

**Mestrado Profissional**  
**Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais**

**MARCELO LOLI DESOUSA**

**O USO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PARA GESTÃO DO  
PROCESSO DE CARGA E TRANSPORTE NA MINERAÇÃO:  
PROPOSTA DE UM MODELO PARA GESTÃO DE MINA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador(a): Gustavo Pessin, Dr.

**Belém / PA**

**2016**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S725 Sousa, Marcelo Loli

O uso de Sistemas de Automação para Gestão do Processo de Carga e Transporte na Mineração: Proposta de um Modelo para Gestão de Mina / Marcelo Loli de Sousa -- Belém-PA, 2017.

45 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2017.

Orientador(a): Gustavo Pessin, Dr.

1. Dispatch. 2. Sistemas. 3. Monitoramento. 4.Otimização. I. Título.

CDD 23. ed. 622

Bibliotecário (a) responsável: Nisa Gonçalves

CRB2: 525

**MARCELO LOLI DE SOUSA**

**O USO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PARA GESTÃO DO  
PROCESSO DE CARGA E TRANSPORTE NA MINERAÇÃO:  
PROPOSTA DE UM MODELO PARA GESTÃO DE MINA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

---

Dr. Gustavo Pessin  
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV DS)

---

Dr. Shubert Ribeiro de Carvalho  
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV DS)

---

Dr. Luiz Uzeda  
Membro externo – Instituto Tecnológico Vale (ITV MI)

## **DEDICATÓRIA**

Em primeiro lugar dedico este trabalho a Deus, por me permitir estar apto físico e mentalmente para a realização deste.

Dedico também a minha família, a minha esposa Karla Mariana por ser companheira, por incentivar e compreender os momentos de ausência. Aos meus filhos Joao Marcelo e Maria Clara, por serem fonte de inspiração para buscar sempre mais aprendizado e conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meu pais e irmãos pelo apoio moral e por sempre acreditarem no meu potencial de forma incondicional, incentivando mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha equipe e aos meus colegas de trabalho, por tornarem a teoria realidade, por acreditarem no trabalho e fazerem deste uma realidade que associada a competência de cada um produziu resultados antes impossíveis.

Aos meus líderes, a Vale e ao ITV, em especial aos gestores Antonio Carlos de Amorim e Rodrigo Artur Gomes de Melo por me credenciarem a este desafio sem em momento algum duvidar da minha capacidade de cumprir este desafio.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Pessin por dedicar e compartilhar seu valioso tempo e conhecimento para me conduzir no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de classe por tornar as aulas mais “leves”, pelas novas amizades, pelo companheirismo e ajuda mutua na busca pelo aprendizado.

## RESUMO

Sistemas de automação têm proporcionado avanços em gestão e operação de lavra. O emprego de algoritmos de otimização e a gestão por resultados em tempo real se mostram grandes aliados no processo de redução de custos e maximização da capacidade dos ativos. Entretanto, no cenário Vale, não há um modelo estabelecido para uso dos sistemas implantados, sendo que cada unidade desenvolve projetos isolados baseados na experiência dos profissionais que dispõem para execução dos projetos de implantação. Esta situação impede que a empresa extraia o máximo das ferramentas implantadas e gera um retardo em função do alto tempo demandado para amadurecimento das equipes para o nível de especialista. Este projeto tem como objetivo a proposta de um modelo padrão para gestão de mina por meio do desenvolvimento de indicadores que permitam comprovar a eficiência da implantação de sistemas de despacho. O trabalho exemplifica como a combinação de tecnologias disponíveis no mercado são aplicadas na mineração para gestão dos ativos e equipes. O uso de sistemas inteligentes (*dispatch*) para a tomada de decisão, o monitoramento em tempo real das operações de lavra, e a análise estatística dos dados deve permitir a mitigação das perdas operacionais e o incremento de ações com foco na segurança das pessoas na busca de uma produção mais limpa e mais eficiente.

**Palavras-chave:** *Dispatch*. Sistemas. Monitoramento. Otimização.

## **ABSTRACT**

The Automation Systems have provided advances in management of mining operations in VALE. The usage of optimization algorithms and of real-time fleet monitoring are efficient in the process of reducing costs and maximizing mining equipment nominal capacity. However, the company has not implemented a standard usage of these systems. Each VALE's mining site has developed projects based on local engineering experience. For this reason, it is not feasible to explore better all the system's resources causing delays of maturing of mining analyst teams to reaching the specialist level. This paper aims to propose a standard model for the management of mining operations through control to prove the efficiency of the deployment of mining dispatching systems. The work shows how the combination of technologies available in the market are applied in mining for management of mining operations. The usage of intelligent mining dispatching systems for decision making, real-time monitoring of mine operations, and statistical analysis of data provide loss reduction and a better control of mine safety, increasing efficiency and productivity.

**Keywords:** Dispatch. Systems. Monitoring. Optimization.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Funcionalidades Esperadas em um Sistema de Despacho.....	16
<b>Figura 2</b> – VRP Vehicle Routing Problem.....	17
<b>Figura 3</b> - Formula de Produtividade do Ciclo de Transporte .....	19
<b>Figura 4</b> - Fluxo do Ciclo de Transporte via Sistema de Despacho .....	20
<b>Figura 5</b> – Fluxo de Produção do Complexo Minerador de Mariana.....	21
<b>Figura 6</b> – Principais fornecedores de software de Despacho Eletrônico e Banco de Dados Default dos Fabricantes (Fonte: Internet) .....	23
<b>Figura 7</b> – Esquema de Integração Sql Server / Report Server, coleta de dados e relatórios ( <a href="http://tekslate.com/tutorials/ssrs">http://tekslate.com/tutorials/ssrs</a> ).....	25
<b>Figura 8</b> – Estrutura Olap com foco em Tabelas Dinâmicas em Excel.....	26
<b>Figura 9</b> – Os sete desperdícios do Pensamento Enxuto .....	27
<b>Figura 10</b> – Pilares do VPS.....	28
<b>Figura 11</b> - Tabelas do Banco de Dados Consolidado com as 5 tabelas criadas para armazenamento das informações consolidadas.....	30
<b>Figura 12</b> - Campos de período dos dados. Utilizados nas 5 tabelas existentes no banco consolidado garantindo o relacionamento entre as tabelas.....	31
<b>Figura 13</b> - Descrição das tabelas do banco Vale_Db1. Estruturas de dados padronizadas para campos de períodos e customizadas conforme foco de armazenamento padronizado dos dados.....	31
<b>Figura 14</b> - Layout Sistema SIAM – Menu Supervisor para acesso aos relatórios de tomada de decisão em tempo real e informações históricas, menu único e consolidado para os relatórios existentes na plataforma.....	33
<b>Figura 15</b> - Painel Perfil Tempos Fixos Complexo Mariana. Exemplificação da Condição Normal x Anormal e Metas através do sistema de cores definido pela metodologia VPS.....	34
<b>Figura 16</b> – Menu com foco no resultado do turno e atual, dia atual e dia menos 1, forma padronizada de análise em todas as operações do Complexo Mariana. ....	35
<b>Figura 17</b> - Gráfico de Evolução do uso da otimização do Dispatch 6.- Complexo Mariana. O uso contínuo do sistema em modo automático possibilita uma maior assertividade na tomada de decisão do algoritmo impactando diretamente na redução dos tempos fixos.....	37
<b>Figura 18</b> - Evolução Tempos Fixos no Complexo Mariana.....	38

