



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DANILO CORDEIRO ANDRADE

SUPERVISÓRIO DE FROTAS DISPATCH: ELETRÔNICA EMBARCADA
APLICADA NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MINERAÇÃO.

FORTALEZA

2022

DANILO CORDEIRO ANDRADE

SUPERVISÓRIO DE FROTAS DISPATCH: ELETRÔNICA EMBARCADA APLICADA NA
OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MINERAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A566s Andrade, Danilo Cordeiro.
Supervisório de frotas DISPATCH : eletrônica embarcada aplicada na otimização de processos de mineração / Danilo Cordeiro Andrade. – 2022.
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça.

1. DISPATCH. 2. Supervisório de frotas . 3. Eletrônica embarcada. I. Título.

CDD 621.3

DANILO CORDEIRO ANDRADE

SUPERVISÓRIO DE FROTAS DISPATCH: ELETRÔNICA EMBARCADA APLICADA NA
OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE MINERAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Henrique Silva Colado Barreto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jose Willamy Medeiros Araujo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha mãe, Maria Das Dores.

A minha esposa, Clara Paula.

A minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela grande dádiva da vida e por me dar saúde e forças para alcançar meus objetivos.

A minha família materna, por todo amor, carinho e dedicação que me fizeram chegar até aqui.

A minha mãe, Maria Das Dores Costa Cordeiro, que além de amor, sempre se esforçou para dar tudo que fosse necessário para alcançar meus objetivos com honestidade e integridade.

A minha esposa, Clara Paula Santos, por todo amor, carinho e companheirismo sem os quais a vida perderia o brilho.

A minha avó paterna, Maria Neuza, que sempre fez o possível para dar a melhor educação para meu futuro.

Aos meus avós maternos, Maria Neuza e Raimundo Costa, que com muito amor me ensinaram sobre integridade, honestidade e esforço.

Ao Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça, que desde o início da graduação tem sido um sólido suporte, pela disponibilidade e orientação realizada.

Aos Profs. Drs. Luiz Henrique Silva Colado Barreto e Jose Willamy Medeiros Araujo, pela disponibilidade e suporte para entrega deste trabalho de conclusão de curso.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia.” (William Edwards Deming, 1950).

RESUMO

A eletrônica desde sua concepção até os dias de hoje vem desempenhando um papel muito importante de vida dos seres humanos. Os grandes avanços tecnológicos são a vanguarda das organizações que cada dia mais busca processos mais eficientes e automáticos. Esse trabalho apresenta os conceitos de transporte na mineração e faz uma validação do sistema supervisorio de frotas desenvolvido pela Modular Mining System, DISPATCH, em sua aplicação na indústria da mineração trazendo soluções de eficiência e aumento de produtividade dentro do cenário estabelecido. Além disso, o sistema possui inúmeras possibilidades que alinhadas a eletrônica embarcada podem fornecer inúmeras informações em tempo real para um monitoramento por completo de toda frota da organização, fornecendo subsídios para tomadas de decisão e gerenciamento de forma estratégica das operações de mina a partir de dados obtidos em campo, com precisão e confiabilidade.

Palavras-chave: DISPATCH; SUPERVISÓRIO DE FROTAS; ELETRÔNICA EMBARCADA.

ABSTRACT

Electronics, from its inception to the present day, has played a very important role in the lives of human beings. The great technological advances are the forefront of organizations that are increasingly looking for more efficient and automatic processes. This work presents the concepts of transport in mining and validates the fleet supervisory system developed by Modular Mining System, DISPATCH, in its application in the mining industry, bringing efficiency solutions and increased productivity within the established scenario. In addition, the system has numerous possibilities that, aligned with the onboard electronics, can provide numerous information in real time for a complete monitoring of the entire fleet of the organization, providing subsidies for decision making and strategic management of mine operations from data obtained in the field, with precision and reliability.

Keywords: DISPATCH; FLEET SUPERVISORY; EMBARKED ELECTRONICS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Custo estimado por fase de mineração	18
Figura 2 – Distribuição dos Custos na Fase Operação de Mina	22
Figura 3 – Ciclo operacional simplificado das operações unitárias de mina à céu aberto	23
Figura 4 – Ciclo Básico de Operações Unitárias de Carga e Transporte	24
Figura 5 – Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6	26
Figura 6 – Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6 em Operação	27
Figura 7 – Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6	28
Figura 8 – Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6 em Operação	28
Figura 9 – Caminhão Komatsu 960E	29
Figura 10 – Caminhão Komatsu 960E em Operação	29
Figura 11 – Britagem Dentro da Cava e Caminhões De Pequeno Porte No Minério	30
Figura 12 – Alocação Estática de Caminhões	32
Figura 13 – Modelo de Transporte Fixo	32
Figura 14 – Alocação Dinâmica de Caminhões	33
Figura 15 – Modelo de Transporte Fixo	34
Figura 16 – Tela de Inicialização da Aplicação DISPATCH	35
Figura 17 – Tela do sistema DISPATCH com tipos de perspectivas	36
Figura 18 – Painel Compacto de Produtividade	37
Figura 19 – Modelo de Mina	38
Figura 20 – Imagem de Mina do Projeto Ferro Carajás	39
Figura 21 – Modelo de Mina Representação de Cavas	39
Figura 22 – Modelo de Mina Representação de Locais de Carregamento	40
Figura 23 – Modelo de Mina Representação de Locais de Descarregamento	41

Figura 24 – Modelo de Mina Representação de Pontos de Chamada	42
Figura 25 – Exemplo de Posicionamento de Beacons em Uma Mina	43
Figura 26 – Exemplo de Posicionamento de Beacons e Pontos de Chamada em Uma Mina	43
Figura 27 – Modelo de Mina Representação de Estradas e Rotas	44
Figura 28 – Visão Geral da Rede de Telecomunicação Via Wireless na Mina	46
Figura 29 – Configuração do Controle nos Equipamentos (Frota)	47
Figura 30 – Rádio Antena Instalada Na Lateral do Equipamento	47
Figura 31 – Modelo de Antena Repetidora Móvel de Campo Master Link	48
Figura 32 – Configuração do Controle Central do Sistema DISPATCH	50
Figura 33 – Diversas Interfaces de Monitoramento Aplicadas em um Equipamento	51
Figura 34 – Esquema Simplificado de Sistema de Telemetria Aplicado em Caminhão Fora de Estada	52
Figura 35 – Esquema de Ligação das Unidades do Despacho com Diversas Interfaces de Monitoramento	52
Figura 36 – Monitoramento em Tempo Real da Unidade de Controle do Motor	54
Figura 37 – Relatório de Monitoramento de Motores da Frota Terex	55
Figura 38 – Unidades de Controle Eletrônico e Sensores Conectados	55
Figura 39 – Monitoramento de Perfuração	56
Figura 40 – Tempo de Ciclo dos Caminhões e Equipamentos	57
Figura 41 – Ciclo de Transporte e Indicadores Associados	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Preferência em Trabalhar com o Sistema	59
Gráfico 2 – Facilidade de Utilização do Sistema	59
Gráfico 3 – Eventos de Falha no Sistema	60
Gráfico 4 – Facilidade de Comunicação com a Central de Monitoramento	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações da Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6	26
Tabela 2 – Especificações da Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6	27
Tabela 3 – Especificações do Caminhão Komatsu 960E	29
Tabela 4 – Especificações do Britador MKIII 42-65	30
Tabela 5 – Tipos de Tela de Perspectivas Por Tipo de Exibição	37
Tabela 6 – Interfaces por Tipo de Monitoramento	52
Tabela 7 – Dados extraídos do sistema de despacho eletrônico	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MMS	Modular Mining System
IOT	Internet das Coisas
FMS	Sistema de Gerenciamento de Frotas
DDEC	Detroit Diesel Eletronic Control
DMS	Drill Management System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo	18
1.2	Motivação	18
1.3	Estruturação do Trabalho	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3	CONTEXTO DA MINERAÇÃO	23
3.1	Equipamentos Móveis	27
<i>3.1.1</i>	<i>Escavadeira</i>	27
<i>3.1.2</i>	<i>Pá Carregadeira</i>	28
<i>3.1.3</i>	<i>Caminhão Fora de Estrada</i>	29
<i>3.1.4</i>	<i>Britador</i>	31
3.2	Tipos de Transporte	32
<i>3.2.1</i>	<i>Transporte Fixo</i>	32
<i>3.2.2</i>	<i>Transporte Otimizado</i>	33
4	SUPERVISÓRIO DE FROTAS	36
4.1	Sistema	37
4.2	Modelo de Mina	38
<i>4.2.1</i>	<i>Mina</i>	39
<i>4.2.2</i>	<i>Cava (Pits)</i>	40
<i>4.2.3</i>	<i>Locais</i>	41
<i>4.2.4</i>	<i>Pontos de Chamada</i>	42
<i>4.2.5</i>	<i>Beacons</i>	43
<i>4.2.6</i>	<i>Estradas e Rotas</i>	44
4.3	Dados Processados	45
4.4	Hardware de Comunicação	46
<i>4.4.1</i>	<i>Hardware de Frota</i>	47
<i>4.4.2</i>	<i>Hardware de Campo</i>	49
<i>4.4.3</i>	<i>Hardware Central</i>	50
4.5	Tecnologias Embarcadas	51
<i>4.5.1</i>	<i>Interface DDEC</i>	55
<i>4.5.2</i>	<i>Interface DMS</i>	58

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1	Utilização do Sistema DISPATCH no Planejamento de Produção	62
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O planeta está em constante mudança, a busca pelas melhores soluções para as dores do dia a dia acontece de forma sistemática e a eletrônica é uma das grandes ferramentas que estão sendo utilizadas para alcançar os resultados desejados.

O mundo foi apresentado a Indústria 4.0 também chamada de 4ª Revolução Industrial, que transformou a forma como enxergamos a automação e a troca de dados, trazendo inovação, eficiência, otimização tanto nas fases de produção como nos modelos de negócios. A *Internet of Things* - IOT ou Internet das Coisas trás o conceito de conexão, dispositivos e pessoas conectados em rede que coletam e compartilham dados que podem trazer entendimento para uma melhor eficiência. A evolução é constante e muito rápida, já se apresentou a Indústria 5.0 e algumas organizações já atuam segundo a Indústria 6.0 que já realiza um trabalho voltado para proteção de dados e segurança dos usuários.

No âmbito particular, os indivíduos se utilizam da eletrônica para otimizar sua gestão de rotina, sua residência ou seu veículo de transporte. No âmbito empresarial, as organizações estão trabalhando para obter ganhos em seus processos em busca de melhores resultados através da eletrônica.

A concorrência empresarial está mais competitiva a cada ano que passa, e a frase de autor desconhecido “fazer mais com menos”, que significa entregar mais resultado com menos recursos, trabalhando de forma inteligente, nunca foi tão disseminada nas empresas que buscam reduzir custos e alavancar os ganhos. Para tal, as empresas tem investido em soluções tecnológicas para controle, organização e gerenciamento de seus processos e no setor de mineração, não tem sido diferente.

De acordo com Pinto (2007, p. 13)

As empresas do setor de mineração estão entre as que vêm fazendo maiores investimentos no país. Assim crescem as oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias que favoreçam a organização e o controle dos processos de extração e beneficiamento do minério.

As soluções tecnológicas aliadas as operações visam por meio das informações coletadas facilitar as tomadas de decisões e dar mais confiabilidade e previsibilidade aos processos.

Segundo o professor William Edwards Deming, “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia.”.

Com o intuito de gerenciar e otimizar o ciclo de carregamento e transporte dentro do processo de mineração, a Vale S.A. adquiriu o Sistema de Gerenciamento de Frotas DISPATCH, desenvolvido pela Modular Mining System - MMS.

O DISPATCH atua nos ciclos de trabalho reduzindo os tempos de inatividade dos equipamentos de carregamento e transporte, que por consequência eleva o resultado operacional de produção. Tal Sistema não se limita apenas a essa etapa do processo, com o mesmo é possível acompanhar por equipamento o que foi programado e comparar com o que foi realizado, além de permitir o monitoramento das frotas 24 horas por dia, gerando entradas de dados que permitem uma análise para correções operacionais imediatas, além de planejamento a curto, médio e longo prazo.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar como a eletrônica está inserida dentro do âmbito da mineração com a missão de prover ganhos operacionais na etapa de logística e por consequência um melhor resultado para a organização. Tais ganhos operacionais podem ser conseguidos de duas maneiras, uma delas é o aumento da produção que tem influência direta no resultado e a outra é devido redução de custos dentro de processos já existentes. Todos os ganhos operacionais são decorrentes de otimizações de rotinas e processos preexistentes.

A importância deste trabalho está em apresentar e avaliar o sistema de controle operacional desenvolvido pela Modular Mining. O Sistema de Gerenciamento de Frotas (FMS) DISPATCH atua sob a etapa de carga e transporte das operações de lavra, sendo uma ferramenta de gestão e controle operacional.

Será apresentado os conceitos de mineração, bem como os processos que envolvem a etapa de carga e transporte para uma compreensão de como o sistema opera e um melhor entendimento da complexidade do sistema de informação agregado a essa solução de produtividade em áreas de mineração.

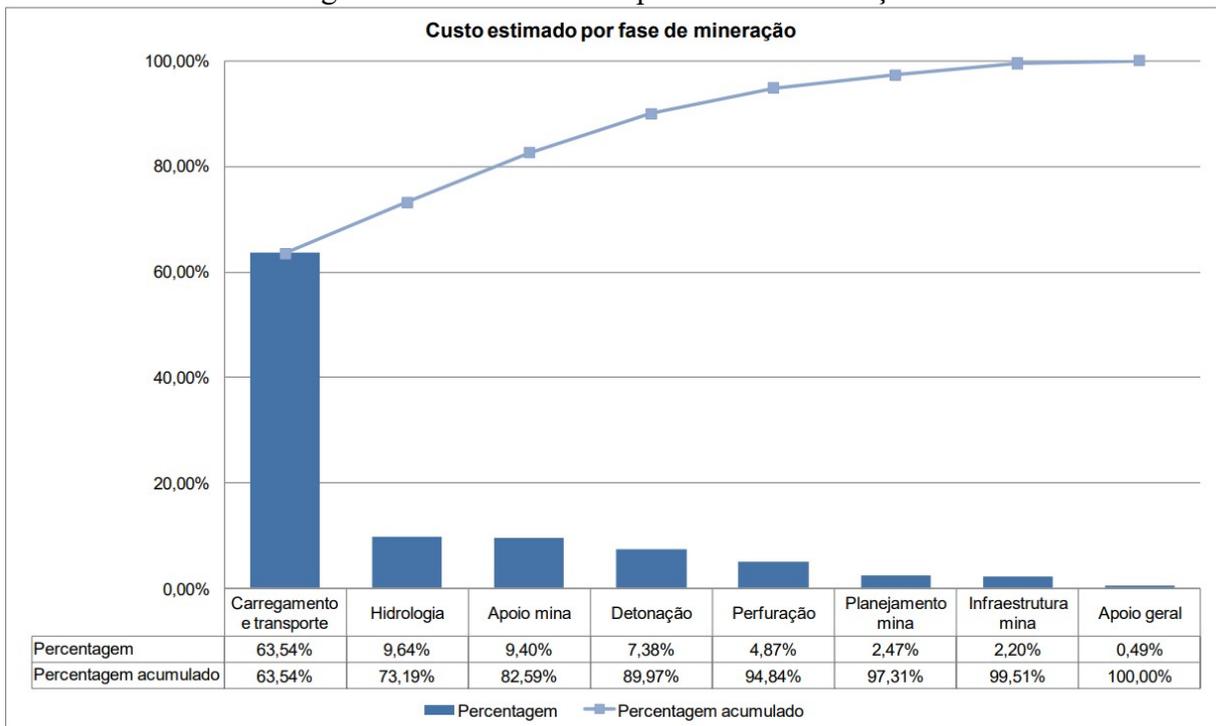
1.2 Motivação

As operações de carregamento e transporte são as mais críticas e complexas dentro dos processos de lavra, já que representam aproximadamente 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados, de acordo com Alvarenga, 1997; Costa et al., 2005; Rodrigues, 2006, apud Quevedo (2009).

Na Figura 1 é possível visualizar a representação da etapa de carregamento e transporte com relação aos outros processos relacionados.

Para Quevedo (2009), o processo de carregamento e transporte tem grande efeito no desempenho econômico de uma mina uma vez que envolve um alto custo de capital e custo operacional. Segundo Çetin (2004), este custo elevado se deve ao grande investimento que se requer para aquisição de equipamentos de carga e transporte, assim como outros recursos, tais como pessoal, combustível e custo de manutenção dos equipamentos. Os recursos financeiros e humanos poderiam ser mais bem alocados se houvesse um correto dimensionamento da frota de equipamentos visando maximizar a sua produção relacionada ao melhor custo benefício, minimizando os custos totais e unitários de carregamento e transporte.

Figura 1 - Custo estimado por fase de mineração.



Fonte: Quevedo (2009).

Devido sua grande relevância dentro do processo de mineração, a etapa de carregamento e transporte será o objeto de avaliação com a aplicação do supervisor de gerenciamento de frotas para otimização dos recursos e melhoria operacional para alavancar o índice de produção.

1.3 Estruturação do Trabalho

O presente trabalho de conclusão de curso está organizado em seis capítulos.

No primeiro capítulo deste trabalho são apresentados o tema, objetivo, motivação e a estruturação.

No segundo capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre o tema, apresentando trabalhos sobre o tema que será apresentado.

