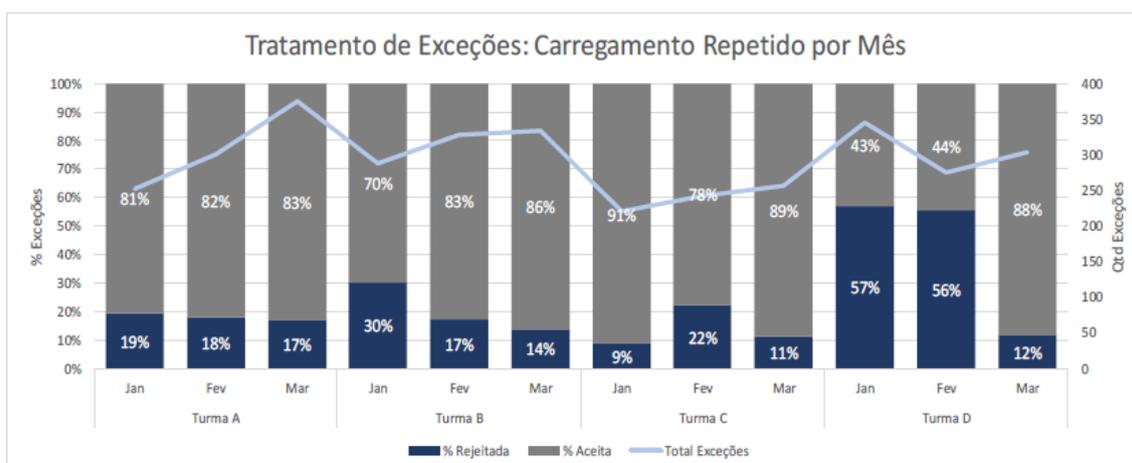
Caso o operador de despacho aceite essa exceção, o tempo de carregamento é reiniciado no sistema de despacho.

Figura 54 - Tratativa da exceção por carregamento repetido por turma.



Através das informações da figura 38 é notável que a turma D apresenta o maior número de exceções rejeitadas para carregamento repetido, enquanto as outras turmas apresentam um percentual próximo de rejeição para a mesma razão.

Figura 55 - Tratativa da exceção por carregamento repetido por mês.



O gráfico da figura 39 apresenta a tratativa mês a mês para mesma razão no primeiro trimestre do ano. O padrão apresentado para tratativa geral, permanece para a causa de carregamento repetido no qual ocorre uma mudança na tendência de comportamento da turma

D e há uma queda substancial na quantidade de rejeições, após a mudança do operador de despacho da turma no mês de março.

As figuras 40 e 41 apresentam a tratativa dada às exceções geradas por início de carga em equipamento em estado de parada. Essa ação ocorre quando o operador do caminhão executa a ação “iniciar carga” em um equipamento de carregamento em código de parada. Quando a exceção gerada por essa ação é aceita, a máquina de carga muda para o estado trabalhando e o caminhão inicia a ação “carregando”. Como o tempo de manobra é contabilizado apenas se a máquina de carga estiver no estado trabalhando, todo tempo de manobra registrado pelo sistema de despacho nessas condições é zerado.

Figura 56 - Tratativa da exceção por início de carga em equipamento parado por turma.