<b>Figura 19</b> - Resultados Tempos Fixos – Minas da Diretoria de Ferrosos Sudeste com diferença significativa entre os valores nominais apresentados nas minas de Brucutu e Itabira .....	38
<b>Figura 20</b> – Resultado dos Tempos Fixos no período de 13 meses em Ferrosos Sudeste, ênfase ao resultado do Complexo Mariana, única mina a alcançar a referência técnica estipula pela engenharia Vale com base nas capacidades nominais dos equipamentos informados pelos Fabricantes.....	39
<b>Figura 21</b> -Gráfico Scatterplot – Otimização x Fila no Basculo.....	41
<b>Figura 22</b> – Gráfico Scatterplot – Otimização x Tempo Fixo.....	41
<b>Figura 23</b> – Gráfico Scatterplot – Otimização x Fila na Carga.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Variáveis de Tempos Fixos .....	22
<b>Tabela 2</b> – Condição Normal x Anormal Tabela de cores padrão para desenvolvimento de relatórios e atribuição da metodologia VPS para identificação dos desvios em 3 segundos baseado em sistema de sinótico. ....	29
<b>Tabela 3</b> – Relatórios SIAM e suas funcionalidades .....	36
<b>Tabela 4</b> - Valores de Tempos Fixos, Fila na Carga, Fila no Basculo e Uso de Otimização. ....	42

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DMT – Distância Média de Transporte  
DS – Desenvolvimento Sustentável  
DSS – Diálogo de Saúde e Segurança  
EFMV – Estrada de Ferro Vitória Minas  
*GIGO – Garbage in, Garbage out*  
*HTML – HyperText Markup Language*  
*HTTP – Hypertext Transfer Protocol*  
ICD – Índices de Controle de Desempenho  
*IIS – Internet Information Services*  
*IP – Internet Protocol*  
ITV – Instituto Tecnológico Vale  
*KPI – Key Performance Indicator*  
*MSDTC – Microsoft Distributed Transaction Coordinator*  
*OCAP - Out of Control Action Plan Table*  
*OLAP – Online Analytical Processing*  
SIAM – Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina  
TCLD – Transportador de Correia de Longa Distância  
*TPS – Toyota Production System*  
*VPS – Vale Production System*  
*VRP – Vehicle Routing Problem*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	13
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	21
3.2	METODOLOGIA .....	22
3.2.1	Modelamento do banco de dados consolidado .....	23
3.2.2	Ambiente Web – Sistema Integrado de Acompanhamento Mariana .....	24
3.2.3	Relatórios – Microsoft Report Server.....	25
3.2.4	Relatórios – Ferramenta <i>Online Analytical Processing</i> (OLAP).....	25
3.2.5	Relatórios – Aplicação da Metodologia do TPS/VPS .....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
4.1	PROPOSTA DE MODELO DO BANCO DE DADOS .....	30
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE RELATÓRIOS WEB .....	32
4.2.1	Sistema de Relatórios: Focos de Análise.....	34
4.3	ESTUDO DE CASO – COMPLEXO MARIANA .....	36
4.3.1	Estudo de Caso – Análises Estatísticas .....	39
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, ao se planejar a abertura ou lavra de uma grande mina, imediatamente remete-se a necessidade de controle e registro das operações. Diferentemente do passado, a globalização nos traz a um cenário onde os *reports* das atividades empregadas, sejam para os cenários internos (controle de gastos, segurança, gestão de ativos e reservas) ou externos (órgãos ambientais, governos, bolsa de valores) são essenciais para o gerenciamento mais eficiente.

Diante destas demandas, as empresas de Mineração buscam no mercado softwares de Despacho Eletrônico com intuito de gerir as operações de lavra de forma automatizada. Entretanto, com o avanço crescente da tecnologia estes produtos são capazes não só de registrar, mas também de controlar e gerir de forma inteligente os ativos de carga, transporte, infraestrutura e desmonte de minério e estéril. O emprego de algoritmos de otimização e a gestão por resultados em tempo real são grandes aliados no processo de redução de custos e na maximização da capacidade dos ativos, controlando gastos e reduzindo perdas. O processo de mineração mais assertivo reduz o uso de insumos como pneus e diesel por meio de um processo de gestão da operação a partir dos dados e tratamento da informação gerada pelo sistema.

No cenário Vale, os projetos de implantação de sistemas de Despacho acontecem de forma isolada em cada unidade de negócio, esta situação limita a captação e disseminação de boas práticas. Não há um modelo estabelecido para uso dos sistemas implantados e cada unidade desenvolve seu projeto baseado na experiência dos profissionais que dispõe para tal. Esta situação impede que a empresa extraia o máximo das ferramentas implantadas e gera um retardo em função do alto tempo demandado para amadurecimento das equipes para o nível de especialista. Isso faz que a empresa perca dinheiro e tempo, e com que as equipes tenham dificuldade de justificar novas implantações do software em função do alto custo de aquisição e da falta da comprovação dos ganhos pós-implantação.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor, desenvolver e avaliar um modelo padrão para a gestão de mina. Para isso é necessário a implementação de um banco de dados consolidado e o desenvolvimento de um sistema de relatórios web. Busca-se também comprovar a partir dos dados entregues o funcionamento do algoritmo de otimização do sistema de Despacho Eletrônico (*Dispatch 6 Modular Mining*) a partir do estudo de caso da implantação do software no Complexo Minerador de Mariana, em Minas Gerais, na Vale S/A.

A integração entre sistema *Dispatch 6*, o banco de dados consolidado e a ferramenta de relatórios implementada compõe as ferramentas para gestão dos indicadores chave de desempenho em operações de mina.

Os objetivos específicos são:

- a) Proposta de método para avaliação da eficiência do uso dos algoritmos de otimização do sistemas de despacho.
- b) Proposta e desenvolvimento de um modelo de base de dados relacional.
- c) Desenvolvimento e avaliação de um sistema de relatórios web para controle dos indicadores.
- d) Avaliação da metodologia de melhoria continua implementada no sistema de relatórios em tempo real.
- e) Apresentação e discussão sobre os resultados alcançados pós-implantação.

## 1.2 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está disposta em 6 capítulos, além do capítulo introdutório, tem-se:

- Capítulo 2: Apresenta uma introdução sobre os sistemas de Despacho Eletrônico e seu histórico de utilização nas operações e mina da Vale S/A. É apresentado o conceito de otimização nas operações de mina e como os

algoritmos matemáticos utilizados em alguns estudos já realizados podem contribuir para uma melhor alocação dos equipamentos de mineração durante a fase de transporte do minério. Além dos trabalhos relacionados à otimização, o capítulo introduz como um modelo de gestão pode contribuir com uma melhor gestão dos equipamentos de mineração.

- Capítulo 3: Apresenta o método e as ferramentas de tecnologia que suportam o modelo de gestão proposto, introduz sobre o uso de ferramenta de melhoria contínua (VPS) como instrumento de padronização dos controles operacionais através do uso de ferramentas de relatórios para tomada de decisão em tempo real. Mostra-se o modelo de cálculo de produtividade atual utilizado no planejamento das operações Vale, e como o fluxo de informação transcorre ciclo a ciclo, ilustrando como a associação de todas estas ferramentas foram utilizadas dentro da área de estudo abrangida.

- Capítulo 4: Apresenta o modelo de banco de dados proposto para implementação do sistema de gestão e a ferramenta de relatórios Web desenvolvida a partir deste modelo. Ilustra como foram estabelecidos os focos de análise de indicadores através das ferramentas de melhoria contínua, e mostra o estudo de caso para o Complexo Mariana através de um comparativo com outros sites que não possuem o modelo de gestão implementado.

- Capítulo 5: Apresenta a discussão em torno de uma abordagem prática sobre o uso de melhoria contínua com foco em gestão de pessoas, o capítulo abre espaço para uma ampla discussão sobre a importância de gerir os dados e como a Vale pode introduzir os Centros de Operações Integradas na busca por melhores resultados em suas operações de mineração.