No terceiro capítulo, será abordado o processo de mineração com definição de conceitos necessários para entendimento do trabalho apresentado.

No quarto capítulo, será apresentação o supervisor de frotas *DISPATCH*, programa desenvolvido pela Modular Mining System - MMS, no qual faz o gerenciamento dos transportes das operações de lavra e demais recursos que o mesmo possui.

No quinto capítulo será apresentados os resultados da aplicação desse software na área de mineração e outras aplicações.

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões com relação a aplicação do sistema de gerenciamento de transporte no processo de mineração, onde será possível discorrer, levando em consideração os resultados obtidos, se o sistema consegue otimizar o processo de transporte nas operações de lavra.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Pelichek (2009), os primeiros sistemas de telemetria surgiram em meados do século XIX.

Para Santos, Silva e Machado (2020), a telemetria veio para auxiliar na gestão das empresas de forma a ampliar as oportunidades e ascendê-las perante a concorrência.

Segundo Felsch Junior et al. (2018), os processos de produção estão sendo otimizados constantemente com o auxílio da eletrônica embarcada, da informática e dos sistemas de comunicação para obter informações em tempo real e subsidiar a tomada de decisões.

Para Tu e Hucka (1985) apud Costa (2011), têm sido observadas melhorias de 3% a 15% na produtividade do transporte por caminhões nas operações de mina a céu aberto que implementaram sistemas computadorizados de gerenciamento de frotas.

Conforme Felsch Junior et al. (2018), além de utilização de novas tecnologias para desenvolvimento de controle e indicadores, o monitoramento constante dos resultados se mostrou essencial para evolução e melhoramento dos índices.

O sistema de carregamento / transporte determina a lucratividade de uma mina superficial (KONYUKH et al. 1999).

Segundo Wang et al. (2006), informam que, no final dos anos 90, os custos de transporte correspondiam a mais de 50% dos custos de produção de minas a céu aberto.

De acordo com Rodrigues (2006),

Minas a céu aberto utilizam dois critérios para a alocação de caminhões: alocação estática e dinâmica. Na alocação estática, os caminhões são fixados a um ponto de carga e a um ponto de descarga, ou seja, o seu deslocamento ocorre apenas entre esses dois pontos durante um determinado período de tempo. Na alocação dinâmica, a cada carga e/ou descarga, o caminhão é direcionado para um ponto específico, de acordo com critérios previamente estabelecidos.

Segundo Kolonja et al. (1993),

Historicamente, as minas de céu aberto sempre operaram utilizando a alocação estática, mas, com o advento da possibilidade de monitoramento e controle por computador, vem utilizando, atualmente, a alocação dinâmica, despachando os caminhões para a lavra com maior possibilidade de contribuição para o atendimento dos objetivos de produção no curto prazo.

Pinto (2007) explica que, os termos “alocação dinâmica” e “despacho” são equivalentes, ou seja, o termo despacho refere-se à alocação dinâmica de caminhões e equipamentos de carga.

Tu e Hucka (1985) apud Pinto (2007), explicam que, no sistema de despacho, ao contrário da alocação estática, os caminhões não são alocados para uma mesma carregadeira durante todo o tempo, o que significa que, após cada descarregamento, o caminhão é enviado a uma carregadeira de acordo com a situação de momento da mina.

Segundo Knights e Bonates (1999), a utilização da alocação dinâmica requer a utilização de um sistema de despacho.

Pinto (2007), detalha que os sistemas de despacho utilizam critérios previamente estabelecidos, como qualidade (atendimento das restrições químicas da usina de beneficiamento) ou produtividade (maximização da utilização dos equipamentos).

Segundo Chinoris (1985), a primeira instalação de um sistema de despacho ocorreu em Tyrone, no ano de 1979.

De acordo com Porto et al. (2015), o sistema instalado nos caminhões fora de estrada recebe informações dos módulos que utilizam múltiplos sensores para captação dos dados, também são utilizados métodos para agregar esses dados em um pacote e enviá-los via rádio frequência.

O principal objetivo do gerenciamento de frota ou “despacho” computadorizado é maximizar o tempo total produtivo da mina, minimizar a quantidade de caminhões necessária para o transporte, maximizar a produção dos equipamentos de carga e atender os padrões de qualidade da usina de tratamento (CHIRONIS,1985).

Um sistema de gerenciamento de frota, “despacho” bem planejado e implementado pode gerar boas economias para a empresa, ao reduzir, por exemplo, o tamanho da frota necessário de caminhões (CHIRONIS, 1985).

Nesse intuito, o sistema de despacho pode reduzir o custo de capital e da operação, através da redução da frota de caminhões necessária e do aumento da produção com a utilização da mesma frota (WHITE E OLSON, 1986; WHITE et al. 1993; RODRIGUES, 2006; PINTO, 2007).

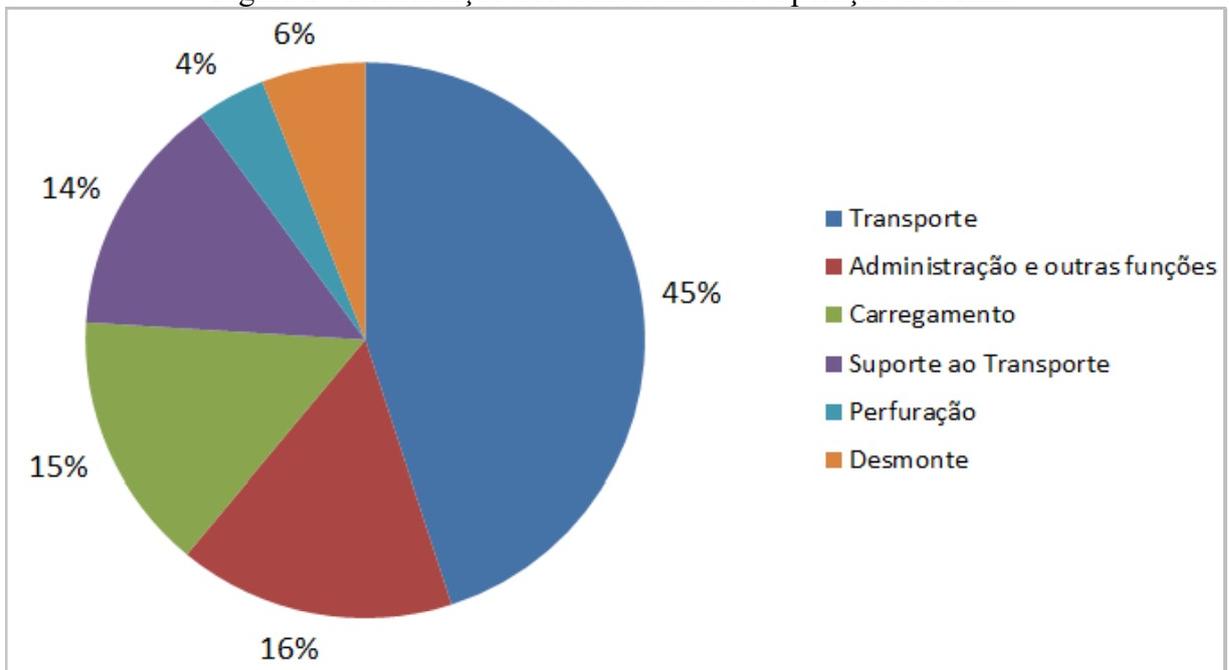
3 CONTEXTO DA MINERAÇÃO

O planejamento eficaz de uma mina envolve o uso de tecnologias e processos que permitam o uso otimizado dos recursos disponíveis, incluindo pessoas, equipamentos e materiais. Isso inclui o uso de sistemas de gestão de produção, que permitem monitorar e controlar os processos de produção, minimizando os custos de produção e aumentando a segurança operacional.

Será necessário definir os tipos de custos para uma melhor compreensão a partir de então. Os custos de lavra, sendo lavra definido como a operação que vai desde a extração até o beneficiamento do minério, são todos os valores gastos relacionados a escavação, transporte e beneficiamento. Já os custos de transporte são uma fração dos custos de lavra, que sozinho pode superar o somatório dos custos de perfuração, desmonte e carregamento juntos.

De acordo com a Figura 2, é possível entender a tamanha relevância que as etapas de carregamento, 15%, e transporte, 45%, possuem dentro dos custos na fase de operação de mina, ao todo somam 60% do custo total. Se adicionarmos o suporte ao transporte, essa somatória chega a 74%.

Figura 2 - Distribuição dos Custos na Fase Operação de Mina.

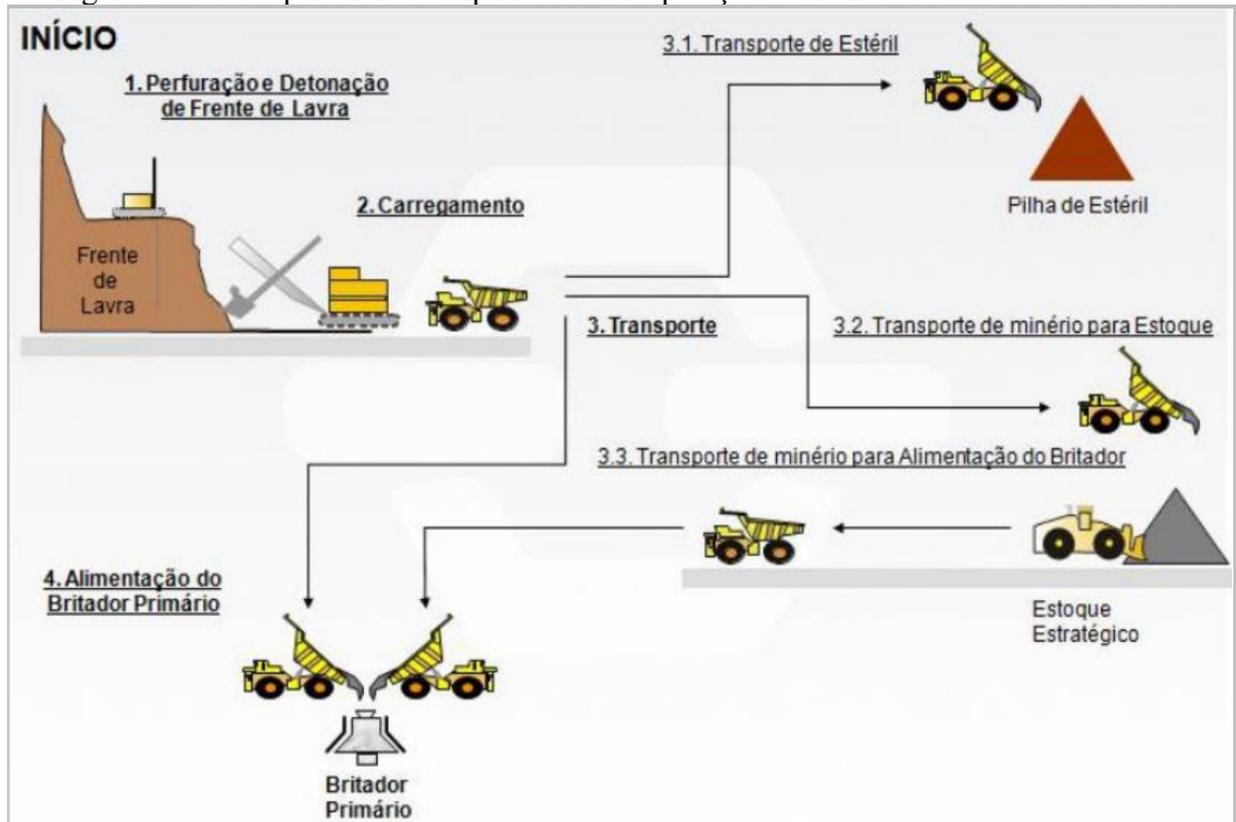


Fonte: Adaptado Teixeira (2016).

Dentro do contexto de custos de carregamento e transporte, logística, podemos citar o consumo de combustível e de pneus, sempre serão os maiores custos da organização.

Na Figura 3, podemos visualizar o ciclo completo, de forma simplificada, da fase de operação de mina. Logo após será definida cada etapa do ciclo.

Figura 3 - Ciclo operacional simplificado das operações unitárias de mina à céu aberto.



Fonte: Felsch Junior (2014).

1. Etapa de Perfuração e Detonação da Frente de Lavra.

Nessa etapa é realizada a preparação do terreno para a lavra ou extração do minério, esses locais podem ser denominados de frente de lavra ou áreas de escavação. Consiste na perfuração para avaliação da qualidade do minério no local e posteriormente a detonação, com explosivos, de forma controlada para início dos carregamentos.

2. Etapa de Carregamento

Consiste na etapa de carregamento, por pás carregadeira ou escavadeiras, do material após a detonação nos equipamentos de transporte. Os materiais carregados podem ser definidos como:

- Estéril

Material não é aproveitado no processo.

- Minério

Material que será enviado para beneficiamento.

3. Etapa de Transporte

Realiza o transporte, por meio de caminhões fora de estrada, do material carregado do ponto de carregamento ao ponto de báscula ou descarregamento. Sendo que esse ponto de báscula pode variar de acordo com a operação do momento.

- Pilha de Estéril

Local de armazenamento do material estéril.

- Pilha de Minério ou Pilha Pulmão

Local de armazenamento de minério.

- Britador

Parte do processo no qual o minério será enviado para o beneficiamento.

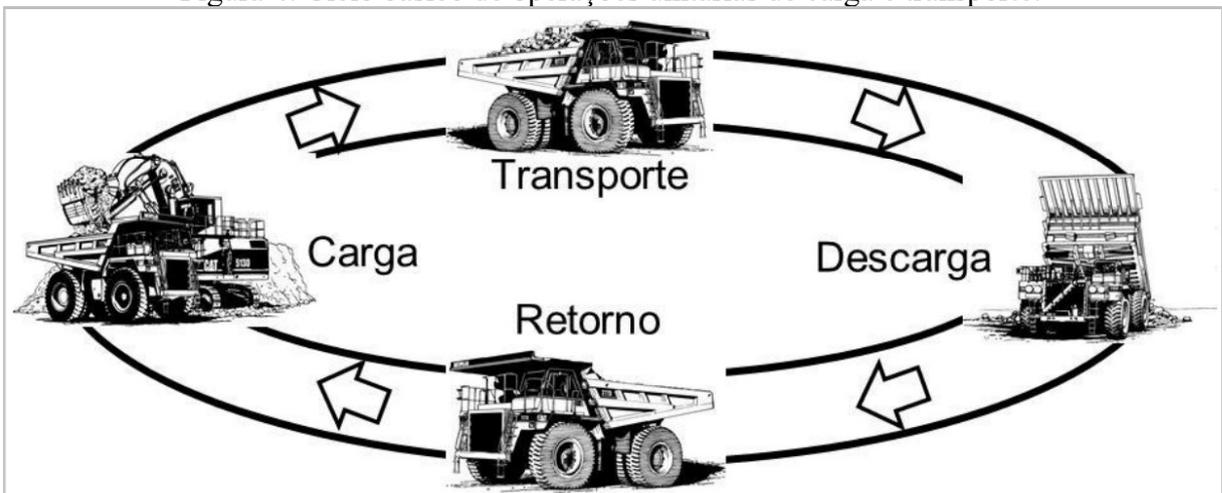
Após o descarregamento, os equipamentos retornam para próxima frente de lavra disponível.

4. Etapa de Alimentação do Britador

Nessa etapa os caminhões que realizam o transporte fazem a alimentação do britador. Tal processo de mina consiste em granular o material até que o mesmo atinja o tamanho ideal para o processo de peneiramento e posteriormente beneficiamento.

Sendo assim, conforme a Figura 4, pode-se observar que as operações de carregamento e transporte são realizadas de forma contínua.

Figura 4: Ciclo básico de operações unitárias de carga e transporte.



Fonte: Adaptado de Richards e West (2003).

Apesar do ciclo contínuo definido, os locais de carregamento e descarregamento podem variar de acordo com a operação definida após o clico um ciclo completo de operação. Sendo assim os caminhões podem percorrer diversas rotas diferentes dentre as várias possíveis e disponíveis nos sistemas de mineração.

Os melhores índices de produção são obtidos quando são tomadas as melhores decisões nas alocações dos caminhões após cada término de ciclo. Para isso pode-se definir critérios que serão levados em consideração no ato da decisão e alocação de cada frota. Os critérios podem ser por produtividade, maximizar produção ou minimizar filas nos pontos de carga e descarga, ou por qualidade, de acordo com o nível de qualidade do material transportado para a usina.

Sendo assim, podemos definir que os melhores resultados são obtidos reduzindo a ociosidade das máquinas. A partir do momento que são feitas as alocações corretas, nos tempos certos, os equipamentos de carregamento irão operar de forma constante, sempre com caminhões disponíveis para tal, e os caminhões irão transportar de forma constante, sendo carregados ou descarregados sempre que chegarem aos pontos definidos.

Contudo, é comum que nos pontos de carregamento ou báscula se formem filas de caminhões, isso acontece, pois, as máquinas possuem capacidades diferentes. Com isso, os mesmos acabam por ter de esperar, gerando tempo de ociosidade, que diminui o índice de produção. O maior problema para a baixa produtividade advém dos tempos de fila e ociosidade.

Para aumentar o nível de produção, o simples acréscimo de máquinas não será suficiente se não houver gerenciamento e controle sobre as mesmas.

O supervisor de frotas foi criado para auxiliar no controle das frotas de carregamento e transporte dentro do contexto da mineração com o objetivo de alavancar os índices de produção a partir da melhor alocação das frotas disponíveis, reduzindo a ociosidade e os tempos de fila.