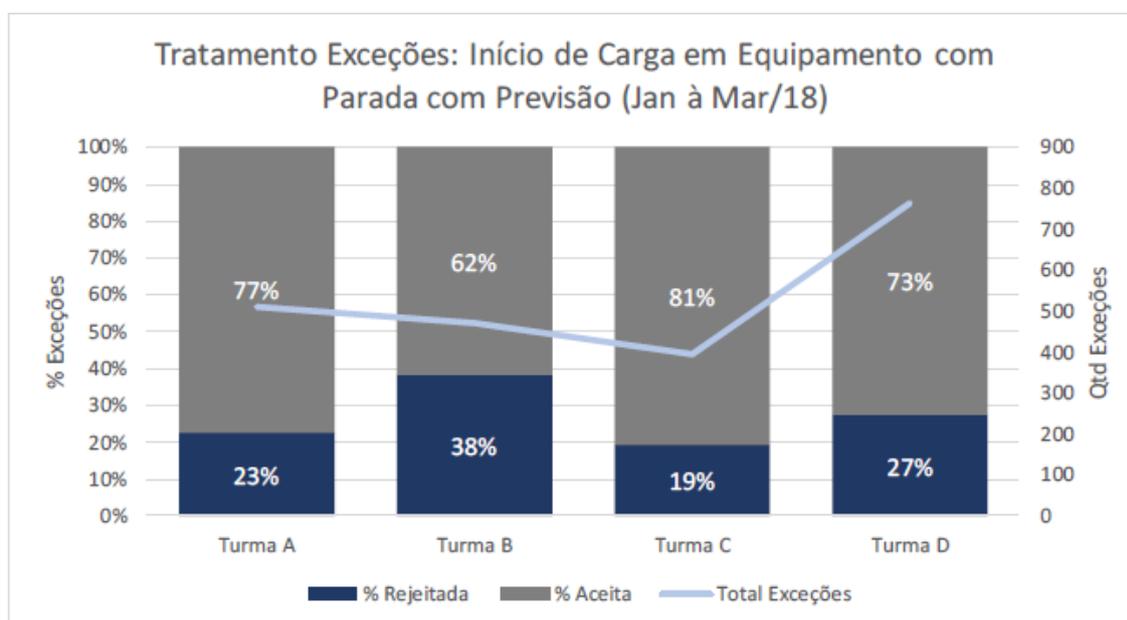
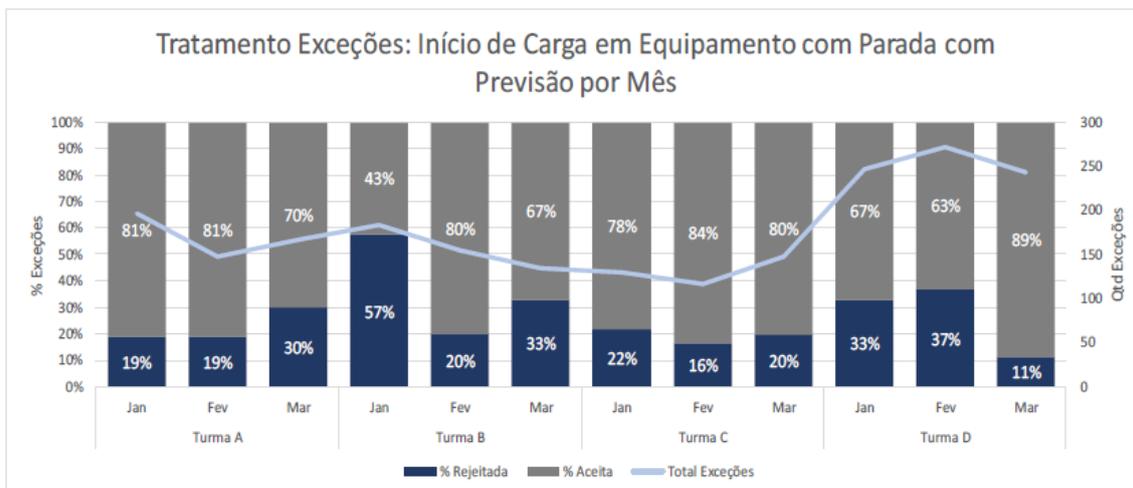


Figura 57 - Tratamento da exceção por início de carga em equipamento parado por mês.



A turma que apresentou a maior quantidade de aceites no trimestre foi a turma C, no entanto, apesar da pior tratativa dada, a turma que gera o maior número de ocorrências é a turma D, assim como nas exceções por “cheio repetido”, fazendo com que o impacto na integridade dos dados do ciclo de produção seja muito maior. Isso mais uma vez aponta para a necessidade de treinamento dos operadores dos equipamentos em campo.

As figuras 42 e 43 apresentam as exceções geradas por “chegada durante o carregamento”, que ocorrem quando o operador do caminhão executa a ação “chegada” após a ação de carregamento já ter sido iniciada no despacho. Quando o operador de despacho aceita essa exceção, todos os dados previamente calculados pelo despacho para tempo de manobra e carregamento são deletados e substituídos pelos novos tempos recalculados a partir da nova ação de chegada. Nesse caso o tempo de manobra vai ser zerado, uma vez que o equipamento de transporte já está posicionado e o tempo de carregamento vai ser reduzido, pois o carregamento já foi efetivamente iniciado em campo.

Figura 58 - Tratativa da exceção por chegada durante carregamento por turma.