- Capítulo 6: Apresenta as conclusões acerca do trabalho analisando a questão da otimização dos sistemas de despacho e da importância do

tratamento dos dados para correto input no sistema. Consolida-se o uso de ferramenta de gestão para tomada de decisão e a importância da democratização do conhecimento através da publicação dos KPI's (*Key Performance Indicators*) em todos os níveis hierárquicos da operação de mina. Conclui como o uso de metodologias e tecnologia contribuíram para avançar expressivos resultados de melhoria de performance.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Utilizadas desde a década de 80, as ferramentas de gestão de mina (despacho – Ver Figura 1) são novas se comparadas a outras tecnologias empregadas na mineração. A primeira unidade na Vale a utilizar uma ferramenta de Despacho Eletrônico foi a Mina de Carajás, no estado do Pará. Bastante limitado pelas tecnologias disponíveis na época, o sistema restringia-se ao registro eletrônico dos tempos de operação dos equipamentos e da origem e destino dos materiais transportados.



Figura 1– Funcionalidades Esperadas em um Sistema de Despacho (Modular Mining 2011)

Tema de vários trabalhos de dissertação, a otimização das operações de mina é demanda recorrente no cenário da mineração atual. A concorrência acirrada e a variação dos preços dos minérios no mercado pressionam pela otimização dos processos e consequentemente pela maximização das capacidades dos equipamentos de mina. Isso visa à redução de custos e o consumo dos insumos utilizados no processo como: pneus e diesel.

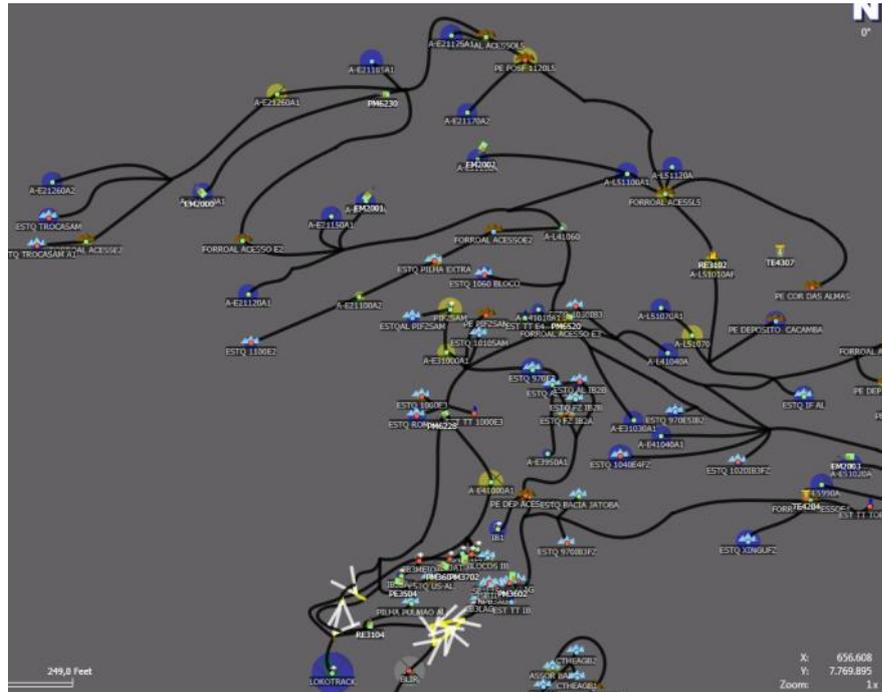


Figura 2 – VRP Vehicle Routing Problem

O problema de alocação de recursos de transporte em uma mina a céu aberto, do inglês *vehicle routing problem* (VRP), se enquadra nesta realidade e tem recebido grande atenção de inúmeros pesquisadores nacionais e internacionais, como demonstram os trabalhos de Alvarenga [3], Coelho et al. [10], Costa et al. [14], Krause et al. [30], Moraes et al. [35] e R. Pinto [40] [41].

Em [3], Alvarenga analisou o uso de algoritmo genético, o modelo matemático proposto foi concebido com três objetivos: reduzir o tempo de fila no carregamento, maximizar a produtividade dos equipamentos e controlar a qualidade do minério extraído. Os resultados obtidos no trabalho nas simulações realizadas, mostraram-se superiores quando comparados a operação em frente fixa.

Utilizando um modelo de programação Linear, Coelho et al. [14] mostrou que é possível adequar o ritmo de lavra em cada frente de modo a atender a produtividade requerida na alimentação das usinas.

Já Moraes et al. [35] e R. Pinto [40] [41] apresentaram um modelo visando controlar a relação estéril/minério, utilizando alocação dinâmica, entretanto este modelo mostrou-se não trivial em função do alto número de restrições.

O que foi possível observar com base nas referências vai ao encontro com o cotidiano prático das equipes de gerenciamento: o uso de ferramentas de gestão auxilia no processo de gerenciamento, embora a falta de padrão e de avaliações que busquem interfaces mais simples (ou direcionadas para públicos diferentes) ainda são questões em aberto.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de desenvolvimento de banco de dados e do software são baseados na metodologia de gerenciamento de projetos PMBOK. A construção do sistema e do banco de dados tem como base o aplicativo Microsoft Sql Server 2008 R2 (Manzano, 2010).

O desenvolvimento dos relatórios online é baseado na metodologia *Toyota Production System* (Fujimoto,1999), desenvolvido entre 1948 e 1975 por Taiichi Ohno, que visa ao aumento da produtividade e a eficiência, evitando o desperdício, tempo de espera e superprodução, este último muito comum as operações de mina. A adoção da condição normal x anormal, permite às equipes de operação a identificação dos desvios operacionais em 3 segundos.

O monitoramento dos resultados propõe a criação de um método pioneiro na comprovação da eficiência dos processos de uso dos algoritmos de otimização do software *Dispatch 6* e no monitoramento dos resultados. A comprovação dos resultados se dá com estudo de caso abrangendo os períodos pós e pré-implantação do sistema e métodos descritos por este trabalho de dissertação, os ganhos serão baseados no incremento da produtividade da frota de transporte.

O cálculo da produtividade se dá pela fórmula apresentada na Figura 3:

$$PRODUTIVIDADE = \left[ \frac{\frac{CARGA\_MÉDIA}{(DMT \times 2)}}{VELOCIDADE\_MÉDIA} + \frac{\sum TEMPOS\_FLXOS}{60} \right]$$

Figura 3 - Formula de Produtividade do Ciclo de Transporte  
Baseada nas variáveis do ciclo de transporte (Vale S/A, Book Despacho)

A Figura 3 é composta pelas variáveis:

- a) Carga Média: Massa em toneladas transportada por ciclo.
- b) DMT: Distancia média de transporte em quilômetros (km).

c) Velocidade Média: Razão entre a distância e o tempo de deslocamento em Km/h.

d) Tempos Fixos: Soma em minutos do Tempo de Fila na Carga, Manobra na Carga, Tempo de Carga, Fila no Basculo e Tempo de Basculo.

As variáveis do ciclo de transporte e sua dinâmica podem ser visualizadas conforme demonstrado na Figura 4 com ênfase ao quadro de controles operacionais e armazenamento de dados que são focos deste trabalho de dissertação.