O Sistema de Gerenciamento de Frotas (FMS) DISPATCH, desenvolvido pela empresa MMS, realiza o gerenciamento das frotas de carregamento e transporte para otimizar o ciclo de transporte e reduzir os tempos de inatividade dos equipamentos.

3.1 Equipamentos Móveis

O sistema de gerenciamento de frota irá atuar diretamente nos equipamentos envolvidos na etapa de logística e transporte das operações de lavra. Para que seja possível conhecer esses equipamentos, bem como suas características e funcionalidade, os mesmos serão apresentados por tipo.

3.1.1 Escavadeira

As escavadeiras são equipamentos que possuem grande capacidade de carga, devido a isso, podem ser alocadas nas frente de lavra seja de minério ou estéril. Como exemplo, na Tabela 1 seguem as especificações da escavadeira hidráulica Komatsu PC8000-6, na Figura 5 uma foto do equipamento e na Figura 6 o mesmo em operação.

Tabela 1 – Especificações da Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6.

Fabricante	Komatsu
Modelo	PC8000-6
Motor	2 x Komatsu SDA16V160
Potência Bruta de Motor	2.010 HP (cada motor)
Peso Operacional	700.000 – 720.000 kg
Capacidade da Caçamba	42 m ³
Tipo	Convencional
Profundidade Máxima de Escavação	8.400 mm

Fonte: Manual Komatsu PC8000-6.

Figura 5 – Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6.



Fonte: Manual Komatsu PC8000-6.

Figura 6 – Escavadeira Hidráulica Komatsu PC8000-6 em Operação.



Fonte: Manual Komatsu PC8000-6.

3.1.2 Pá Carregadeira

As Pás Carregadeiras são equipamentos que possuem grande capacidade de carga, contudo menos se comparado as escavadeiras, devido a isso, geralmente podem ser alocadas nas frente de lavra seja de minério. Como exemplo, na Tabela 2 seguem as especificações da pá carregadeira Komatsu WA1200-6, na Figura 7 uma foto do equipamento e na Figura 8 o mesmo em operação.

Tabela 2 – Especificações da Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6.

Fabricante	Komatsu
Modelo	WA1200-6
Motor	Komatsu SSSA16V160E-2
Potência Bruta de Motor	1.765 HP
Peso Operacional	216.400-220.550 Kg
Capacidade da Caçamba	18,0-35,0 m ³
Altura Máxima do Pino de Articulação da Caçamba	8.850 mm
Força de Desagregação	130.000 Kg _f

Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

Figura 7 – Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6.



Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

Figura 8 – Pá Carregadeira Komatsu WA1200-6 em Operação.



Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

3.1.3 Caminhão Fora de Estrada

Os caminhões fora de estrada são equipamentos utilizados para transporte de materiais, podendo ser esses minério ou estéril, entre os pontos de carregamento e descarregamento. Como exemplo, na Tabela 3 seguem as características do caminhão Komatsu 960E, na Figura 9 uma foto do equipamento e na Figura 10 o mesmo em operação.

Tabela 3 – Especificações do Caminhão Komatsu 960E.

Fabricante	Komatsu
Modelo	WA1200-6
Motor	Komatsu SSDA16V160E-2
Potência Bruta de Motor	1.765 HP
Peso Operacional	216.400-220.550 Kg
Capacidade da Caçamba	18,0-35,0 m ³
Altura Máxima do Pino de Articulação da Caçamba	8.850 mm
Força de Desagregação	130.000 Kgf

Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

Figura 9 – Caminhão Komatsu 960E.



Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

Figura 10 – Caminhão Komatsu 960E em Operação.



Fonte: Manual Komatsu WA1200-6.

3.1.4 Britador

Os britadores são equipamentos que recebem o minério para o processo de quebra ou fragmentação de grandes blocos rocha, sendo assim é a etapa inicial para que o mesmo possa ser reduzido até uma fração que permita ser feita a moagem do minério, depois encaminhado a usina de beneficiamento. Como exemplo, na Tabela 4 seguem as características do britador MKIII 42-65, fabricante Metso. Na Figura 11 é possível visualizar um britador de cava com caminhões de pequeno porte em processo descarregamento.

Tabela 4 – Especificações do Britador MKIII 42-65.

Fabricante	Metso
Modelo	MKIII 42-65
Peso	120.000 kg
Potência	450 kW (600 hp)
Abertura	1066 mm (42")
Capacidade Máxima	5.250 MtpH (5.787 Stph)

Fonte: Manual Metso MKIII 42-65.

Figura 11 – Britagem Dentro da Cava e Caminhões De Pequeno Porte No Minério.



Fonte: Adaptado Girodo (2005).

3.2 Tipos de Transporte

Pode-se classificar as operações de transporte de mina em dois modelos específicos chamados de transporte fixo e transporte otimizado.

3.2.1 Transporte Fixo

A conceito de transporte fixo significa que serão usadas designações fixas de carregamento e transporte, ou seja, um ou mais equipamentos de carregamento serão dedicados a um ou mais equipamentos de transporte contudo seguindo um conjunto fixo.

Segundo Lacerda (2019), esse 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.

Esse era o modelo mais comum aplicado aos transportes de mina. O supervisor de turno das frotas realizava uma análise e se utilizava de critérios para escolha dos transportes.

Alguns desses critérios seriam:

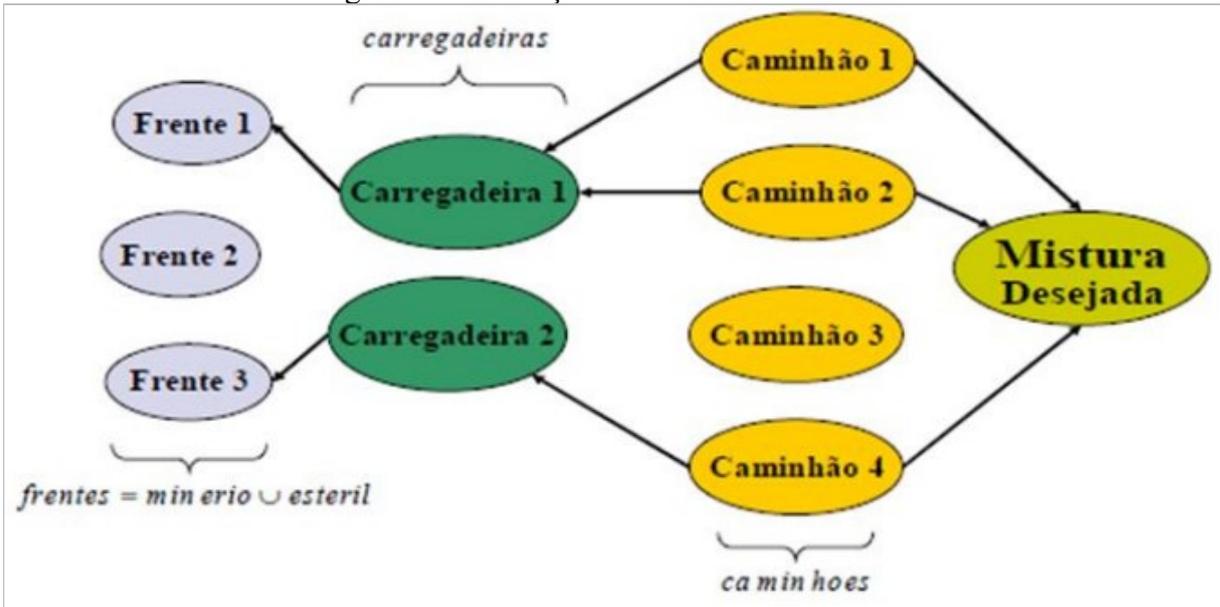
- Experiência do operador;
- Capacidade de transporte do caminhão;
- Velocidade da viagem;
- Capacidade de carregamento dos equipamentos.

Contudo o mesmo não é o mais ideal do ponto de vista de eficiência, pois o ciclo de transporte estaria sujeito a muitas variáveis que afetariam diretamente a produção, tais como:

- Eventos de manutenção dos equipamentos;
- Eventos de detonação na mina;
- Eventos de emergência na mina;
- Alteração nas metas de produção;
- Locomoção dos equipamentos de escavação;
- Alterações geográficas nas rotas;

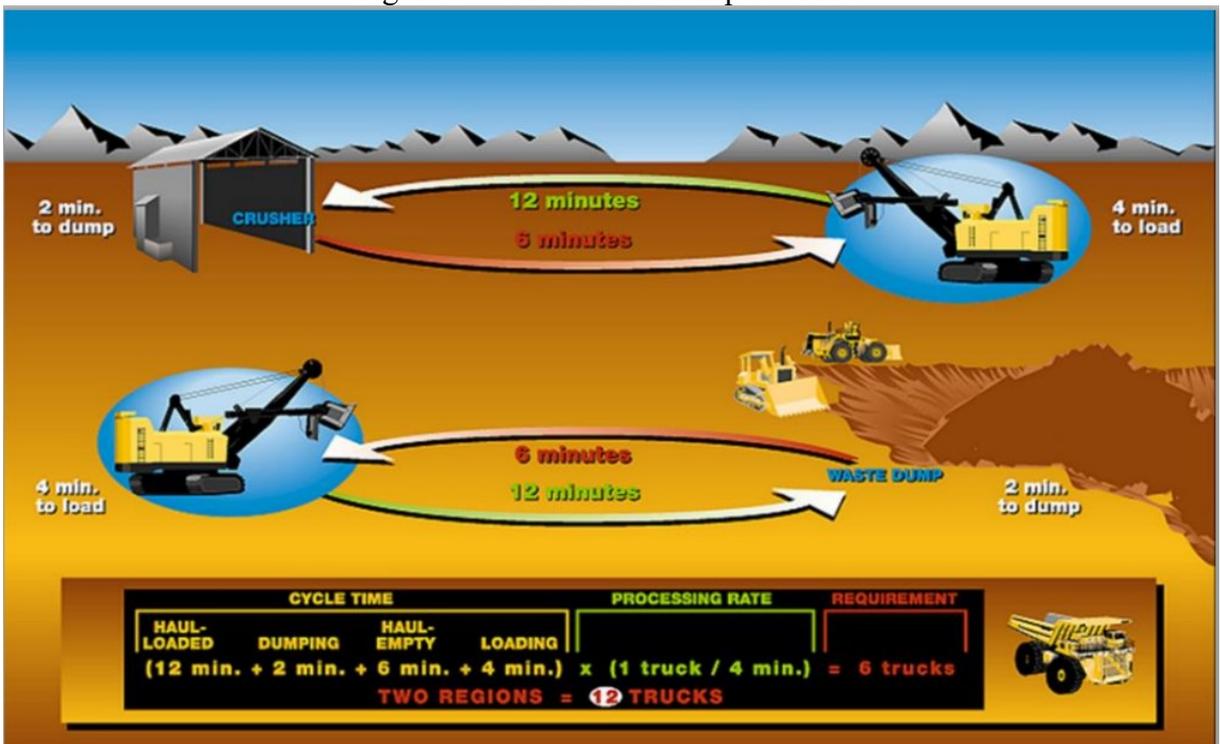
Dessa forma, quaisquer alterações nas condições de mina e ambiente afetaram o modelo de transporte fixo. A Figura 12 ilustra um diagrama de alocação estática de caminhões. A Figura 13 ilustra um modelo de transporte fixo, no qual para cobrir duas regiões utilizaríamos doze caminhões de transporte.

Figura 12 – Alocação Estática de Caminhões.



Fonte: Adaptado Lacerda (2019)

Figura 13 - Modelo de Transporte Fixo.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

3.2.2 Transporte Otimizado

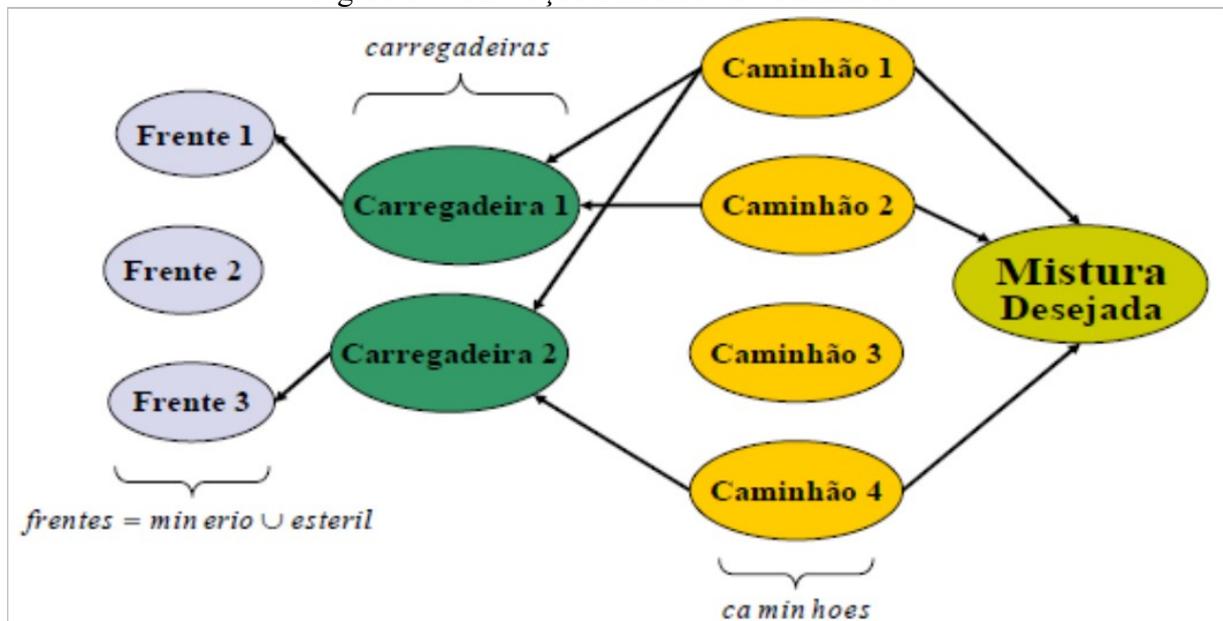
O conceito de transporte otimizado significa que as designações de carregamento e transporte serão realizadas de maneira dinâmica e seguindo a estratégia de acordo com a meta e objetivo da mina naquele momento.

Para realizar esse tipo de transporte, se faz necessário um sistema de despacho eletrônico no qual o mesmo, por meio de algoritmos, irá estabelecer as melhores rotas para carregamento e descarregamento seguindo critérios preestabelecidos como:

- Tempo de rotas;
- Capacidade de carregamento;
- Capacidade de transporte;
- Condições das estradas e rotas;
- Eventos climáticos;
- Tempo de fila para carregamento;
- Tempo de ociosidade;

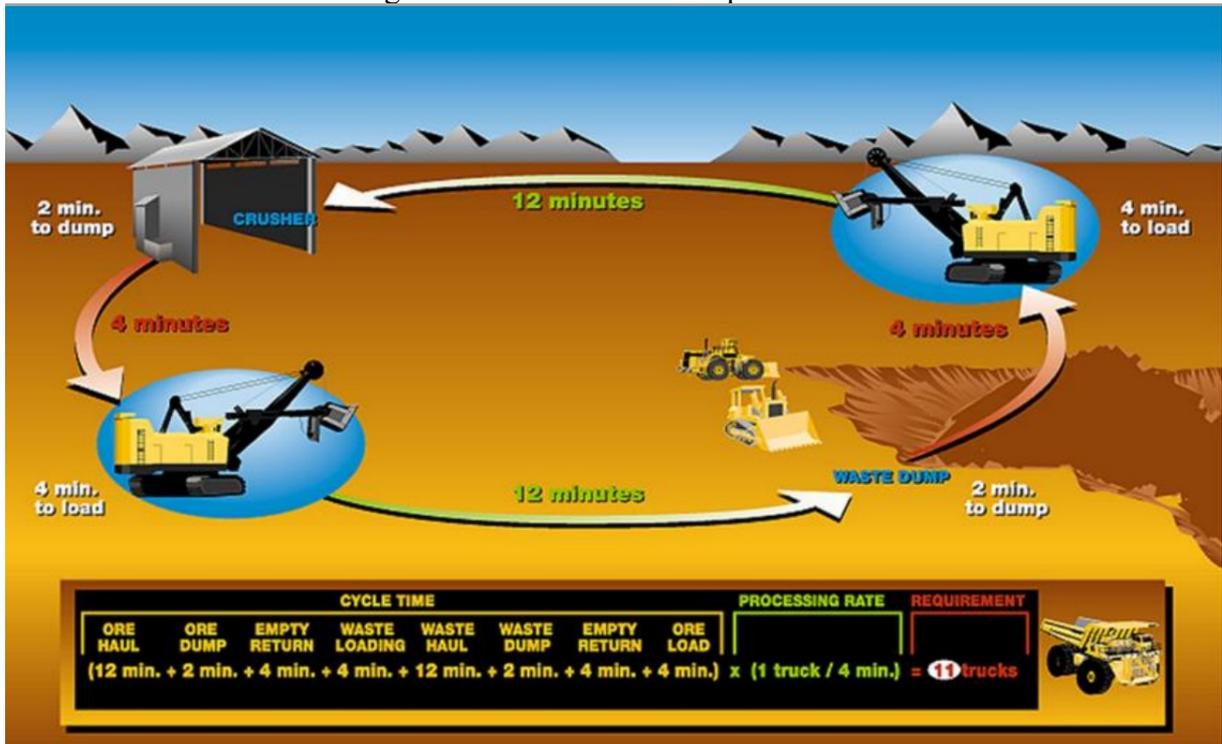
A Figura 14 ilustra um diagrama de alocação dinâmica de caminhões. A Figura 15 ilustra um modelo de transporte otimizado, no qual para cobrir as mesmas duas regiões só seriam necessários 11 caminhões, onde no transporte fixo serão 12 caminhões. Demonstrando assim a eficiência no direcionamento de rotas reduzindo custos ou aumento de produção mantendo o mesmo número de frotas.