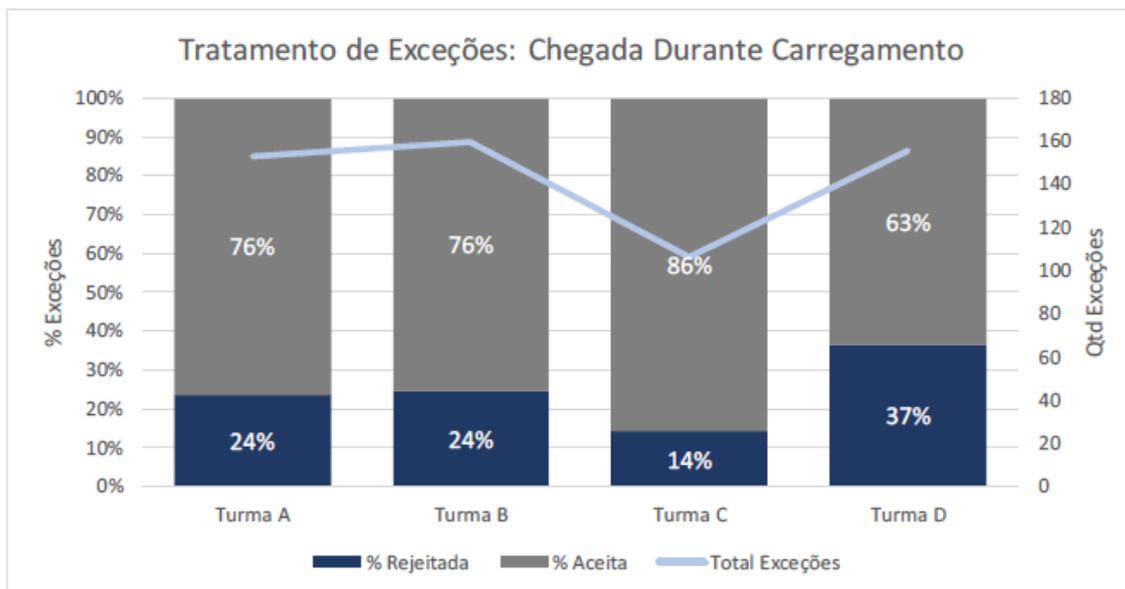
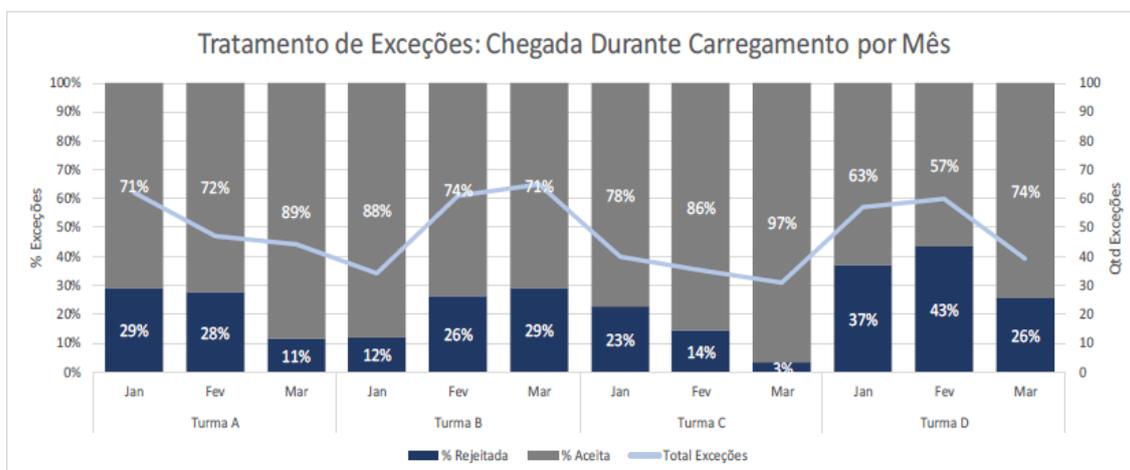


Figura 59 - Tratativa da exceção por chegada durante carregamento por mês.



Qualquer ação gerada durante o carregamento que não seja o “cheio” da escavadeira, pode ser considerada como um erro, uma vez que a ação esperada não foi executada. A turma C apresentou a maior quantidade de aceites este tipo de exceção, porém é a que possui a menor quantidade de ocorrências. Isso indica a necessidade de treinamento do operador de despacho da turma, uma vez que a quantidade de eventos registrados para esta exceção é muito baixa, ocorrendo em média menos de 2 vezes por turno.