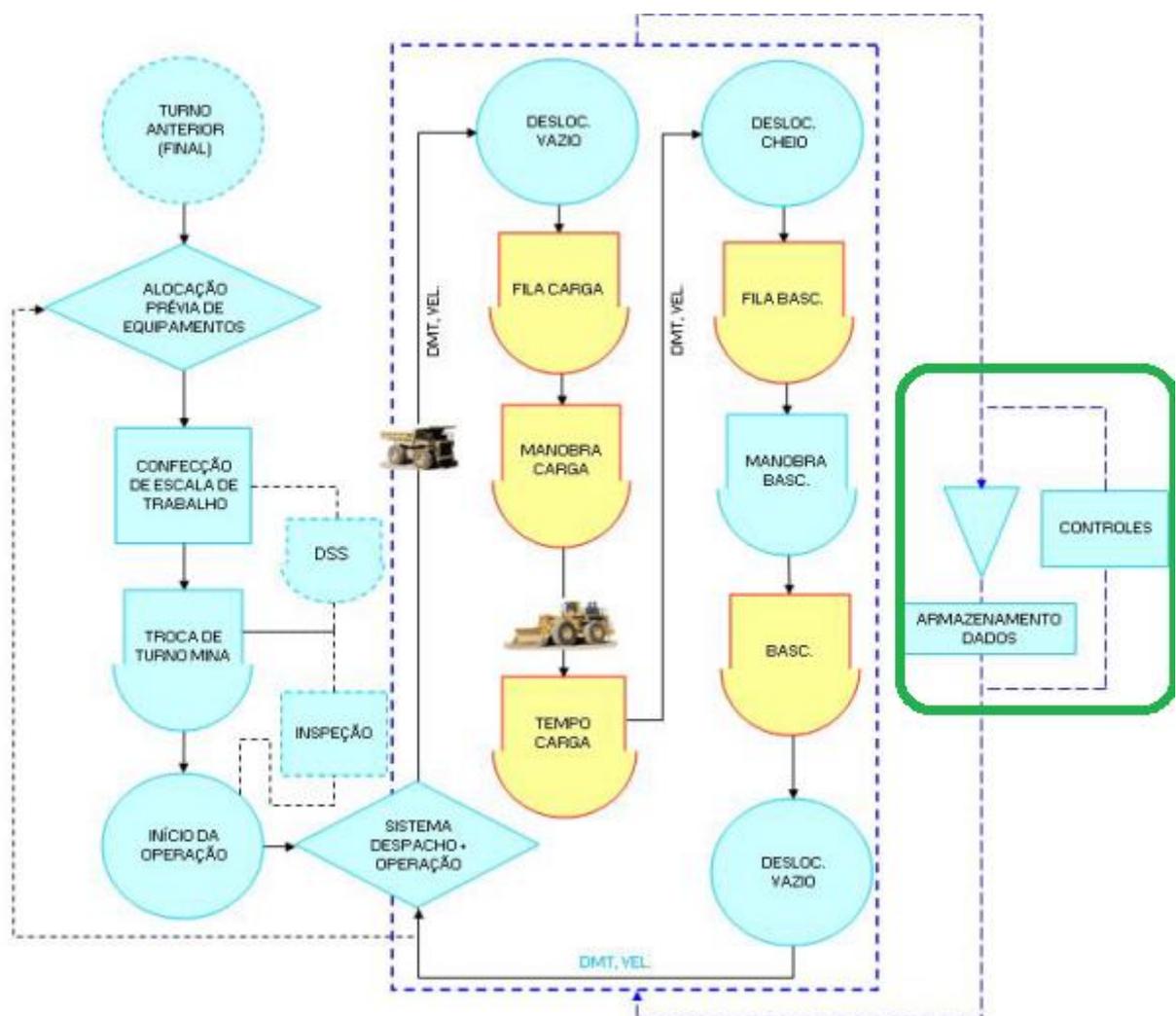


Figura 4 - Fluxo do Ciclo de Transporte via Sistema de Despacho Foco em Armazenamento de Dados e nos Controles Operacionais para tomada de decisão

### 3.1 Caracterização da área de estudo

O Complexo Minerador de Mariana está inserido no quadrilátero ferrífero no estado de Minas Gerais. Compreendido entre os municípios de Mariana, Ouro Preto e Catas Altas é composto pelas Minas de Alegria, Fabrica Nova, Fazendão e Timbopeba. As minas têm como produto o minério de ferro, e responderam por cerca de 20% da produção anual desta commodity em relação ao volume anual da Vale S/A no ano de 2015, os principais destinos são porto de Tubarão no Espírito Santo para atendimento a clientes internos (Pelotizações Vale) e exportações (China). O Complexo também destinava cerca de 10,2 Mtons ano de *Rom of Mine* (minério não processado) para atendimento a Samarco para a produção de concentrados de minério de ferro e posterior pelotização.

As movimentações de mina do Complexo Mariana beiram cerca de 126 Mtons ano conforme planejamento de 2015, e cerca de 38 Mtons de produto final (*Sinter Feed, Pellet Feed e Natural Pelett*).

O fluxo demonstrado na Figura 5 mostra as etapas de extração, transporte e produção existentes no Complexo Minerador de Mariana.

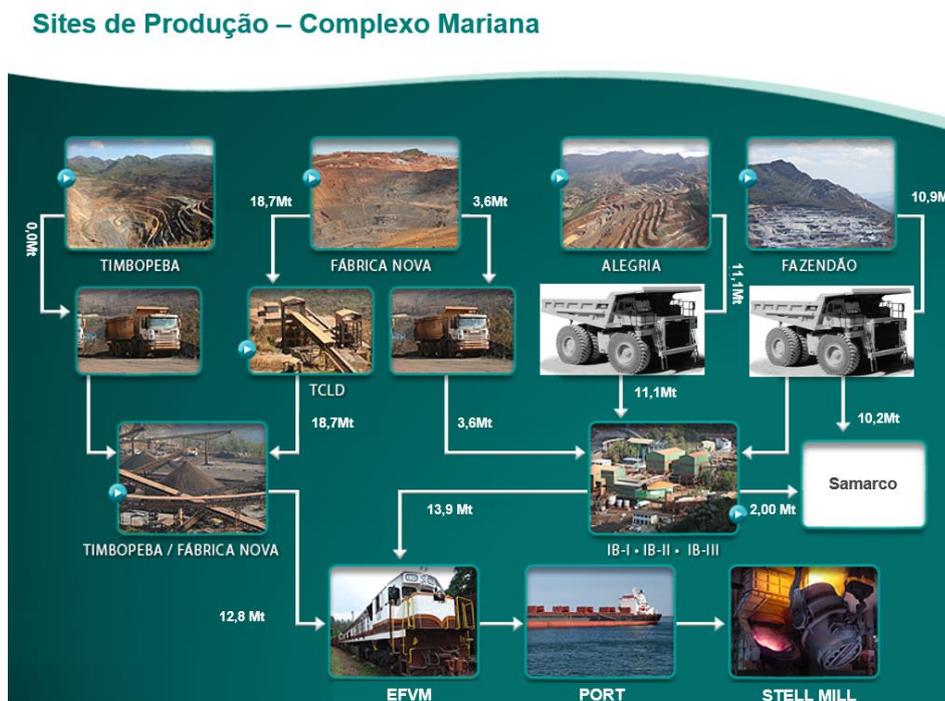


Figura 5 – Fluxo de Produção do Complexo Minerador de Mariana

### 3.2 Metodologia

Objetivando realizar um estudo abrangente sobre a rotina de otimização do sistema de despacho no Complexo Mariana, o modelo de dimensionamento de equipamentos atualmente utilizado pela Gerência de Planejamento de Mina de Curto Prazo será a base das análises. Os impactos da otimização serão analisados nas variáveis de Tempos Fixos já que estes têm ligação direta com a escolha da melhor rota realizada pelo algoritmo do sistema *Modular Mining – Dispatch 6* utilizado nas minas do Complexo. A evolução das variáveis de Tempos Fixos no ciclo de transporte serão pontos chaves às análises, sendo as variáveis demonstradas na Tabela 1.