Figura 14 – Alocação Dinâmica de Caminhões.



Fonte: Adaptado Lacerda (2019)

Figura 15 - Modelo de Transporte Fixo.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

4 SUPERVISÓRIO DE FROTAS

A primeira instalação de um sistema computadorizado de despacho registrado ocorreu em 1979, na mina de cobre chamada Tyrone, estado do Novo México, Estados Unidos (LACERDA, 2019)

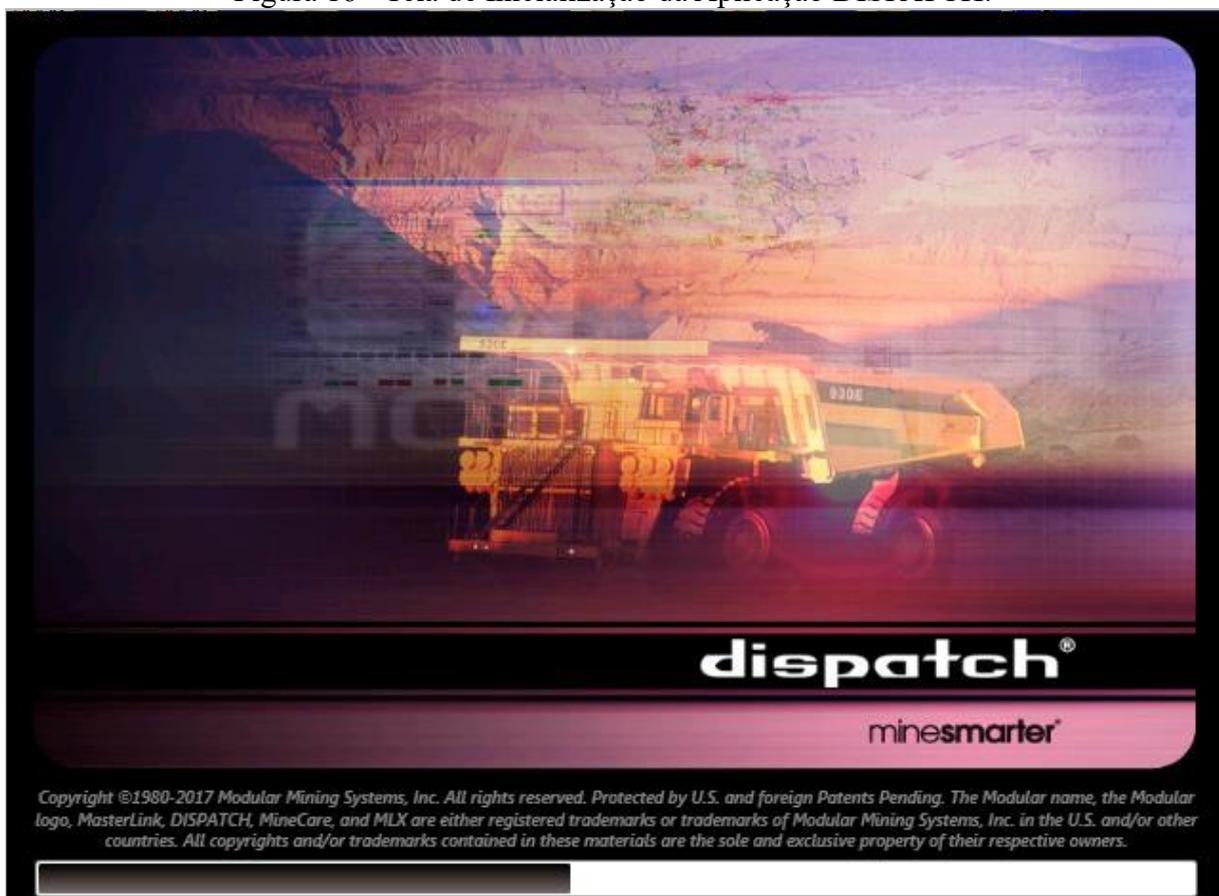
Segundo Costa (2011), o sistema de despacho é uma ferramenta de gerenciamento de equipamentos de mina que permite maximizar a produtividade e minimizar os custos operacionais a partir de tomada de decisões utilizando dados em tempo.

É um software de gerenciamento que combina tecnologia de computadores, comunicação de rádios e GPS (Modular Mining Systems Inc, 2005).

O DISPATCH ou Sistema DISPATCH, se trata de um sistema de gerenciamento de frotas (FMS) capaz de monitorar e orientar as operações de transporte dentro processo de mineração.

Na Figura 16, pode-se visualizar a tela inicial do *software*.

Figura 16 - Tela de Inicialização da Aplicação DISPATCH.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

4.1 Sistema

O sistema *DISPATCH*, para que possa ser utilizado em sua plenitude, usa os seguintes componentes de *hardware*, *software* e de rede:

- Servidores e estações de trabalho, localizadas no escritório central e na sala do despacho;
- Computadores de campo montados em equipamentos móveis;
- Sensores de equipamentos;
- Hardware de rede de dados de rádio sem fio a nível industrial;
- Satélite de GPS satélites e estação base (ou *ground station*).

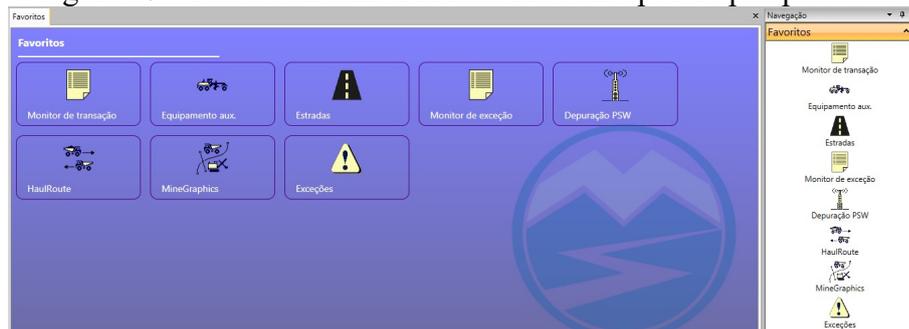
Na sua operação normal, o sistema DISPATCH recebe mensagens transmitidas pelo equipamento na rede sem fio. O Sistema analisa essas mensagens para armazenar e processar dados relativos à operação de transporte incluindo:

- Tempo de chegada e partida.
- Velocidade e posição do equipamento.
- Tempo de manobra e fila no carregamento e basculamento.
- Tempo de carregamento e basculamento do material.
- Número de cargas (escavadeiras e caminhões)
- Estado de produção dos equipamentos (operando, parada com previsão, parada sem previsão e manutenção).

Com os dados recebidos do equipamento de campo, o sistema prevê quando serão necessárias designações de caminhões, quais serão as designações e as durações destas designações.

O sistema possui uma área chamada perspectivas, exibida na Figura 17, na qual o operador consegue visualizar todo estado operacional da mina em tempo real.

Figura 17 - Tela do sistema DISPATCH com tipos de perspectivas.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

Na Tabela 5 está associado o tipo de perspectiva com o tipo de visualização que o sistema permite.

Tabela 5 - Tipos de Tela de Perspectivas Com o Tipo de Exibição

Tipo de Perspectiva	Exibição
Haul Route ou Rota de Transporte	Traça circuitos entre escavadeira e locais de básculo, também mapeia os locais de filas.
MineGraphics ou Vista de Mina	Vista superior (ou de topo) da mina, incluindo equipamentos, locais e estradas.
Equipamento Aux	Locais de equipamentos auxiliares.
Estradas	Locais e detalhes de todos os segmentos de estradas no mapa da mina.
Monitor de Transação	Lista os eventos esperados ocorridos no DISPATCH.
Monitor de Exceção	Lista os eventos inesperados ocorridos no DISPATCH.

Fonte: Tabela criada pelo autor.

O sistema possui um painel Compacto ou Dashboard, Figura 18, que exibe uma visualização com o resumo da produtividade do turno. Mantenha o cursor do mouse sobre o painel (*dashboard*) para ver esses detalhes de produção em uma etiqueta (*tooltip*). Detalhes incluem o total por hora por tipo de material, carga, e tonelagem, e a contagem de equipamentos por estado.

Figura 18 – Painel Compacto de Produtividade.

				Equipe: D Minério: 0 Resíduos: 0 Total: 0		
30-JAN-17	Equipe: D			15:44:01		
	Cargas			Toneladas Toneladas		
	Minério	Resíduos	Total	Minério	Resíduos	Total
Total	0	0	0	0	0	0
Esta hora	0	0	0	0	0	0
Última Hora	0	0	0	0	0	0
Operando:6 Inativo:2 Atraso:0 Ocioso:15 Troca de turno:0						

Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

O sistema DISPATCH também possui módulos adicionais voltados para outras finalidades, mas todos orientados a otimizar o gerenciamento de equipamentos, pessoas e a segurança.

4.2 Modelo de Mina

Para que o sistema DISPATCH possa executar os algoritmos de otimização e com isso a melhor roteirização dos equipamentos das operações de lavra, primeiramente deve-se

criar o modelo virtual que representa todo o local de mineração, esse chamado de modelo de mina.

No modelo de mina são representados de forma computadorizada os seguintes pontos:

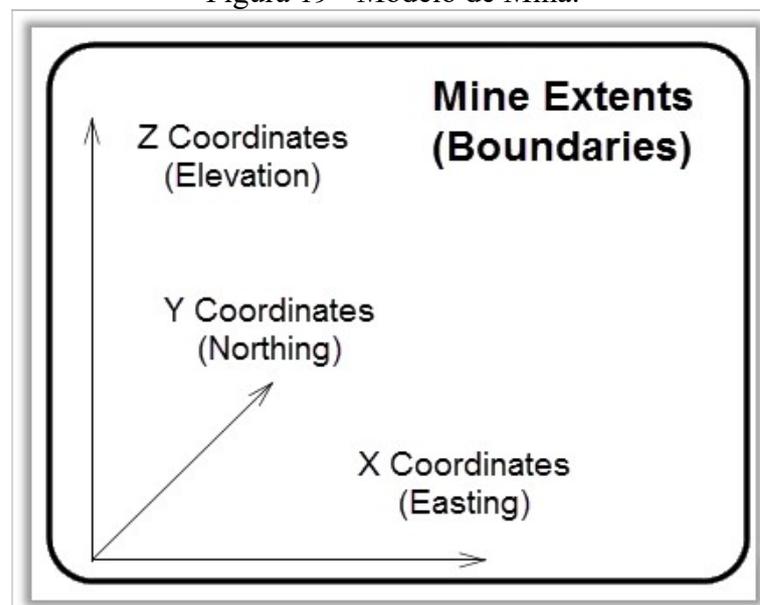
- Mina
- Cavas ou Pits
- Locais
- Pontos de Chamada
- Beacons
- Estradas e Rotas

4.2.1 Mina

A mina é configurada com as fronteiras geográficas do local na qual irão ocorrer os processos de mineração. Essa configuração é realizada no início do processo no sistema e o mesmo não opera ou entende além desses limites.

Para posicionamento se faz necessário a utilização do eixo z devido a profundidade ou elevação dentro dos sistemas de mineração, conforme pode ser visto na figura 19. A Figura 20 exibe uma foto da mina do Projeto Ferro Carajás, em Parauapebas, Pará.

Figura 19 - Modelo de Mina.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

Figura 20 – Imagem de Mina do Projeto Ferro Carajás.

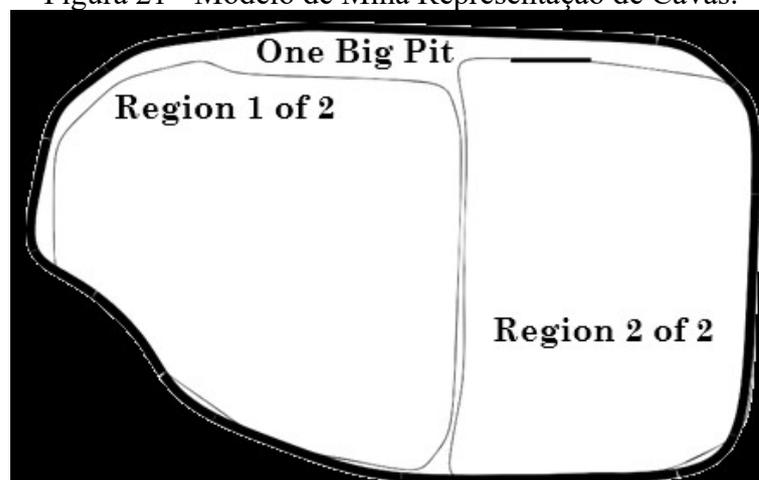


Fonte: Foto retirada pelo autor.

4.2.2 Cava (Pits)

As escavadeiras são equipamentos que possuem grande capacidade de carga, devido a isso, podem ser alocadas nas frente de lavra seja de minério ou estéril. Como As cavas ou pits são as áreas de escavação do sistema de mineração. Para que se se tenha uma área de mina, a mesma deve conter pelo menos uma cava. Dentro de uma área mina, pode-se adicionar ou remover cavas de acordo com a evolução das operações. A Figura 21 exhibe a forma de uma cava no modelo de mina.

Figura 21 - Modelo de Mina Representação de Cavas.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

4.2.3 Locais

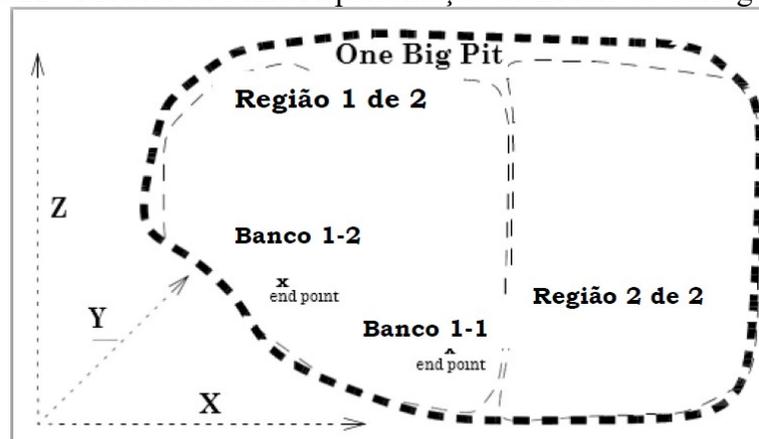
Os locais são pontos predeterminados e partir deles serão criadas as rotas para a otimização de transporte.

Os locais são definidos da seguinte forma:

- Locais de carregamento

O banco, que também pode ser chamado de local de desmonte ou local de detonação é o tipo mais comum de local de carregamento. Nas operações, as escavadeiras também são consideradas como locais de carregamento. A Figura 22 exibe a forma de um local de carregamento no modelo de mina.

Figura 22 - Modelo de Mina Representação de Locais de Carregamento.

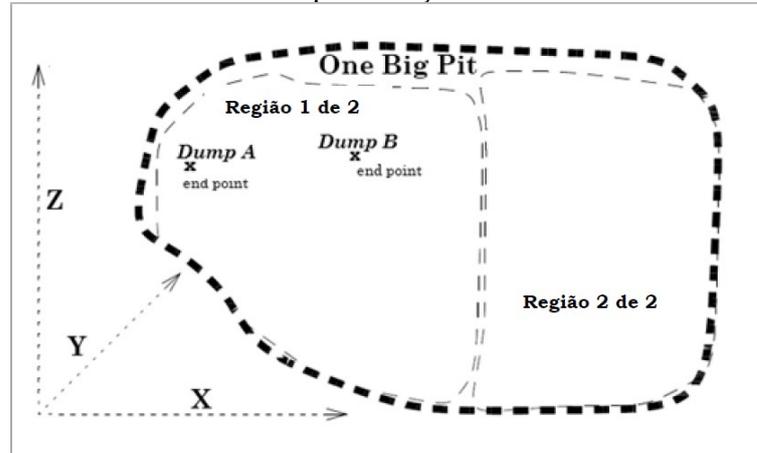


Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

- Locais de básculo

São os locais de descarregamento, esses podem ser de minério, estéril ou base de lixiviação. Da mesma forma que as escavadeiras foram consideradas como locais de carregamento, os britadores, que recebem o minério para o processo de fragmentação dos blocos até que sejam reduzidos a uma fração que permita ser feita a moagem do minério, serão considerados locais de básculo, tendo em vista que estão no final das rotas para recebimento de material. A Figura 23 exibe a forma de um local de descarregamento no modelo de mina.

Figura 23 - Modelo de Mina Representação de Locais de Descarregamento.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

- Pilhas de Estoque

As pilhas de estoque são locais no qual há um armazenamento transitório de materiais. Dessa forma, as pilhas podem ser tanto local de carga, a partir do momento que os caminhões são orientados a descarregar o material, como local de descarga, a partir do momento que as carregadeiras transferem esse material para outro equipamento, o que vai determinar será a operação que está sendo executada naquele momento.

- Outros locais

Para quaisquer outros pontos de apoio que também fazem parte do processo de mineração, no entanto não são pontos de carregamento ou descarregamento, são chamados de outros locais. Os outros locais precisam ser identificados no modelo mina para compor o mapa por completo, para identificação dos outros pontos de apoio e para orientação das rotas quando for necessário.