REFERÊNCIAS

ALARIE, S. e GAMACHE, M. Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* 16, 2002.

ALVARENGA, G. B. Despacho ótimo de caminhões numa mineração de ferro utilizando algoritmo genético com processamento paralelo. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica).

AMARAL, M. e PINTO, L. R. XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto com alocação de equipamentos de carga e transporte. Bento Gonçalves: 2010. p.1177-1188.

ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R. e YANASSE, H. Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia. São Paulo: Elsevier, 2015.

BALDAM, R. L., NASCIMENTO, R. C., AMARANTE, L. M., COLEHO JÚNIOR T. P. e COSTA, L. Efetividade das Técnicas de Melhoria de Processos: Estudo de caso em mineradora. Congresso Latino-Americano de Administração e Negócios. Ponta Grossa: 2017. 5p.

BREGALDA, P. F., OLIVEIRA, A. A. F. e BORNSTEIN, C.T. Introdução à Programação Linear. 3ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988.

CARVALHO, E. R. Caracterização geológica e gênese das mineralizações de óxido de Fe-Cu-Au e metais associados na Província Mineral de Carajás: estudo de caso do Depósito de Sossego. Campinas: Universidade de Campinas, 2009. 11p. (Tese de Doutorado).

CARVALHO, M. M. et al. Gestão da Qualidade: teorias e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

ÇETIN, N. Open pit truck/shovel haulage system simulation. Ankara: Middle East Technical University, 2004. (Tese de doutorado).

CHVÁTAL, V. Linear Programming. New York: W. H. Freeman, 1983.

COHEN, S. S. Operational Research. London: Edward Arnold, 1985.

CORONADO, P. P. V. Optimization of the haulage cycle model for open pit mining using a discrete-event simulator and a context-based alert system. Arizona: University of Arizona, 2014. (Master degree thesis, Department of Mining, Geological and Geophysical Engineering,).

CORONADO, P. P. V., TENORIO, V. O. Optimization of open pit haulage cycle using a KPI controlling alert system and a discrete-event operations simulator. Arizona: University of Arizona, 2015.

COSTA, B. e GANGA, G. M. D. Benefícios da implantação de um sistema de despacho: estudo de caso em uma empresa de mineração. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: 2010.

COSTA, R. H. P. Análise da aplicação de um software Dispatch no sistema de transporte de uma mineradora. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. (Dissertação do curso de especialização em logística estratégica de sistemas de transporte).

COSTA, F. P., SOUZA, M. J. F. e PINTO, L. R. Um modelo de programação matemática para alocação estática de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 58(1): p.77-81, jan-mar. 2005.

COSTA, F. P. Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavras em mina a céu aberto. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2005, 141p. (Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral).

COSTA, F. P., SOUZA, M. J. F. e PINTO, L. R. Um modelo de alocação dinâmica de caminhões. Brasil Mineral 231, p.26-31, 2004.

COUTINHO, H. L. Melhoria continua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. (Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral).

CRAWFORD, J. T. e HUSTRULID, W. A. Open pit mine planning and design. New York: UMI Books on Demand, 1979.

FELSCH JÚNIOR, W. S. Análise do desempenho dos operadores de equipamentos de mina e simulação de cenários futuros de lavra. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2014. (Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral).

FITZSIMMONS, J. A. e FITZSIMMONS, M. J. Estratégia em serviços. Administração de serviços. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

HARTMAN, H. L. e MUTMANSKY, J. M., Introductory mining engineering. 2ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2002.

HENDERSON, M. H.; EVANS, J. R. Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company. Benchmarking an International Journal, v.7, n.4 p.260-281, 2000.

HILLIER, F. S. e LIEBERMAN, G. J. Introduction to operations research. 7ª ed. Nova York: Mc Graw Hill, 2001.

HUSTRULID, W. KUCHTA, M. Open pit mine planning & design: Fundamentals. 3ª ed. New York: CRC Press, vol.1, 1995.

JESUS, A. R. Seis Sigma em grandes indústrias no Brasil: problemas de implementação e fatores críticos de sucesso. Salvador: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2015. (Tese de doutorado).