Variável	Descrição
Fila na Carga	Tempo de espera aguardando o carregamento de outros caminhões a frente.
Manobra na Carga	Tempo entre o final do carregamento de um caminhão e o início do carregamento do caminhão seguinte.
Tempo de Carga	Tempo gasto pela escavadeira para o carregamento de um caminhão.
Fila no Basculo	Tempo aguardando caminhões a frente bascular.
Tempo de Basculo	Tempo efetivo de basculamento do caminhão.
Tempos Fixos	Soma em horas decimais das variáveis de Fila no Carregamento, Manobra no Carregamento, Tempo de Carregamento, Fila no Basculo e Tempo de Basculo.

Tabela 1 – Variáveis de Tempos Fixos

As variáveis são medidas em minutos quando analisadas individualmente, e em hora decimal quando analisadas sumarizadas aos tempos de ciclos total dos caminhões para efeito de cálculo de produtividade da frota em Tonelada/Hora Trabalhada.

### 3.2.1 Modelamento do banco de dados consolidado

O modelamento do banco de dados consolidado foi implementado em *Microsoft Sql Server 2008 Enterprise Edition* ou versão superior em função da necessidade de robustez e do alto volume de dados a serem armazenados por tabela.

O objetivo é criar uma plataforma global, onde dados extraídos de diversos sistemas de Despacho de Mina possam ser normalizados e inseridos em um padrão único que contemple as principais variáveis de análise em uma operação de mina a céu aberto.

Outro ponto relevante para escolha do banco de dados é a similaridade com os principais softwares do mercado, já que o *Sql Server* é também a escolha dos três grandes fornecedores deste tipo de software hoje disponíveis no mercado para armazenamento de dados em seus produtos. Os principais fornecedores podem ser visualizados na Figura 6. Atualmente a Modular com o Dispatch nas versões 5 e 6, a Hexagon (Laica/Devex) e Catepillar com o Minestar respondem por cerca de 95% do mercado para este tipo de software.



Figura 6 – Principais fornecedores de software de Despacho Eletrônico e Banco de Dados Default dos Fabricantes (Fonte: Internet)

A adoção ou padronização do banco de dados na mesma plataforma simplifica o processo de download dos dados para o padrão normalizado com a utilização de ferramentas nativas como *Microsoft Distributed Transaction Coordinator*

(MSDTC), economizando tempo e gastos já que o hardware utilizado pode ser o mesmo adquirido para operação do sistema. Observando-se apenas a necessidade de avaliar o dimensionamento deste hardware em função do volume de informação a ser armazenada e do número de acessos e ou usuários clientes do sistema de relatórios.

### **3.2.2 Ambiente Web – Sistema Integrado de Acompanhamento Mariana**

O ambiente de acesso aos relatórios é construído em padrão HTML(5), buscou-se desenvolver um software com pouca necessidade de recursos avançados a fim que este seja suportado em qualquer plataforma de hardware/software com acesso ao padrão HTTP, disponível no ambiente da intranet Vale S/A. O servidor web deve ser acessível em qualquer equipamento conectado ao domínio Valenet interno (Cabeado e Wifi) ou externo (VPN).

Visando facilitar o processo de criação dos menus de acesso aos relatórios é utilizado o Microsoft Office Front Page. Visando minimizar o esforço de desenvolvimento e maximar a produtividade, os botões de acesso aos reports serão criados a partir dos *templates* disponíveis no software observando as seguintes premissas:

- Os links devem ser de tamanho suficiente para acesso em *tablets* e *smartphones*.
- Apenas o padrão HTML deve ser utilizado para eliminar possível incompatibilidade com equipamentos antigos e menos sofisticados.
- Os botões serão criados com hiperlinks para os *reports* que serão baseados no *Sql Report Services*.
- O ambiente *Internet Information Services* (IIS) e *SQL Report Services* serão hospedados no mesmo servidor (hardware) eliminando necessidade de abertura de portas e configuração de *firewall* corporativo para diferentes endereços de IP.

### 3.2.3 Relatórios – Microsoft Report Server

Com base na escolha do banco de dados, os relatórios serão desenvolvidos na plataforma integrada do *Microsoft Report Services*. A plataforma faz parte do pacote de ferramentas do *Sql Server* e assim elimina a necessidade de uma nova licença para desenvolvimento de relatórios que seria necessária com outros produtos disponíveis no mercado.

O software apresenta ferramentas nativas de integração com produtos Microsoft Windows e Office, possibilitando assim uma maior facilidade na análise de dados e divulgação das informações via ferramentas de TI Vale como correio outlook e portal sharepoint.

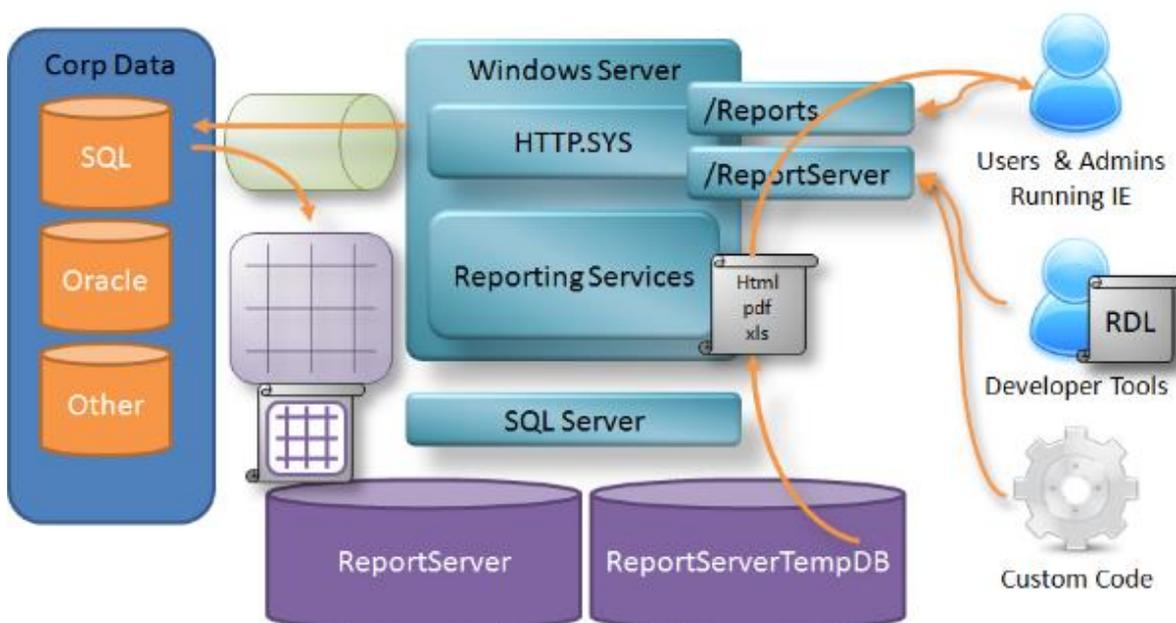


Figura 7 – Esquema de Integração Sql Server / Report Server, coleta de dados e relatórios (<http://tekslate.com/tutorials/ssrs>)

### 3.2.4 Relatórios – Ferramenta *Online Analytical Processing (OLAP)*

Com intuito de facilitar a análise do grande volume de dados históricos foi criado cinco cubos OLAP baseados nas tabelas criadas no banco de dados consolidado. Estes cubos serão acessados por Excel via ferramenta de tabela dinâmica, possibilitando aos usuários estratificar os *Key Performance Indicators (KPIs)* de forma simples e ágil.

A atualização é realizada por processo de *bulk insert*<sup>1</sup> com intervalo de 15 minutos entre downloads. Os dados são apagados e reescritos nas tabelas consolidadas considerando o intervalo entre o primeiro e o último turno do mês atual, desta forma qualquer dado alterado será atualizado com um *delay* máximo igual ao do intervalo estabelecido de 15 minutos.