Podemos considerar como outros locais as oficinas de equipamentos, as áreas administrativas ou pontos de chamada.

4.2.4 Pontos de Chamada

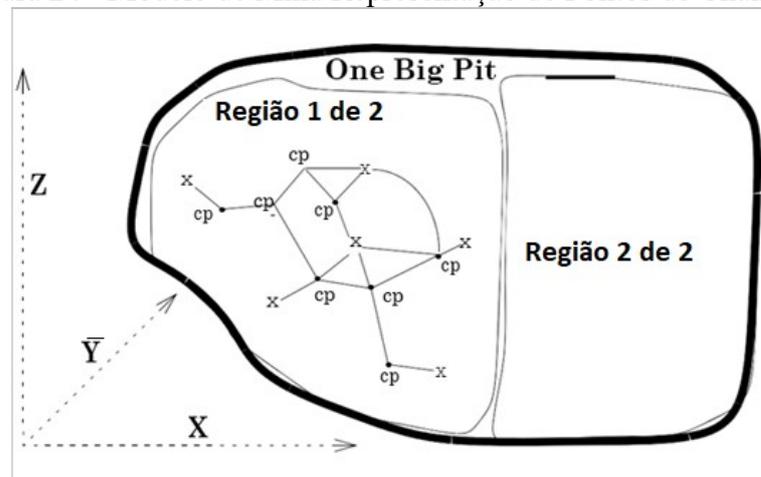
Os pontos de chamada são pontos virtuais utilizados no modelo de mina para construção de estradas no modelo virtual. Para o sistema DISPATCH as estradas são definidas como segmentos de reta ou segmentos de estrada interligando pontos de chama ou locais. Dessa forma, os pontos de chamada não serão o início e nem o final de rotas, mas sim pontos

de transição para chegar de um local ao outro. A Figura 24 exibe a forma de um local de ponto de chamada no modelo de mina.

Os pontos de chamadas podem ser definidos em:

- Interseções de estradas;
- Segmentos de estrada com alteração significativa na elevação do terreno;
- Antes de locais de carregamento e descarregamentos;
- Entre pontos de chamada ou locais separados por grande distância.

Figura 24 - Modelo de Mina Representação de Pontos de Chamada.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

4.2.5 Beacons

Para que o sistema DISPATCH possa controlar todas as chegadas e saídas de equipamentos nos locais, o mesmo utiliza a tecnologia de beacons.

Os beacons são dispositivos de geolocalização para locais fechados que utilizam a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE), que emite um sinal intermitente de ondas de rádio e funciona como um sistema de proximidade e com isso ter alta precisão.

A Figura 25 exibe um exemplo de posicionamento de beacons em um desenho de mina.

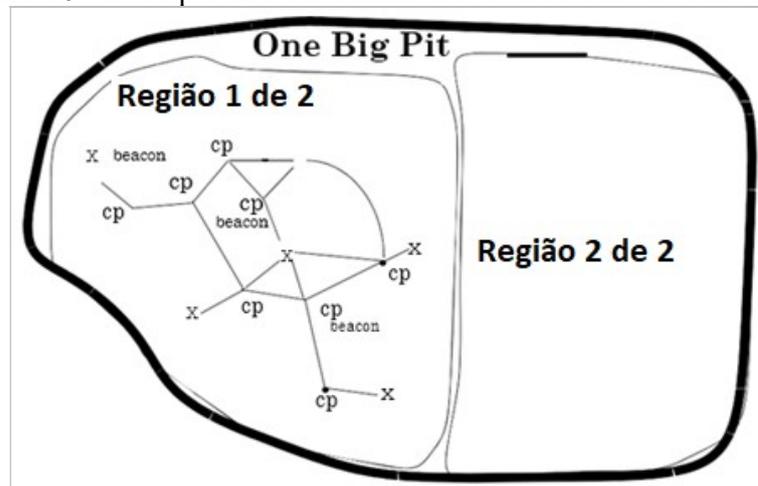
Na Figura 26 é possível entender a diferença de posicionamento entre os pontos de chamada e os beacons.

Figura 25 - Exemplo de Posicionamento de Beacons em Uma Mina.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

Figura 26 - Exemplo de Posicionamento de Beacons em Uma Mina.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

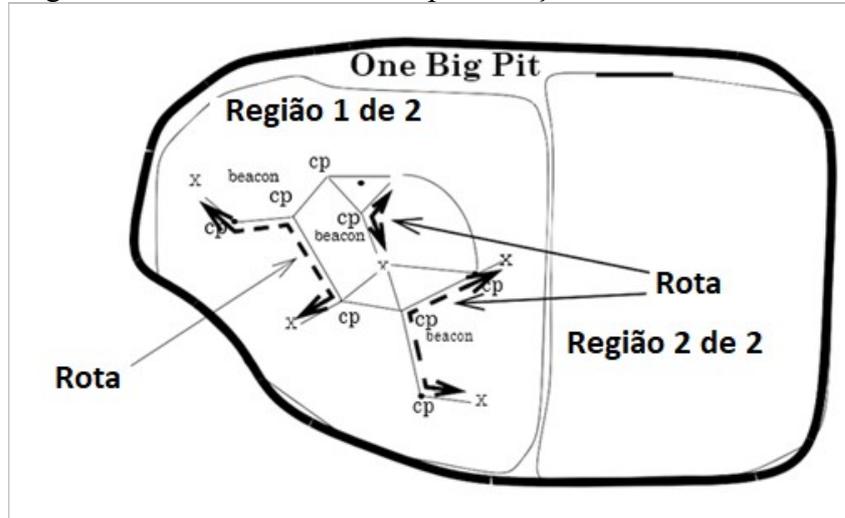
4.2.6 Estradas e Rotas

As estradas ou segmentos de estradas são segmentos de reta que interligam pontos de chamadas ou locais.

A rota é um conjunto de estradas que conectam dois locais. Pode haver mais uma rota entre dois locais distintos, contudo o sistema indicará a melhor rota para execução.

A Figura 27 exibe a forma de estradas e rotas no modelo de mina.

Figura 27 - Modelo de Mina Representação de Estradas e Rotas.



Fonte: Manual DISPATCH - Guia do Usuário (2006).

4.3 Dados Processados

Ao se tratar diretamente do módulo de despacho eletrônico de caminhões, o sistema pode estratificar os principais indicadores relacionados a transporte, no qual são incluídos nos processos de definição da melhor alocação. São eles:

- Rede de acessos da mina;
- Tempos de viagem; Carregamento, transporte, descarregamento;
- Tempos médios por tipo de frota, e tipo de operação;
- Localização de frotas em tempo real;
- Prioridade de equipamentos;
- Tempos de intervalos programados;
- Tempo de ociosidade;
- Tempo de inatividade;
- Tempo de manutenção;
- Velocidade de carregamento e transporte;
- Monitoramento de condição das frotas;
- Rastreabilidade e localização das frotas;
- Relatório de produção;
- Entre outros.

4.4 Hardware de Comunicação

De acordo com Lacerda (2019),

O sistema DISPATCH 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.

Conforme Costa (2011), o sistema DISPATCH é integrado, basicamente, por software simulador, e a comunicação se dá através de antenas GPS instaladas em todos os equipamentos em operação nas minas e rádio de comunicação.

Segundo Duarte et al. (s. d.), o sistema de despacho eletrônico funciona a partir da troca de informações entre os equipamentos de mineração e um computador central através de sinais de rádios codificados.

A Figura 28 representa de forma simplificada o fluxo de telecomunicação de envio de informações desde o equipamento até a central de monitoramento.

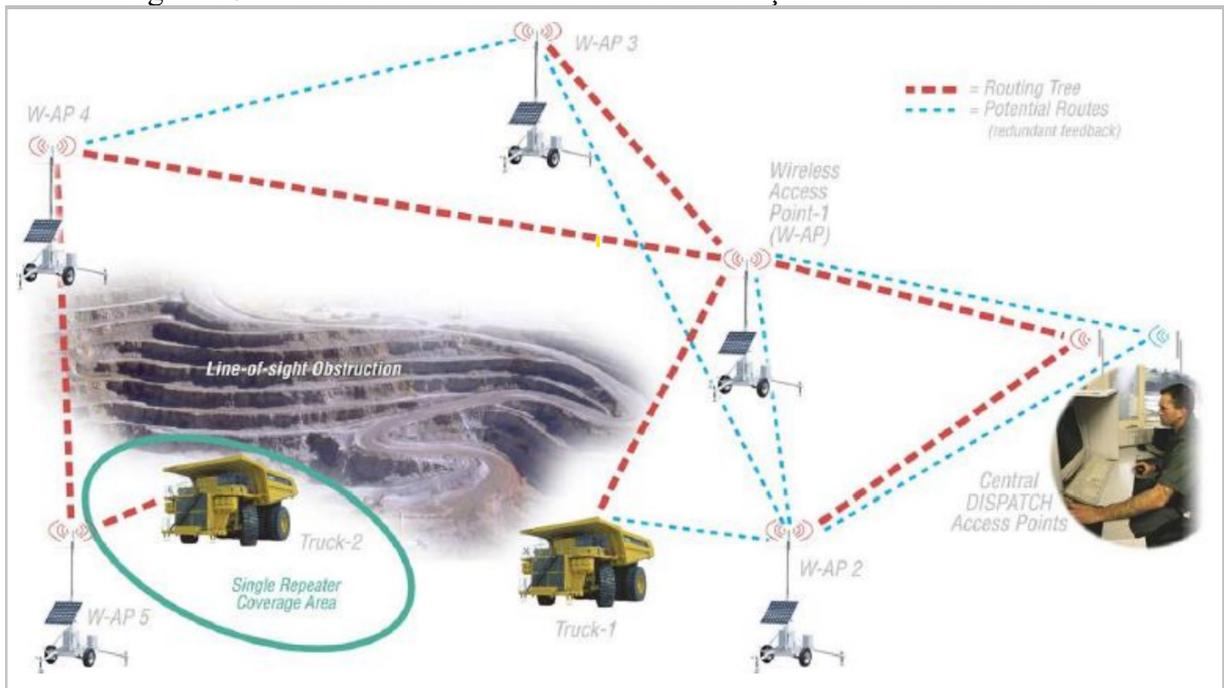
O fluxo inicia partindo do caminhão que necessita enviar as informações de monitoramento para central por meio da antena instalada na frota. Essas informações são repassadas para antena repetidora mais próxima, que comunica com as outras antenas repetidoras até que a informação seja recebida pela antena da central que converte as informações para o operador do sistema avaliar para tomada de decisão.

Estes hardwares são conectados entre si, formando uma rede lógica que permite que a informação seja trocada entre eles.

O protocolo usado para estabelecer a comunicação entre os elementos da rede depende do tipo de equipamento usado. Por exemplo, os access points usam o protocolo IEEE 802.11, enquanto as antenas repetidoras móveis usam o protocolo de rádio frequência. Além disso, é necessário que seja definido um protocolo de roteamento para que a informação possa percorrer a rede de forma adequada.

Além destes protocolos, também são necessários protocolos de segurança para proteger a rede contra acessos não autorizados. Estes protocolos podem incluir criptografia, autenticação de usuários e políticas de acesso.

Figura 28 – Visão Geral da Rede de Telecomunicação Via Wireless na Mina.



Fonte: Lacerda (2019)

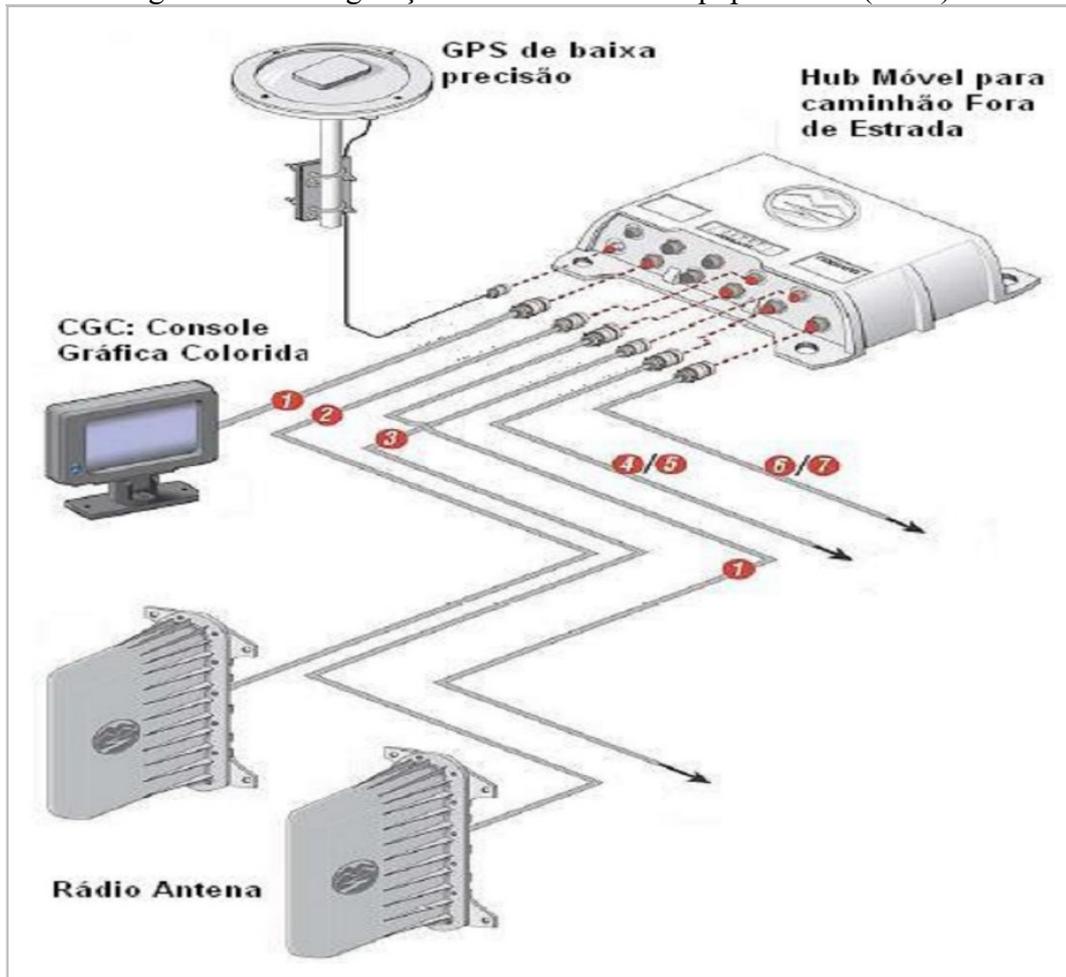
4.4.1 Hardware de Frota

Em todos os equipamentos móveis de mina se faz necessário a instalação de hardware específico para controle e comunicação com sistema central, até mesmo para quando os mesmos estiverem em áreas remotas.

A Figura 29 representa como são realizadas das conexões e também os acessórios que devem ser instalados nos equipamentos, que são:

- Terminal de console
- GPS
- Antena (Exibida na Figura 30)
- Hub móvel

Figura 29 - Configuração do Controle nos Equipamentos (Frota).



Fonte: Manual de Otimização e Operação do Sistema (Heidenreich, 2008, p. 03)

Figura 30 - Configuração do Controle nos Equipamentos (Frota).



Fonte: Lacerda (2019)

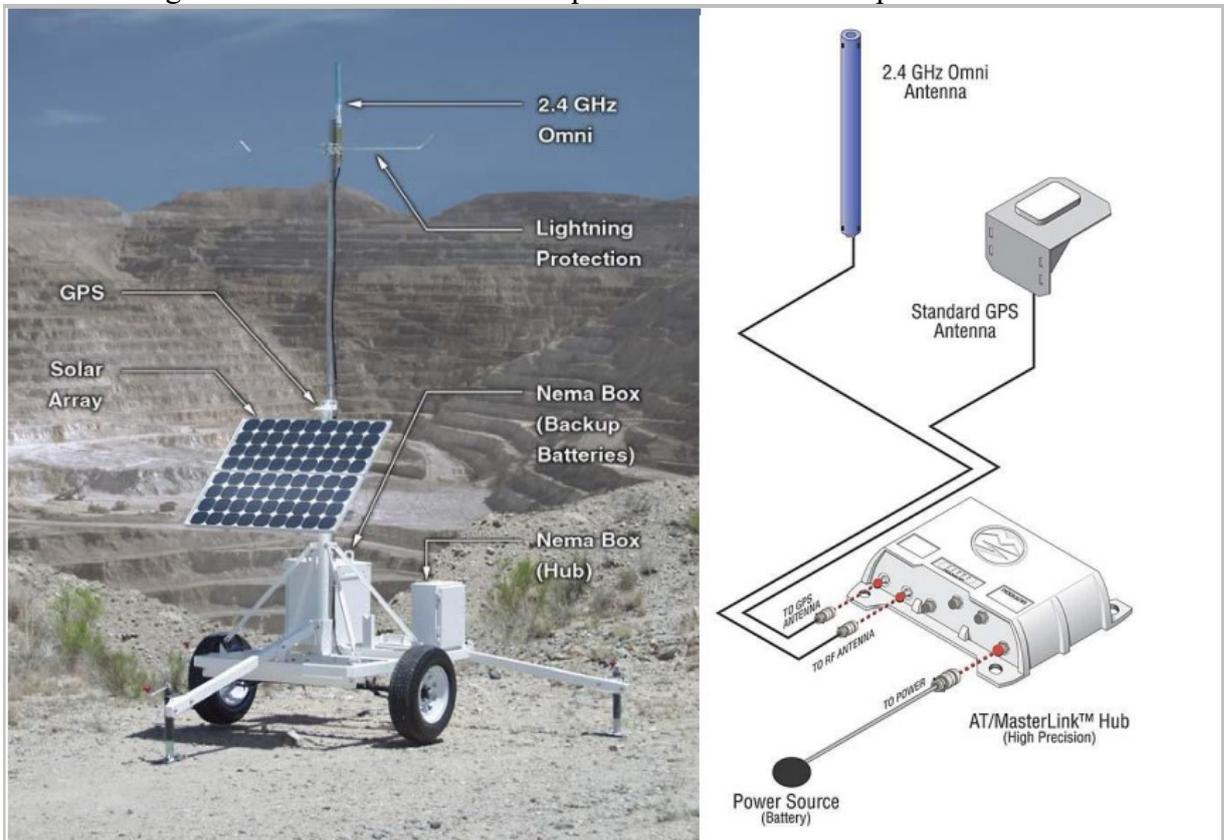
4.4.2 Hardware de Campo

Para que haja a comunicação entre os equipamentos móveis que estão em campo, como caminhões fora de estrada, com a central de monitoramento, se faz necessário que haja antenas comunicadoras ao longo das áreas de mina onde as mesmas são posicionadas de forma estratégica para cobrir a maior área possível. Essas antenas são portáteis e possuem rodas, conforme Figura 31, para que possam ser transportadas e/ou reposicionadas de acordo com a necessidade, alteração geológica da área e/ou evolução da área de mineração.