KOLONJA, B., KALASKY, D. R. e MUTMANSKY, J. M. WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1993. Optimization of dispatching criteria for open pit truck haulage system

design using multiple comparisons with the best and common random numbers. Los Angeles: p.393-401.

KARLOFF, H. Linear Programming. Boston: Birkhäuser, 1991.

LISBÔA, M. G. P. e GODOY, L. P. Aplicação do método 5W2H no processo produtivo. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, v.4, n.7, p. 32-47, 2012.

LUUS, R. Iterative dynamic programming. Flórida: Chapman & Hall/CRC, 2000.

MARAN, J. e TOPUZ, E. Simulation of truck haulage systems in surface mines. International Journal of Surface Mining, vol.2, p.43-49, 1988.

MERSCHMANN, L. H. C. e PINTO, L. R. Planejamento operacional da lavra de mina usando modelos matemáticos. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v.4, n.3, p.2011-2014, 2001.

MODULAR MINING SYSTEMS INC. MasterLink 11 radio system: user's guide. Belo Horizonte: 2004.

MODULAR MINING SYSTEMS INC. Introdução ao Dispatch: manual de treinamento do usuário. Belo Horizonte: 2005.

MODULAR MINING SYSTEMS INC. Manual de treinamento Dispatch: operação do sistema para despachantes. Belo Horizonte: 2010.

MONTOYA, R.A.G., ESPINAL, A.A.C. e VAHOS, J.D.H. Transporte verde: eficiência y reducción de CO₂ integrando gestión, tecnologías de información y comunicaciones (TIC) y um metaheurístico. Revista Producción + Limpia, Caldas, vol.10, n.2, p.53-68, 2015.

MUNIRATHINAM, M. e YINGLING, J. C. A review of computer-based truck dispatching strategies of surface mining operations. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 8, p.1-15, 1994.

MUTMANSKY, J.M. Computing and operations research techniques for production scheduling. Computer methods for the 80's in the mineral industry, New York, p.615-625, 1979.

PANTUZA JÚNIOR, G. Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011. (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral).

PINTO, E. B. (2007). Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. (Dissertação de mestrado).

QING-HUA, G. et al. Monitoring dispatch information system of trucks and shovels in open pit based on GIS/GPS/GPRS. J Chima Univ Mining & Technol, vol.18, p.288-292, 2008.

REIS, L. A. Melhoria do desempenho de malhas de controle utilizando a metodologia Lean Seis Sigma. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2016. (Trabalho de conclusão de graduação).

RODRIGUES, L. F. Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. (Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em engenharia de produção).

RODRIGUES, M. V. Ações para a qualidade – GEIQ: Gestão integrada para a qualidade - Padrão Seis Sigma - Classe mundial. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

SACHS, P.F.T e NADER, B. Sistemas de Gestão da Produção e a Cadeia de Valor Mineral. Disponível em: http://www.brasilminingsite.com.br/anexos/artigos/33_0.pdf. Acesso em 04 de maio de 2018.

SEBRAE. Ferramenta 5W2H. Disponível em: http://www.trema.gov.br/qualidade/cursos/5w_2h.pdf. Acesso em: 06 de junho de 2018.

SRAJER, V., HICK, L. e WALSH, M. Selection, development and testing of integrated truck-shovel management system. Trans. Institution of Mining Metallurgy, p.A105-A112, 1989.

STEINBERG, J. G. Lean Mining: Modelagem e melhorias em cadeiras logísticas minerais. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010. (Tese de Doutorado, Departamento de engenharia de minas e petróleo).

TU, J. H. e HUCKA, V. J. Analysis of open-pit truck haulage system by use of a computer model. CIM Bulletin, 78:879, p.53-59, 1985.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. São Paulo: Atlas, 1997.

VANDERBEI, R. J. Linear Programming: Foundations and Extensions. Boston: Kluwer, 1997.

WAGNER, H. M. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1986.

WAGNER, H. M. Principles of Operations Research — Applications to Managerial Decisions. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1969.

WERKEMA, C. Ferramentas estatísticas básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WHITE, J. W. e OLSON, J. P. Computer-based dispatching in mines with concurrent operating objectives. Mining Engineering 38:11, p.1045-1054, 1986.

WHITE, J. W., ARNOLD, M.J. e CLEVINGER, J. G. Automated open-pit truck dispatching at Tyrone. Engineering and Mining Journal, v. 183, n.11, p.76-84, 1982.