A Figura 8 mostra como o banco de dados consolidado (*Data Warehouse*) alimenta os cubos para geração das tabelas dinâmicas e relatórios temporais que são disponibilizados aos usuários.

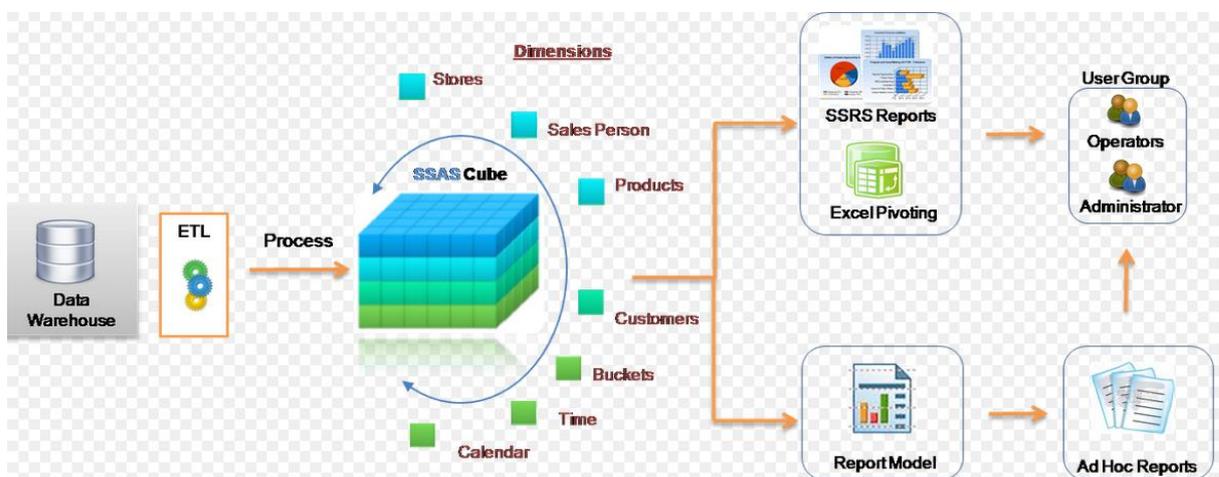


Figura 8 – Estrutura Olap com foco em Tabelas Dinâmicas em Excel Utilizados para análise de dados históricos e series temporais dos indicadores de performance das operações de mina e equipamentos de carga, transporte e infra-estrutura.

### 3.2.5 Relatórios – Aplicação da Metodologia do TPS/VPS

As variáveis principais contidas na fórmula de produtividade dos caminhões são monitoradas em tempo real. Os relatórios foram desenvolvidos observando-se o Pensamento Enxuto, o objetivo da metodologia é padronizar o trabalho através da eliminação dos 7 desperdícios demonstrados na Figura 9, com foco na eliminação da Perda por Superprodução (excesso de caminhões em operação) e na Perda por Espera (equipamentos em fila).

<sup>1</sup> Processo de importação em massa de grande volume de dados em uma tabela no banco de dados.

Foram desenvolvidos *Out of Control Action Plan* (OCAPs) para as variáveis em questão, os fluxos serão criados e demonstrados através de treinamentos para que as cadeias de comando da operação de mina saibam quais ações deverão ser tomadas quando identificada a condição anormal.

As ações foram validadas junto ao corpo técnico/gerencial por meio de entrevistas e questionários.

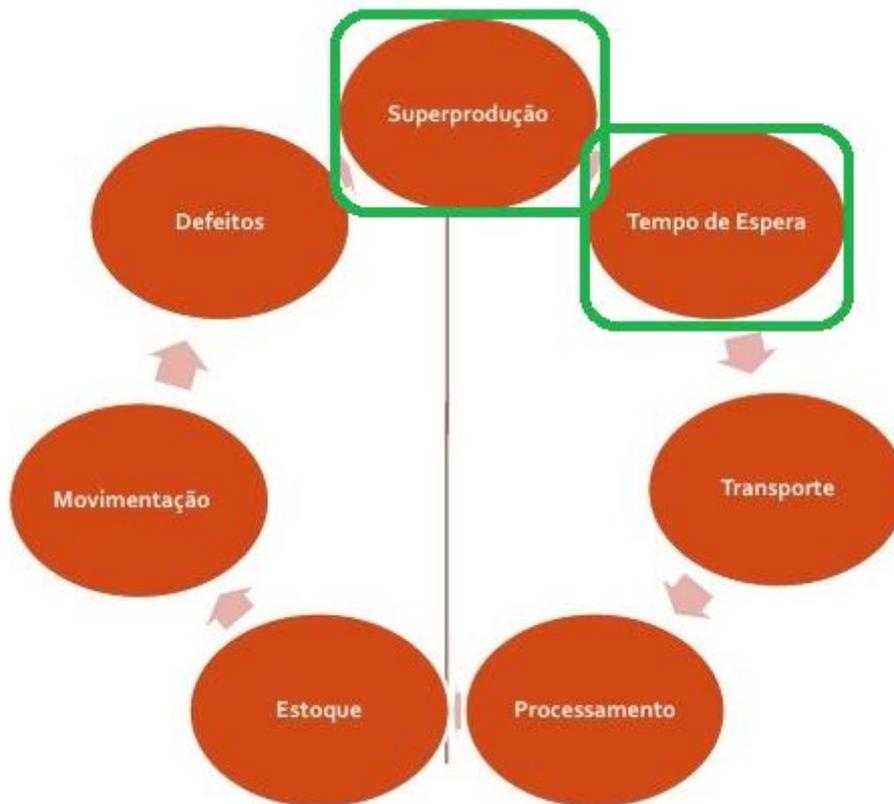


Figura 9 – Os sete desperdícios do Pensamento Enxuto  
Foco em Superprodução (Excesso de Equipamentos) e Tempo de Espera (Tempos Fixos)

### 3.2.5.1 VPS – Vale Production System (Sistema de Produção Vale)

O VPS ou Sistema de Produção Vale é um programa de melhoria contínua que vem sendo implantado em toda empresa com foco na estabilização de processos através das pessoas. Conforme podemos ver na Figura 10 as pessoas são base de

todos os processos envolvendo operação, manutenção, gestão, produtividade e custo, saúde e segurança e por fim sustentabilidade.

A metodologia Vale foi inspirada na metodologia do Sistema Toyota de Produção (TPS)<sup>2</sup>, e como tal serão utilizadas as ferramentas criadas por Taiichi Ohno voltadas para o Pensamento Enxuto e eliminação de Superprodução com foco na identificação dos desvios operacionais em tempo real via dados disponibilizados pelo sistema de despacho e exibidos nos *reports*.



Figura 10 – Pilares do VPS

Foco em pessoas como agente modificadores e base principal da implantação da cultura do Sistema de Produção Vale

### 3.2.5.2 Condição Normal x Anormal

Baseado na metodologia TPS é realizado o estabelecimento da condição Normal x Anormal. O objetivo é padronizar todos os relatórios de forma que operadores, técnicos de mina e de sala de controle, supervisores, engenharia e gestores sejam capazes de identificar em 3 segundos os desvios.

O estabelecimento da condição Normal x Anormal se dará pelo esquema de cores conforme demonstrado na

Tabela 2.

---

<sup>2</sup> FUJIMOTO, A evolução do sistema de manufatura da Toyota.

<b>Condição</b>	<b>Cor</b>	<b>Como</b>
Normal	Verde	KPI dentro da meta estipulada
Anormal	Vermelho	KPI fora da meta estipulada
Meta	Amarelo	Meta Estipulada

Tabela 2 – Condição Normal x Anormal Tabela de cores padrão para desenvolvimento de relatórios e atribuição da metodologia VPS para identificação dos desvios em 3 segundos baseado em sistema de sinótico.