As antenas móveis contam com repetidoras instaladas para que possam ampliar o sinal de rádio de forma a serem captados pela central de monitoramento. Essas antenas contam com os seguintes acessórios:

- *Hub* rádio
- GPS
- Antena *Wireless Omni 360*
- Protetor contra descarga atmosférica

Figura 31 - Modelo de Antena Repetidora Móvel de Campo Master Link.



Fonte: Modular Mining Systems, 2004

4.4.3 Hardware Central

Para captação e tratamento de todas as informações recebidas pelos equipamentos em campo, além da interação entre o operador do sistema e o operador do equipamento, existe a central de monitoramento ou central de tráfego de mina. A central de mina fica localizada dentro das áreas administrativas da mina e além de receber informações também pode disparar informações ou orientações para os operadores dos equipamentos que as recebem através do console gráfico colorido.

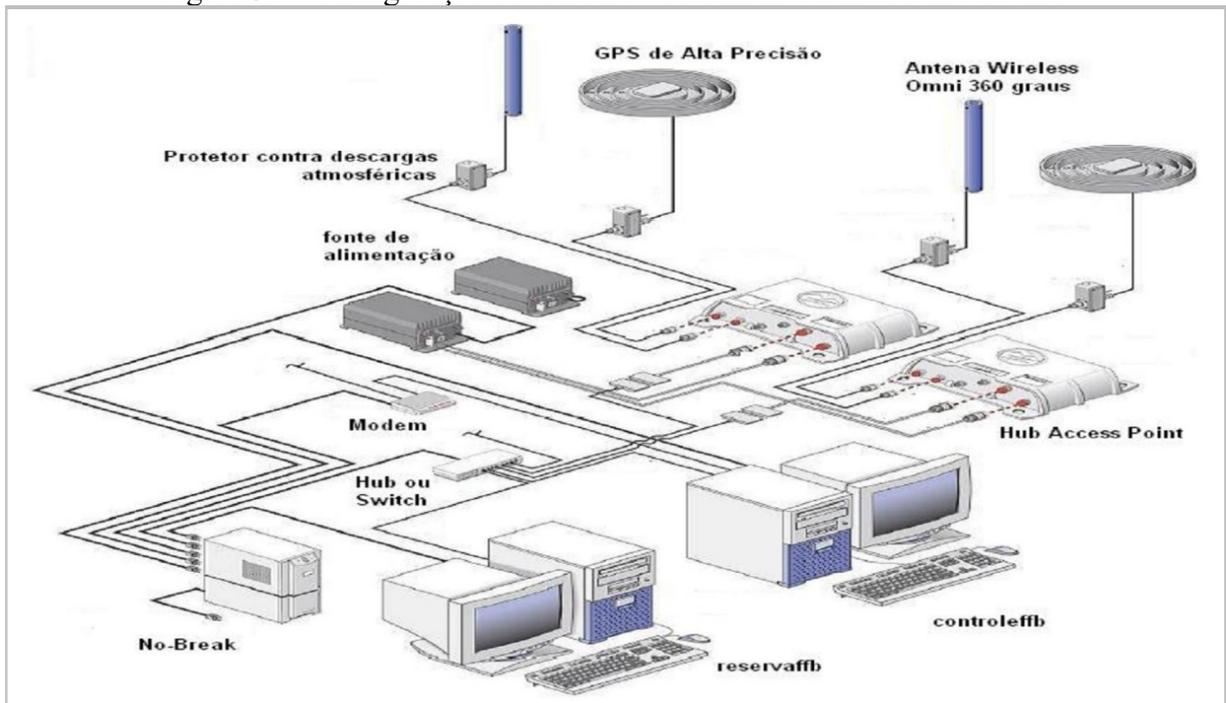
A configuração é composta pelos seguintes acessórios:

- GPS
- *Nobreak*
- Modem
- *Switch*
- Antena Wireless Omni 360
- *Hub Access Point*
- Computadores

A Figura 32 representa como os equipamentos da central devem ser configurados para utilização do software.

A configuração inicia através de um nobreak que energiza os componentes de controle que são o *hub*, o *switch* e o modem. A configuração possui antenas para transmissão e captação de sinais dos equipamentos móveis, *access point* que converte o sinal emitido ou recebido para wireless e *switchs* e modem para interligação das unidades de computador. Os computadores por sua vez armazenam os servidores, bancos de dados e possuem o software, os mesmos são usados para se conectar pela rede a todos os outros computadores que tenham acesso ao sistema.

Figura 32 - Configuração do Controle Central do Sistema DISPATCH.



Fonte: Manual de Otimização e Operação do Sistema (Heidenreich, 2008, p. 03)

4.5 Tecnologias Embarcadas

O sistema DISPATCH por se tratar de um software bem robusto, se utiliza de várias tecnologias embarcadas para pleno funcionamento e além disso possui abertura para integração com outras tecnologias que permitem um monitoramento completo da frota, ou seja, além do acompanhamento de transporte é possível fazer toda a leitura do equipamento por meio das interfaces desenvolvidas pelos fabricantes que comunicam com o software supervisor.

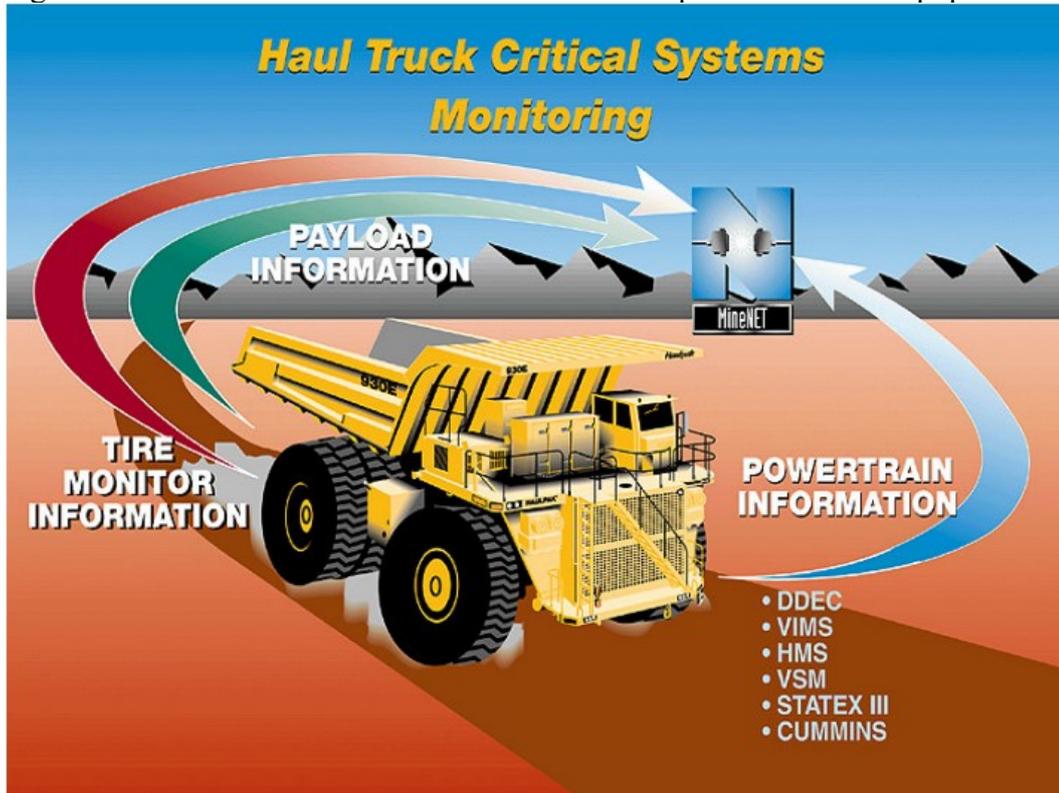
De acordo com Duarte et al. (s. d.)

A MMS tem trabalhado para padronizar as interfaces com os protocolos padrões de comunicação e existe uma disposição dos fabricantes da indústria de mineração em integrar a eletrônica embarcada. Uma solução integrada irá permitir ao usuário ver e analisar os dados de múltiplos fabricantes usando um único pacote de software. Isto significa redução de custos e tempo de implementação com ferramenta que promove uma maior capacidade da manutenção (maior interatividade).

A capacidade de um processo é um conjunto de métricas (KPIs) que verifica a capacidade ou habilidade do processo em atender aquilo que o cliente deseja, no caso de estudo, será um completo acompanhamento dos equipamentos e de suas performances em operação.

A Figura 33 ilustra um equipamento, como exemplo um caminhão fora de estrada, e as diversas interfaces que podem coexistir, mesmo que de fabricantes diferentes, mas que, no entanto, podem ao mesmo tempo enviar informações sobre o mesmo por meio de um único canal de comunicação ou software para a central de monitoramento.

Figura 33 - Diversas Interfaces de Monitoramento Aplicadas em um Equipamento.

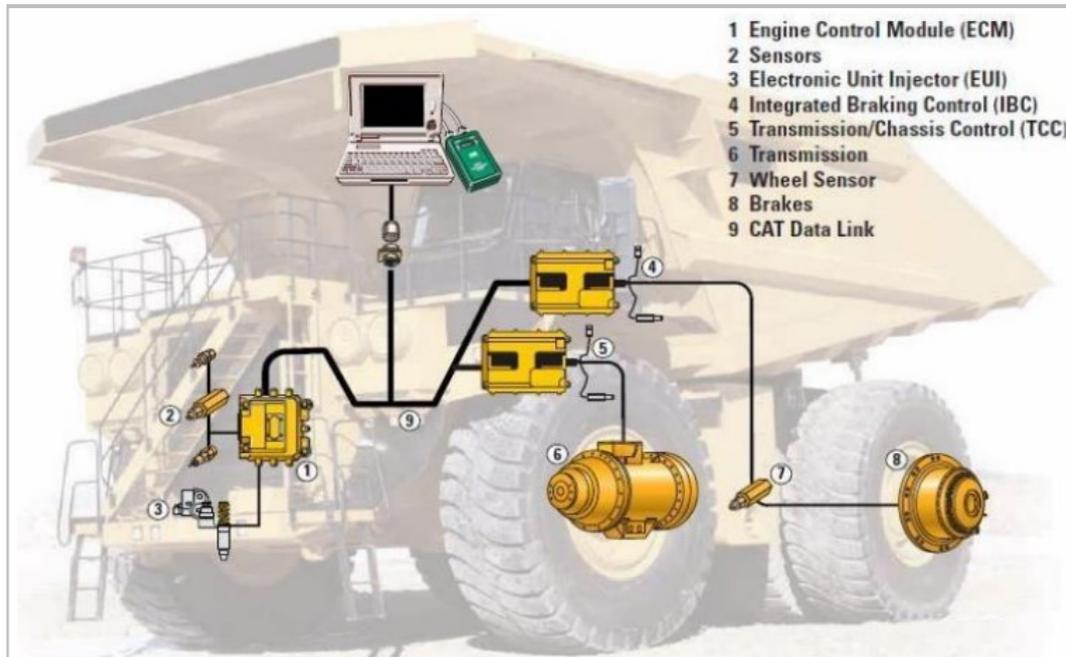


Fonte: Duarte et al. (s. d.)

As diversas interfaces de monitoramento dos equipamentos podem se utilizar da estrutura de comunicação do despacho eletrônico para envio de informações a central de supervisão de frota.

Na Figura 34 podemos entender, a partir de um exemplo de instalação em um caminhão fora de estrada, como os sensores instalados se comunicam com a central no equipamento.

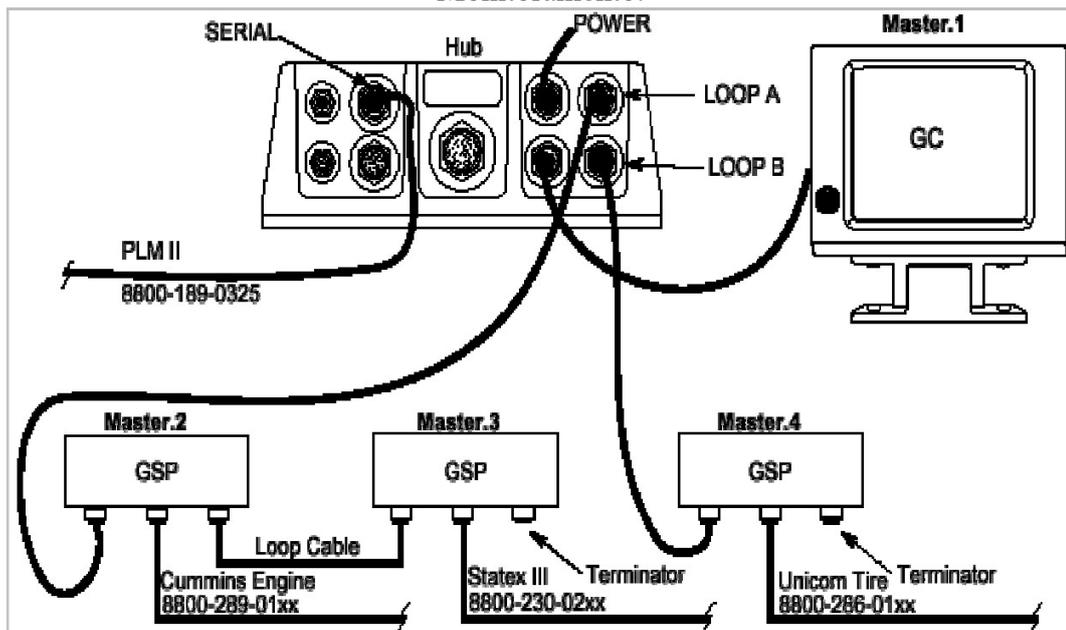
Figura 34 - Esquema Simplificado de Sistema de Telemetria Aplicado em Caminhão Fora de Estada.



Fonte: Santos et al. (2020).

Na Figura 35 podemos visualizar um exemplo modelo de como essas interfaces se conectam ao hardware do DISPATCH instalados nos equipamentos móveis via Generic Serial Processor – GSP ou Vital Signs Monitor System – VSMS.

Figura 35 - Esquema de Ligação das Unidades do Despacho com Diversas Interfaces de Monitoramento.



Fonte: Duarte et al. (s. d.)

A tabela 6 retrata outros tipos de interface de monitoramento bem como o tipo de objeto a ser monitorado.

Tabela 6 - Interfaces por Tipo de Monitoramento.

Interface	Monitoramento
DDEC II DDEC III DDEC IV	Motores diesel de caminhões fora de estrada dos fabricantes Dresser, Komatsu e Terex.
STATEX III	Controle eletrônico de rodas motorizadas dos caminhões fora de estrada dos fabricantes Dresser, Komatsu e Terex.
VIMS	Motor diesel e sistemas eletrônicos de controle de controle dos caminhões fora de estrada do fabricante Caterpillar, modelo 793C.
CENSE	Motores diesel do fabricante Cummins, modelo QSK60.
ECS	Sistema de controle de monitoramento eletrônico das escavadeiras PC8000 da fabricante Komatsu.
Pay Load System	Sistema de pesagem das cargas transportadas pelos caminhões fora de estrada.
VSMS	Sensores discretos.
Tire Utility	Vida útil dos pneus de caminhões fora de estrada.
DMS	Parâmetros do processo de perfuração.

Fonte: Adaptado Duarte et al. (s. d.).

Além das interfaces mais robustas descritas na tabela X, pode-se fazer a leitura de parâmetros por meio de sensores instalados nos equipamentos, esses sensores monitoram entre outros parâmetros:

- Temperatura;
- Horímetro;
- Inclínometro;
- Proxímetro;
- Rotação;
- Pressão;
- Níveis diversos;
- Ângulo de giro;
- Nivelamento;
- Velocidade;
- Consumo de equipamentos;
- Nível de óleo hidráulico;
- Nível de água;
- Tensão de motores elétricos;
- Corrente de motores elétricos;
- Falha a terra;
- Falha no gerador;
- Alarmos do gerador;
- Armadura dos motores de tração;
- Sistema de arrefecimento;
- São mais de 40 alarmes possíveis de monitoramento.