A definição das metas é realizada com base nos dados históricos dos indicadores analisados e serão estabelecidas pelo Planejamento de Curto Prazo, também são utilizados dados de referência técnica estabelecidos pela Engenharia Vale. Estas referências foram calculadas com base em dados técnicos disponíveis em manuais de referência Vale, e em dados de capacidades nominais dos equipamentos disponibilizados nos manuais dos fabricantes.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Proposta de Modelo do Banco de Dados

O banco de dados implementado, apresentado na Figura 11, mostra-se capaz de suportar as demandas operacionais para análise das informações em tempo real e para consulta e verificação dos resultados históricos. O processo de agrupamento dos dados é eficiente, viabiliza a análise dos dados sem prejuízo a tomada de decisão gerencial. Na sequência detalhes sobre a estrutura de banco de dados serão apresentados.

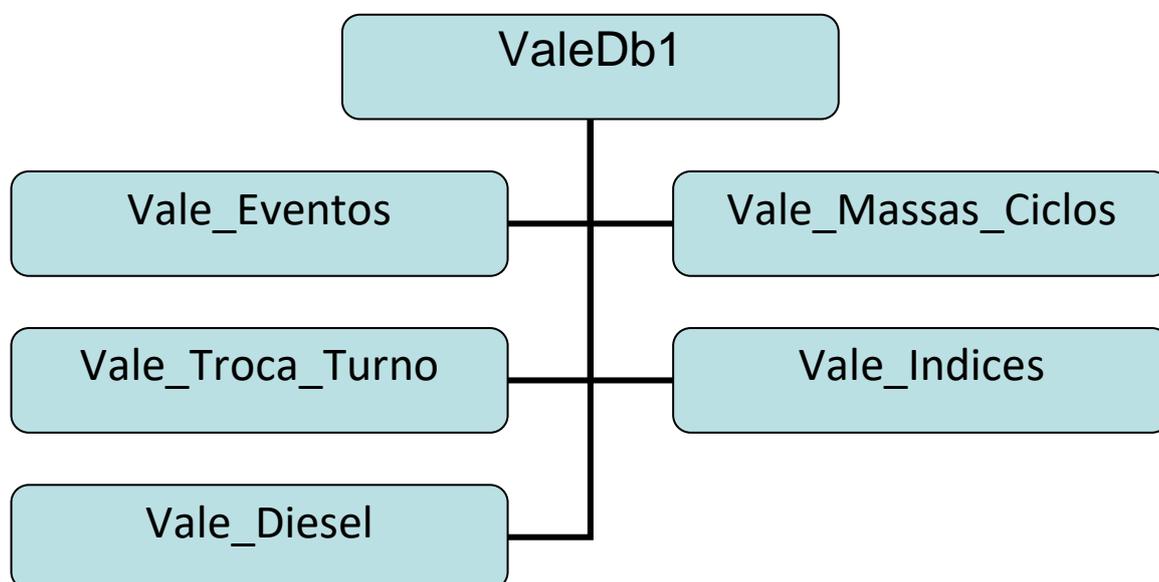


Figura 11 - Tabelas do Banco de Dados Consolidado com as 5 tabelas criadas para armazenamento das informações consolidadas.

O banco de dados nomeado de ValeDb1 está dividido em 5 tabelas, todas as tabelas armazenam as informações relativas ao período (*timestamp*) em que o dado foi coletado. Este modelo, com redundância de informação sobre o *timestamp* foi escolhido para possibilitar a criação de cubos OLAP em *Microsoft Sql Sever / Report Server* para análise de dados em plataforma Excel.

As cinco tabelas criadas contemplam os dados necessários para os cálculos dos indicadores mapeado como prioritários pelos usuários e clientes do sistema: operadores, técnicos, supervisores, engenheiros e gerentes.

As informações referentes aos períodos que são comuns as 5 tabelas no banco de dados, podem ser visualizadas na Figura 12. Todas as tabelas se

relacionam de forma N para N através destes campos, desta forma, permitem a criação de queries capazes de cruzar as informações conforme demanda de análise em função da constante variação do cenário operacional em uma mina.

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>
ID	Código do turno (numérico, chave primária)
ShiftId	Nomenclatura do turno (string, aaaa-mm-dd turno)
Ano	Ano com 4 dígitos (numérico)
Trimestre	Trimestre (numérico)
Mês	Mês (string)
Mês#	Mês (numérico)
Semana	Semana (numérico)
Dia	Dia (numérico)
Turno	Noite, Madrugada, Dia, Tarde (string)
Turno#	1,2,3,4 (numérico)
Letra	A,B,C,D,E (string)

Figura 12 - Campos de período dos dados. Utilizados nas 5 tabelas existentes no banco consolidado garantindo o relacionamento entre as tabelas.

Os principais dados armazenados em cada tabela podem ser vistos na Figura 13 de forma resumida.

<b>Tabela</b>	<b>Descrição</b>
Vale_Eventos	Tabela para armazenamento das horas alocadas por equipamento/razão conforme tabela de razões existentes no sistema.
Vale_Indices	Tabela calculada conforme razões alocadas na tabela Vale_Eventos, dados subdivididos em categorias para cálculo dos indicadores baseados em horas.
Vale_Massa_Ciclos	Tabela para armazenamento dos ciclos de carga e transporte dos equipamentos e dos valores de massa transportados com origem e destino.
Vale_Troca_Turno	Tabela calculada conforme razão de Troca de Turno alocada na tabela Vale_Eventos, dados estratificados em eventos de início e fim de turno.
Vale_Diesel	Tabela para consolidação dos dados do consumo de diesel por equipamento.

Figura 13 - Descrição das tabelas do banco Vale\_Db1. Estruturas de dados padronizadas para campos de períodos e customizadas conforme foco de armazenamento padronizado dos dados.

## **4.2 Implementação do Sistema de Relatórios Web**

O sistema de Relatórios Web batizado de SIAM (Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina), foi desenvolvido e implementado no Complexo de Mariana. A ferramenta visualiza de forma prática os dados de operação em tempo real através de painéis de fácil acesso.

Os relatórios foram desenvolvidos com base no método Toyota de Produção, e permitem a identificação das condições normais x anormais em três segundos para controle dos desvios operacionais, pelas equipes de mina nos diferentes níveis hierárquicos propostos pelo projeto.

O sistema apresenta focos distintos para análise de dados, apesar de possuir um menu integrado e único onde todos os relatórios estão acessíveis e disponíveis em um mesmo ambiente. As equipes técnicas de sala de controle e de mina receberam treinamentos sobre como utilizar os relatórios de que forma sequencial, distribuídos para propiciar uma análise contínua dos desvios operacionais identificados. Após a identificação dos desvios, as equipes seguem o fluxo estabelecido pelo OCAP da cadeia de ajuda para correção e eliminação dos problemas.



Figura 14 - Layout Sistema SIAM – Menu Supervisor para acesso aos relatórios de tomada de decisão em tempo real e informações históricas, menu único e consolidado para os relatórios existentes na plataforma.

Todos os relatórios do sistema seguem o padrão VPS estabelecido, o esquema de cores adotado é empregado de forma a permitir a identificação dos desvios em 3 segundos. A Figura 15 mostra os relatórios de Tempos Fixos do Complexo Mariana e exemplifica como os indicadores são visualizados e tratados através das Condições Normal x Anormal.