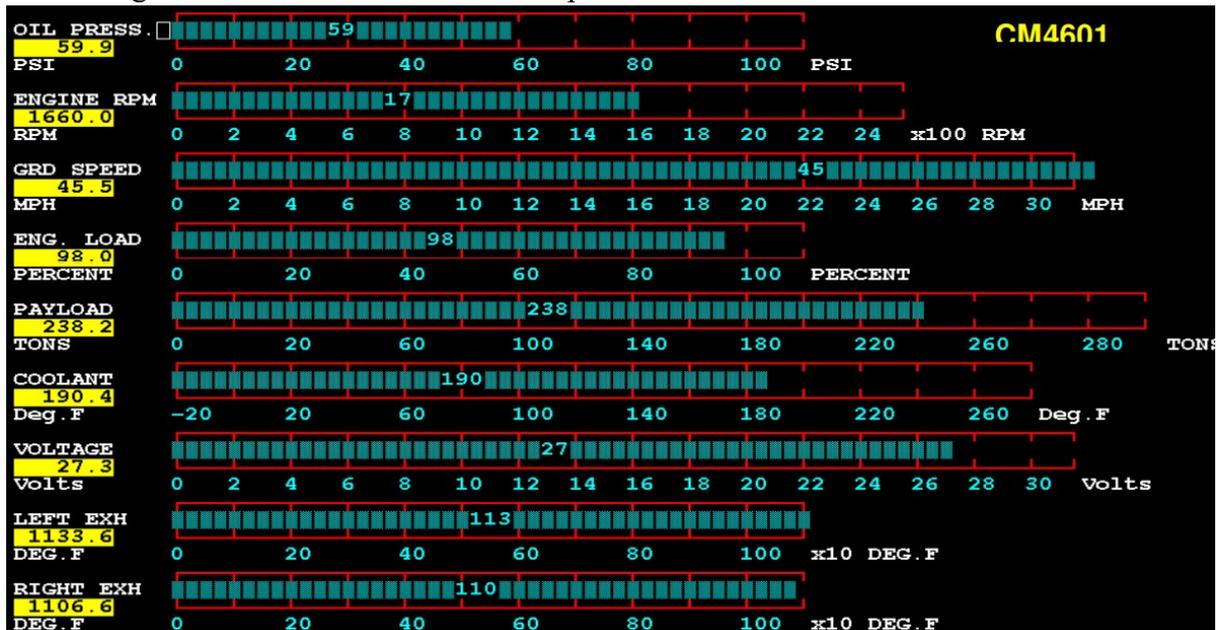
4.5.1 Interface DDEC

Segundo Duarte et al. (s.d.), o *Detroit Diesel Eletronic Control* – DDEC, se trata do sistema de monitoramento interno dos motores dos caminhões diesel-elétricos, que utiliza interface desenvolvida pela MMS, através da qual os sinais vitais e os alarmes do motor são enviados ao computador central.

Tais informações são enviadas para a oficina de manutenção para monitoramento dos equipamentos e gestão de manutenção de ativos. A Figura 36 representa a tela de parâmetros monitorados pelo DDEC em tempo real, como pressão do óleo, temperatura do motor, rotação do motor, carga do motor entre outros.

A Figura 37 um relatório de dados de monitoramento que pode ser obtido através do sistema, esse relatório em específico são de motores dos caminhões do fabricante Terex.

Figura 36 - Monitoramento em Tempo Real da Unidade de Controle do Motor.



Fonte: Duarte et al. (s. d.)

Figura 37 - Relatório de Monitoramento de Motores da Frota Terex.

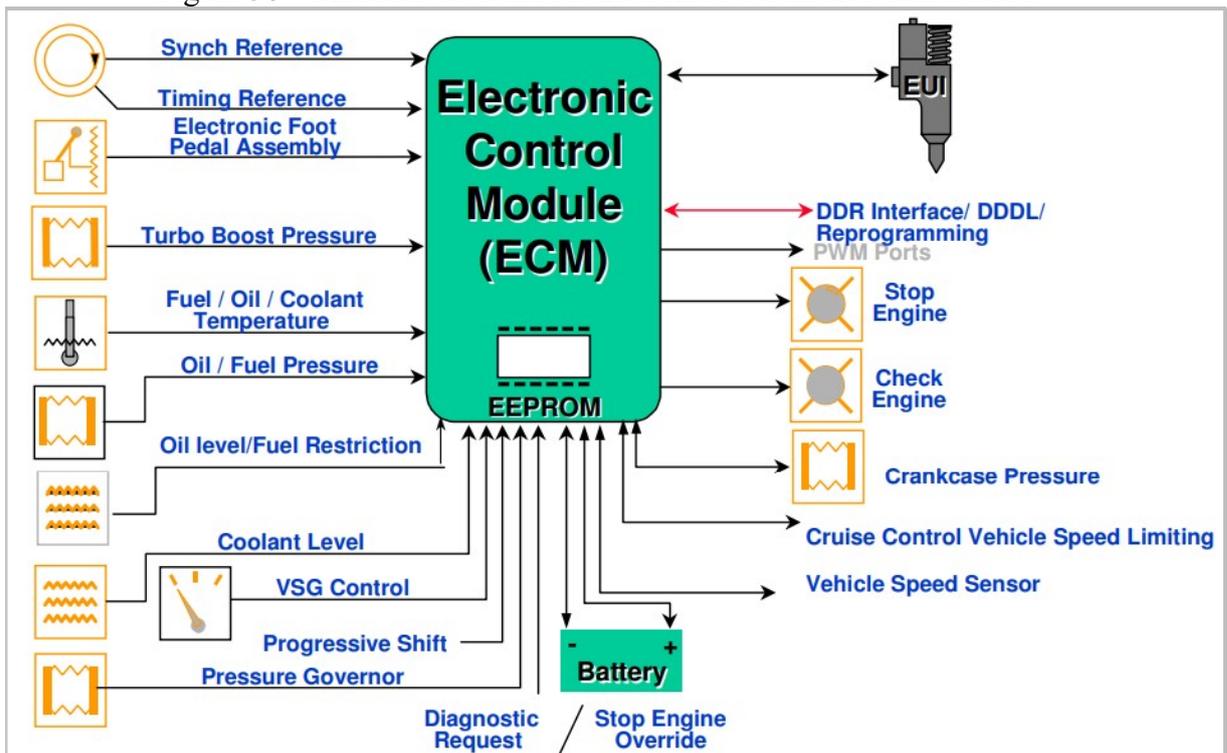
MOTOR 16V – SÉRIE 4000 T1637K33 DDEC IV (CAMINHÕES FROTA 4100)										
PARÂMETROS	Unid	4101	4102	4103	4104	4105	4106	4107	4108	Observação
ENG. LOAD PCT	%	100,0		100,0	100,0	100,0	100,0	Manut.	100,0	0 à 100 %
ENGINE RPM	rpm	1905,0		1903,0	1900,0	1907,0	1898,0		1908,0	0 à 1900 rpm (Lenta (mín) > 650 à 680 rpm. Lenta Alta (retardo) > 1250rpm Carga(máx) > 1900rpm
BOOST PSI	psi	31,5		31,9	29,4	31,5	31,9		30,0	Com 1900rpm e 100% de load >> Os valores devem estar entre 18 e 25 FSI. Para qualquer situação, inclusive a citada acima os valores não podem ter diferença > 10%.
R1 BOOST PSI	psi	31,6		31,9	39,8	31,8	31,9		3,5	
R1 OIL TEMP	°F	173,0		178,0	180,3	179,8	182,0		184,0	Máx. de 210°F
FUEL TEMP	°F	114,5		121,0	122,0	122,3	119,5		123,8	Máx. de 140°F
FUEL PRS PSI	psi	92,5		82,5	144,5	88,5	84,0		86,5	
OIL PRS PSI	psi	79,5		80,5	82,0	82,0	82,5		79,0	50 psi para 650 rpm 88 psi para 1910 rpm
COOLANT PSI	psi	31,9		31,9	31,9	31,9	31,9		31,9	Mín. 1401 psi
R1 COOLANT PSI	psi									
INTRCOOL TMP	°F	120,0		111,0	131,0	125,0	149,0		133,0	Máx. de 174°F
CRNKCE PSI	psi	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	

Fonte: Duarte et al. (s. d.)

Os sensores conectados ao módulo de controle do motor na Figura 38 incluem: sensor de temperatura, sensor de pressão, sensor de posição, sensor de velocidade, sensor de corrente, sensor de nível de óleo e sensor de combustível, entre outros. Estes sensores permitem que o motor seja monitorado para avaliar o desempenho e evitar possíveis falhas.

Todas essas informações estão disponíveis diretamente para a oficina, afim de prever e planejar as paradas de manutenção de forma a afetar minimamente as operações e a produção da mina.

Figura 38 - Unidades de Controle Eletrônico e Sensores Conectados.



Fonte: Duarte et al. (s. d.)

4.5.2 Interface DMS

A Drill Management System – DMS, se trata de uma interface de monitoramento de equipamentos de perfuração.

São coletadas informações como:

- Profundidade dos furos;
- Taxa de perfuração;
- Pressão de pull down;
- Pressão de rotação;
- Rotação;
- Pressão de ar na broca;
- Corrente do motor, para equipamentos elétricos;

A Figura 39 representa a tela de parâmetros monitorados pelo DMS.

Figura 39 - Monitoramento de Perfuração.

Hole: 123/02-005			Drill: 0202		
Taxa Penet	Velocidade	Pressao Ro	Pull Down	Bit Air Pr	Profundida
m/hr	rpm	psi	psi	psi	m
78.40	73.87	245.11	3357.88	46.04	0.31
41.16	73.87	245.11	3431.41	47.02	0.62
27.44	73.11	563.74	3455.92	47.02	0.92
25.48	72.36	1102.96	3455.92	47.02	1.23
33.32	71.61	1127.47	3431.41	47.02	1.54
31.36	71.61	1372.57	3480.43	47.02	1.85
41.16	72.36	1544.14	3504.94	47.02	2.15
45.08	71.61	1544.14	3504.94	47.02	2.46
41.16	71.61	1642.18	3529.45	47.02	2.77
50.96	68.60	1617.67	3186.31	47.02	3.08
39.20	70.11	1617.67	3455.92	47.02	3.38
50.96	71.61	1617.67	3529.45	47.02	3.69
54.88	70.86	1642.18	3504.94	47.02	4.00
74.48	71.61	1642.18	3504.94	47.02	4.31

Fonte: Duarte et al. (s. d.)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

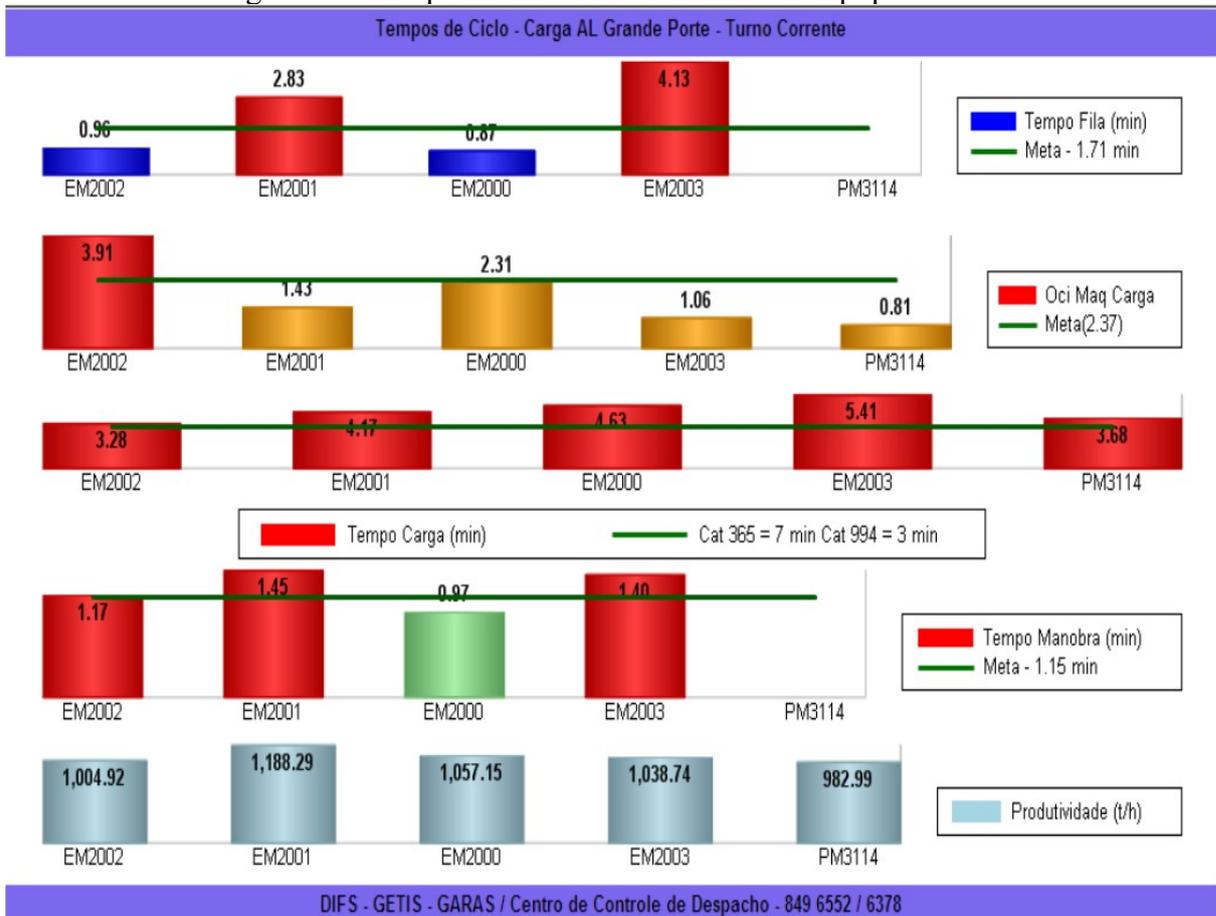
Segundo Sachs e Nader (2005), é importante que o sistema de monitoramento dos equipamentos seja preciso e confiável, para que o sistema de roteirização eletrônico de caminhões seja completo de modo que as operações da mina possam ser otimizadas em tempo real.

O sistema DISPATCH já vindo sendo objeto de estudo e de aplicações prática em diversas minas pelo mundo.

Além de fornecer as informações para o controle de produção, o sistema de roteirização eletrônico propicia a minimização de tempo ocioso de equipamento, gerenciamento de filas nas escavadeiras, controla eventos anormais, maximiza a eficiência das trocas de turno e otimiza gerenciamento de combustível (Franco et al., 2018).

De acordo com a Figura 40, podemos avaliar os tempos de ciclo de transporte e equipamentos bem como comparar com a meta estabelecida na ocasião.

Figura 40 - Tempo de Ciclo dos Caminhões e Equipamentos.



Fonte: Franco et al. (2018)

Ao analisar a figura X, podemos avaliar os seguintes ciclos:

- Tempo de fila para carregamento (min)

Se refere ao tempo que os caminhões aguardam da fila para serem carregados, onde a meta é de 1,71 min.

- Ociosidade de Máquina (min)

Se refere ao tempo no qual o equipamento está aguardando o carregamento dos caminhões., onde a meta é de 2,37 min.

- Tempo de Carregamento (min)

Se refere ao tempo para carregar cada equipamento, que nesse caso poderá variar em virtude da capacidade de transporte de cada caminhão.

- Tempo de Manobra (min)

Se refere ao tempo de manobra ou estacionamento dos caminhões para início do carregamento, onde a meta é de 1,15 min.

- Produtividade (t/h)

Se refere a produtividade cada equipamento em toneladas por hora trabalhada. Também deve ser considerado o tipo de equipamento em virtude da capacidade.

Esse gerenciamento é de suma importância para acompanhamento de metas de produção, onde sistema maximiza a eficiência em diversos parâmetros da operação.

Com base nessas informações foi e é possível traçar planos estruturados para correção de desvios operacionais e otimização de processos de transporte.

Segundo Franco et al. (2018), o sistema de roteirização apresentou ganhos comprovados por seu algoritmo de otimização nas principais minas onde foi instalado. O sistema de roteirização além de controlar, também aumentou a produção de 7% a 12% em ganhos de produtividade.

Ainda sobre o estudo de caso pontuado, de acordo com Franco et al. (2018)

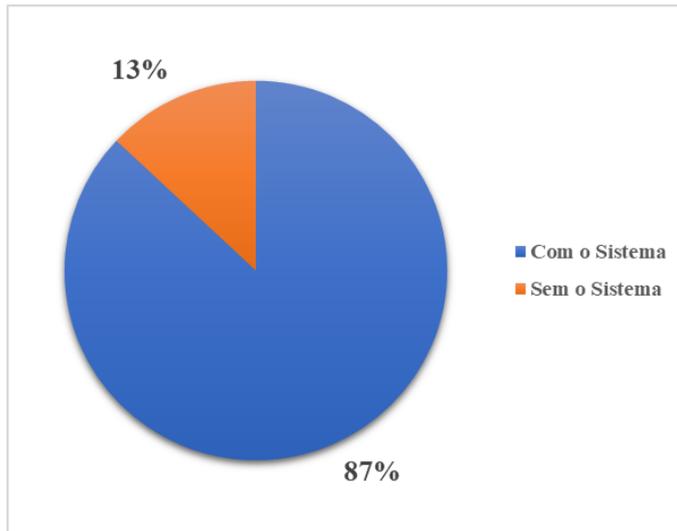
O estudo de caso foi realizado em uma empresa de mineração da região do Médio Piracicaba, denominada como empresa Alfa neste estudo, no período de março a junho de 2017. Os dados foram coletados por meio de observações do processo produtivo da mina de um dos autores desta pesquisa e de um questionário aplicado aos operadores de caminhões equipamento.

O resultado desse questionário traz a opinião dos operadores dos equipamentos com relação a implementação do sistema, pois escutar ativamente os colaboradores

envolvidos na operação é de suma importância para um entendimento por completo do estudo de caso.

A primeira pergunta do estudo de Franco et al. (2018) realizado abordou os operadores com relação a preferência em trabalhar ou não com o novo sistema de roteirização eletrônico. As respostas estão no Gráfico 1 abaixo.

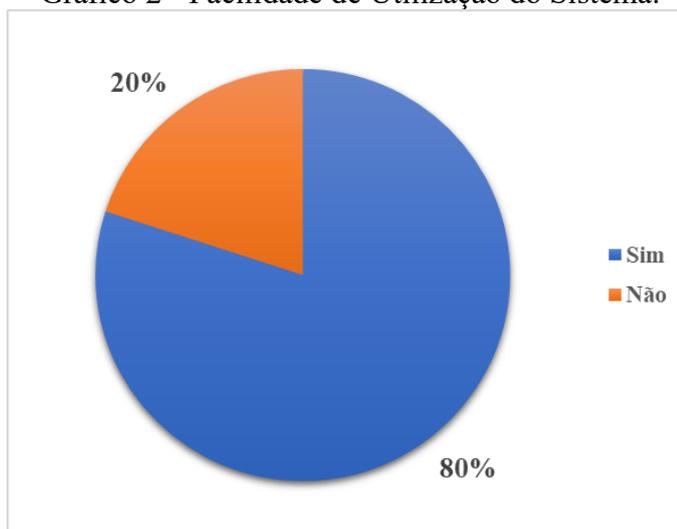
Gráfico 1 - Preferência em Trabalhar com o Sistema.



Fonte: Adaptado Franco et al. (2018)

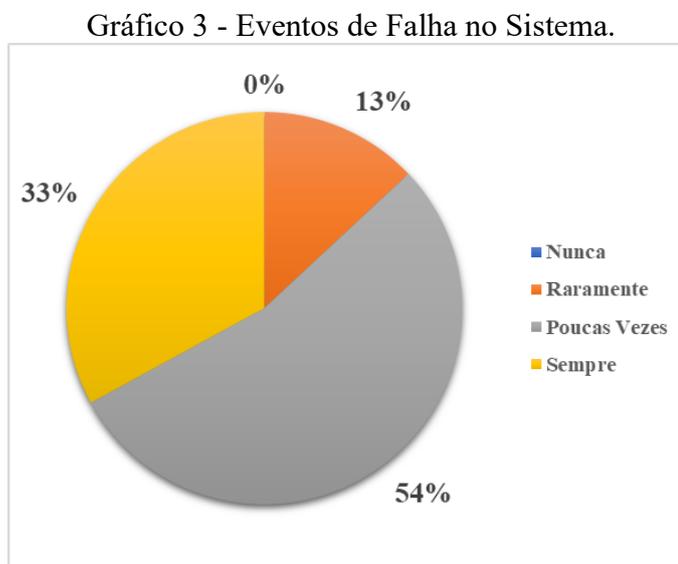
A segunda pergunta do estudo de Franco et al. (2018) entendeu com os operadores sobre a facilidade de utilização do sistema. As respostas estão no Gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 - Facilidade de Utilização do Sistema.



Fonte: Adaptado Franco et al. (2018)

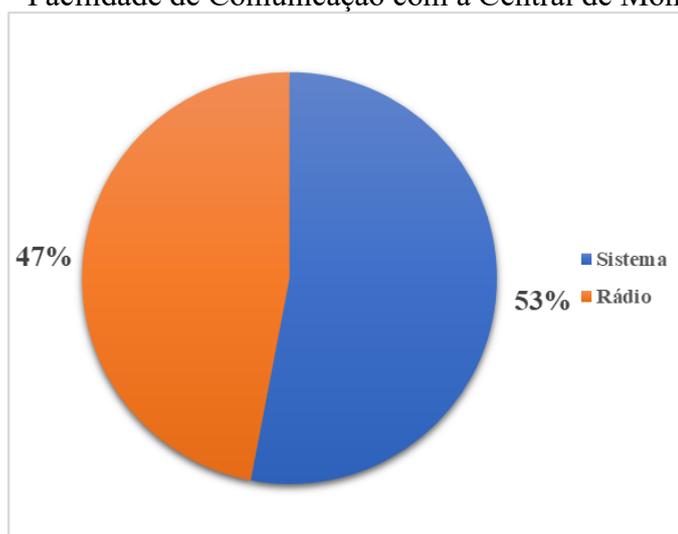
A terceira pergunta do estudo de Franco et al. (2018) discorreu sobre eventos de falha do sistema de roteirização. As respostas estão no Gráfico 3 abaixo.



Fonte: Adaptado Franco et al. (2018)

A quarta pergunta do estudo de Franco et al. (2018) foi sobre a facilidade de comunicação com os centros de monitoramento, via rádio de comunicação ou via sistema. As respostas estão no gráfico 4 abaixo.

Gráfico 4 – Facilidade de Comunicação com a Central de Monitoramento.



Fonte: Adaptado Franco et al. (2018)

De acordo com Franco et al. (2018), a quinta pergunta questionou se o sistema facilita no controle de produção através da contagem de viagens realizadas. O resultado foi

unânime e 100% dos operadores concordaram que o sistema facilita no controle de viagens realizadas.

Conforme Franco et al. (2018), a sexta e última pergunta buscou entender o que poderia ser melhorado no sistema, e o resultado foi o tempo de reposta para a comunicação entre o operador e a central de monitoramento, ou seja, trazendo uma oportunidade de melhoria com tange a cobertura do sinal de rede wireless para reduzir os pontos de sombra em campo.

5.1 Utilização do Sistema DISPATCH no Planejamento de Produção

O sistema DISPATCH além de fornecer informações em tempo real sobre as operações de transporte de mina possibilitando que o operador atue de forma imediata pra melhoria de performance, também pode ser utilizado para planejamento e estimativa de produção.

As informações armazenadas pelo sistema em seu banco de dados podem ser extraídas, tratadas e utilizadas de acordo com o objetivo e tempo de aplicação do planejamento.

Com base nos tempos de ciclo de transporte, estratificados por tipo de equipamento e operação realizada, é possível prever, dentro de condições esperadas, que são as premissas definidas, o volume de produção ou até mesmo planejar um aumento ou redução do mesmo de acordo com a necessidade da mina em questão.

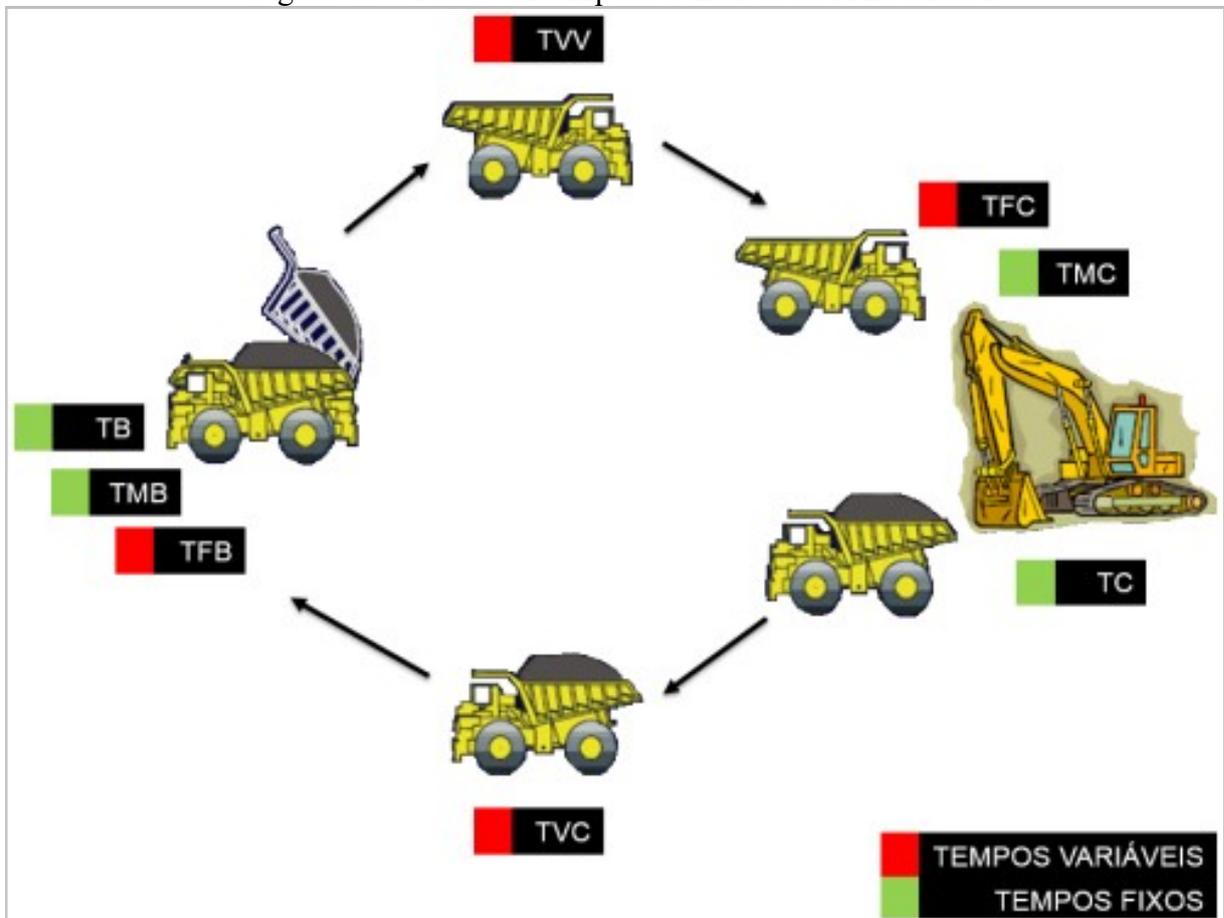
Campelo et al. (2017) realizou um trabalho estimativa de produção coletando dados históricos, banco de dados, do sistema de despacho eletrônico. Foram estratificados os tempos de ciclo de transporte, definidos na Tabela 7, por tipo de equipamento para análise e previsão de produção do mês subsequente a análise. Como premissa para realização da estimativa, os tempos foram classificados como tempos variáveis e tempos fixos, estes apontados na Figura 41 que apresenta o ciclo de transporte e os indicadores de cada etapa.

Tabela 7 - Dados Extraídos do Sistema de Despacho Eletrônico.

Indicador	Sigla
Tempo de Viagem Vazio	TVV
Tempo de Fila para Carregar	TFC
Tempo de Manobra para Carregar	TMC
Tempo de Carregamento	TC
Tempo de Fila para Bascular	TB
Carga Média	CM
Local de Carregamento	LOCC
Local de Basculamento	LOCB
Hora Trabalhada	HT
Distância Média de Transporte	DMT

Fonte: Adaptado de Campelo et al. (2017).

Figura 41 – Ciclo de Transporte e Indicadores Associados.



Fonte: Adaptado Campelo et al. (2017).

Com as informações retiradas do sistema foi possível calcular o tempo de transporte e a produtividade de transporte que são as variáveis que irão determinar o volume de produção mensal. As variáveis foram calculadas por tipo de equipamento, carga ou transporte, e tipo de local, carregamento ou descarregamento.

Segundo Campelo et al. (2017) foi possível dimensionar de forma realista a produtividade de transporte através dos dados históricos do sistema de despacho e da distância média de transporte. Contudo tal previsão, apesar de realista, teve seu resultado diferente do programado devido a desvios relacionados a condição operacional.

Para os desvios que afetaram a previsibilidade de produção podemos citar:

- Fator humano

Tem influência direta no resultado de cada equipamento e consequentemente produção;

- Clima

As operações de lavra e sua produção são afetadas pelas alterações climáticas ao longo dos ciclos de produção.

Com base no que foi apresentado, é possível entender que o sistema também pode ser utilizado como ferramenta de planejamento e estimativa a curto, médio e longo prazo do ciclo de produção de uma operação de lavra.

Tal estimativa pode ter influência em todo plano estratégico da mina, como por exemplo a aquisição de novos equipamentos de carregamento e transporte, aumento de efetivo, acréscimo de turnos de produção, pois será possível ter uma previsibilidade operacional.

6 CONCLUSÃO

A eletrônica embarcada fornece a capacidade de monitorar e controlar processos de produção, permitindo a detecção e a correção de falhas antes que elas se tornem problemas maiores. Além disso, a informática pode ser usada para gerenciar e analisar grandes quantidades de dados, permitindo a identificação de padrões e a previsão de problemas antes que eles ocorram. O uso de computadores e sistemas de comunicação, como a internet das coisas, também permite o monitoramento em tempo real dos processos de produção. Esta tecnologia possibilita o acompanhamento das atividades e otimização das operações com maior precisão.

Nesse trabalho foi apresentado como ocorrem as operações de mineração e transporte bem como o sistema Supervisório DISPATCH que tem por objetivo entregar soluções para otimização do processo de transporte ganhando em produtividade e redução de custos por meio de monitoramento em tempo real alavancando os resultados da companhia.

O sistema se mostrou eficiente, cumprindo seu papel no que tange a ganhos operacionais e trazendo retorno palpáveis após sua aplicação.

A eletrônica embarcada está inserida de forma ativa em todos os âmbitos industriais e na mineração não está sendo diferente, ficou claro o tamanho da sua importância dentro dos controles de processo produtivo e como podemos utiliza-la a partir de diversas formas e interfaces. Todas as informações obtidas fornecem embasamento de forma concreta, a partir de dados reais, para as tomadas de decisões gerenciais que afetam todas a área estratégica das organizações.

É possível em trabalhos futuros aprofundarmos nos meios de comunicação e interfaces existentes para garantir cada vez mais exatidão nos resultados e acompanhamento em tempo real. Um dos grandes problemas ainda existentes para o monitoramento em área de mina é a cobertura de sinal por se tratar de áreas remotas.

REFERÊNCIAS

CAMPELO, A.C.M.M., MARIN, T., TOMI, G.F.C. Utilização de dados do sistema de despacho para estimativa de produtividade de transporte no plano de lavra a curto prazo. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 86-90, abr./jun. 2018.

ÇETIN, N. "Open-Pit truck/shovel haulage system simulation". Tese de Doutorado, School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University, 2004.

CHIRONIS, N. P., "Computer Monitors and Controls all Truck-Shovel Operations", *Coal Age*, 50-55, 1985.

DUARTE, A. B., FAVATO, C. A., FREITAS, R. S. Telemetria aplicada à manutenção de equipamentos de mineração.

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).

FELSCH JÚNIOR, W. S., CUNHA, P. R. V., OLIVEIRA, V. S., COSTA, E. F. A. Utilização da telemetria embarcada para gerenciamento do abastecimento de caminhões de grande porte na mineração. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 189-195, abr./jun. 2019.

HEIDENREICH, L. E., "Manual interno de treinamento da empresa, Otimização e Operação do sistema dispatch". Ano de revisão 2008.

KNIGHTS, P.F., BONATES, E.J.L. "Applications of discrete mine simulation modeling in South America". *Internacional Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 13, 69-72, 1999.

KOLONJA, B., KALASKY, D.R., MUTMANSKY, J.M. "Optimization os dispatching criteria for open pit truck haulage system desing multiple comparisons with the best and common random number". *Proceeding of the 1993 Winter Simulation Conference*, 393-401, 1993.

KOMATSU 960E-1K. Manual técnico.

KOMATSU PC8000-6. Manual técnico.

KOMATSU WA1200-6. Manual técnico.

KONYUKH, V., GALIYEV, S. e LI, Z., "Mine Simulation in Asia", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* 13, 57-67, 1999

LACERDA, A. L. S. Simulação aplicada a sistema de despacho como forma de avaliação da influência da otimização e integridade de dados na mina do sossego. Parauapebas: 2019.

METSO, Superior™ MKIII Primary Gyratory. Catálogo comercial.

MODULAR MINING SYSTEMS INC. Introdução ao Dispatch: manual do usuário. 2006.

PELICHEK, Daniel. Estudo de telemetria para aquisição, processamento e transmissão de dados em sistemas remotos. São Paulo. [TCC], 2009. USP.

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

QUEVEDO, J. M. G. Modelo de Simulação para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto. Rio de Janeiro, 2009. 133 p.

RICHARDS, M., WEST, S. Fundamentals of earthmoving. LACD Mining Equipment Forum. Calama, Chile: 2003.

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).

SANTOS, Diego Aparecido Monteiro; SILVA, Frans Walker Rocha; MACHADO, Jefferson: TELEMETRIA AUTOMOTIVA E SUAS APLICAÇÕES DA PREDITIVA. Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2020; 1052-1074

SACHS, P.F.T & NADER, B. Sistemas de Gestão da Produção e a Cadeia de Valor Mineral. (Trabalho Técnico). São Paulo, 2005.

Sistema de Roteirização Eletrônico de Caminhões e Equipamentos de Mineração de Minério de Ferro. Juiz de Fora, 2018.

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

WHITE, J.W., OLSON, J.P. “Computer based dispatching in mines with concurrent operating objectives”. Mining Engineering, 183, 1045-1054, 1986.

WHITE, J.W., OLSON, J.P.m VOHNOUT, S.I. “On Improving truck/shovel productivity in open pit mines”. CIM Bulletin, 9, 43-49, 1993.