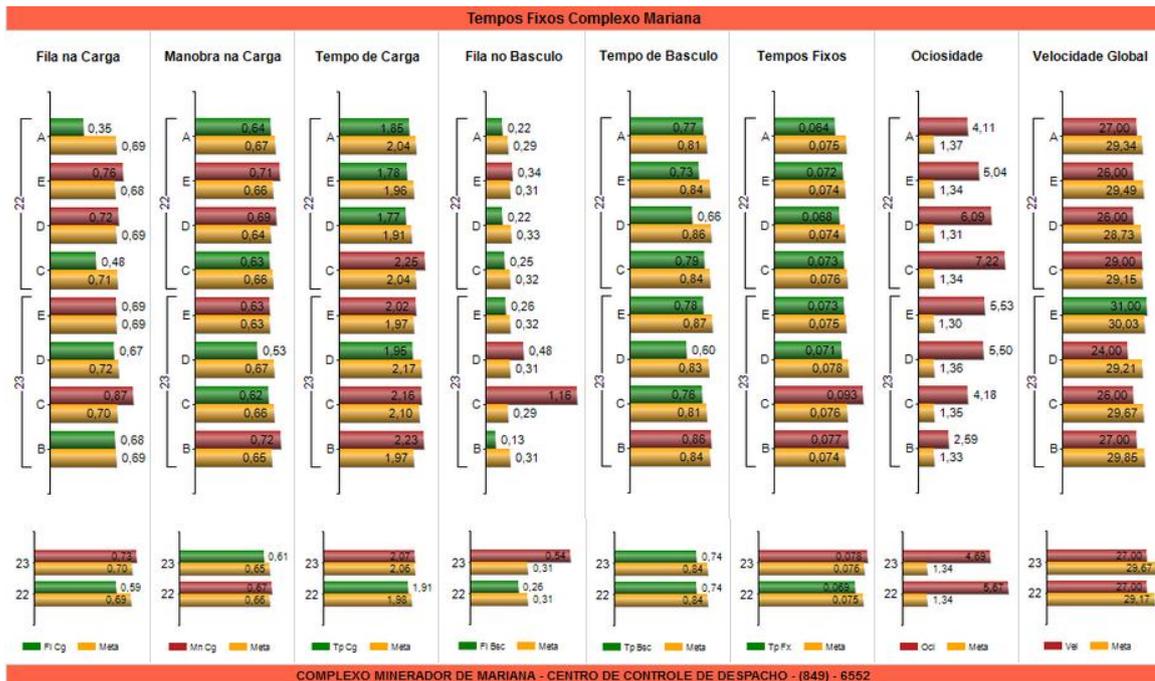


Figura 15 - Painel Perfil Tempos Fixos Complexo Mariana. Exemplificação da Condição Normal x Anormal e Metas através do sistema de cores definido pela metodologia VPS

#### 4.2.1 Sistema de Relatórios: Focos de Análise

O sistema desenvolvido possui um único menu com áreas distintas de análise de dados. A Figura 16 mostra o foco de análise dos turnos, para estes relatórios mostra-se um período de dados fixo com objetivo de corrigir os desvios operacionais do turno atual e também permitindo o acompanhamento dos resultados do dia atual e do dia anterior. Assim as equipes podem observar o comportamento de melhora ou de piora dos resultados operacionais em função das condições climáticas da mina e da disponibilidade física de equipamentos em função de eventos de manutenção e ou perdas internas com horas de equipamentos parados.

A divisão dos relatórios ocorre em função das minas em operação no Complexo Mariana e em função do tamanho dos equipamentos, e são divididos em dois grupos:

- Grande Porte (equipamentos fora de estrada)
- Pequeno Porte (equipamentos rodoviários).

MENU DO SUPERVISOR DE MINA - CENTRO DE CONTROLE DE OPERAÇÕES COMPLEXO MARIANA

KPI'S DE MINA / TURNOS - Suporte: 849 - 6552

ALEGRIA GP	PRODUTO	FÁBRICA NOVA PP	FÁBRICA NOVA GP	FAZENDÃO GP	TIMBOPEBA GP
ICDS CARGA					
ICDS TRANSPORTE					
MOVIMENTAÇÃO	MOVIMENTAÇÃO	MOVIMENTAÇÃO	MOVIMENTAÇÃO	MOVIMENTAÇÃO	MOVIMENTAÇÃO
MOVIMENTAÇÃO TURMA					
TEMPOS FIXOS					
PARETO HII CARGA					
PARETO HII TRANSPORTE					
PERFIL TEMPO FIXO					
VEL. POR FRENTE					
VEL. POR EQUIPAMENTO	VEL. POR EQUIPAMENTO	VEL. POR EQUIPAMENTO	VEL. POR EQPTO	VEL. POR EQPTO	VEL. POR EQPTO

Figura 16 – Menu com foco no resultado do turno e atual, dia atual e dia menos 1, forma padronizada de análise em todas as operações do Complexo Mariana.

A parte inferior do menu SIAM é subdividida em várias seções, sendo as principais:

- Indicadores Mensais.
- Custo (Controle de Consumo de Diesel).
- Relatórios Georeferenciados.
- Pesagem (Funcionamento das Balanças Embarcadas dos Caminhões).
- Relatórios de Distância Média de Transporte.
- Relatórios da Manutenção.
- Relatórios de Inconsistências de dados (check de integridade das informações).

Os relatórios destas seções também seguem o padrão VPS, mas possuem foco de análises em outras variáveis que compõe a rotina da operação de mina. Os períodos de análise são mais extensos sendo alguns relatórios mensais e outros trimestrais ou anuais com foco em análise de processo e na performance das

peças (operadores de equipamentos), a tabela 3 traz um resumo dos principais relatórios e os indicadores que são objeto de controle de cada um deles.

Relatório	Descrição
Consolidados	Movimentação diária das minas do Complexo Mariana.
Sumários	Relatórios sumarizados para controle da razão de estado atual de cada equipamento
Perfil Tp Fixos	Relatório Sumarizado com os tempos fixos consolidados de todas as operações Mariana (foco gerencial).
Velocidade por Mina	Relatório Sumarizado com as velocidades consolidados por pit operacional (foco gerencial).
Pareto HII Mensal	Pareto com perfil de perdas de horas improdutivas por pit operacional/porte de equipamentos.
Perfil De Cargas	Relatórios com índice percentual de funcionamento das balanças embarcadas dos caminhões (controle de carga média).
Eqptos Manutenção	Relatório com lista de equipamentos em manutenção e motivo gerador da parada.
DMT Classes	Relatório com as distâncias médias de transporte ponderadas pela massa total transportada, subdividido por classe de materiais (minério, estéril e outras movimentações).
HT/Prod operadores	Relatório trimestral com o total de horas e produtividade (tonelada/hora) por operador.

Tabela 3 – Relatórios SIAM e suas funcionalidades

### 4.3 Estudo de Caso – Complexo Mariana

Para demonstração dos resultados do estudo sobre a Otimização<sup>3</sup>, visando comprovar o efeito positivo nos KPIs através do sistema rodando em modo automático, foi estabelecido um período de 13 meses, compreendido entre os meses de outubro de 2014 e outubro de 2015. O período foi determinado em função da

<sup>3</sup> Processo onde através do algoritmo e da parametrização de valores de referência e restrições, o sistema de despacho “decide” em qual escavadeira um caminhão será alocado ao finalizar o ciclo corrente.

ocorrência do acidente com a barragem Samarco em Mariana, de forma que este não distorça os resultados.

Os resultados do estudo de caso mostram grande evolução nos indicadores de Tempos Fixos do Complexo Mariana (Figura 18). O gráfico de evolução do uso da otimização demonstrado na Figura 17 mostra o percentual do uso do sistema *Dispatch 6* em modo automático concomitante ao uso as ferramentas propostas neste trabalho.

Podemos observar que com maiores percentuais de uso da otimização e com os valores alcançando patamar estável a partir do mês de Janeiro/2015 os resultados de tempo fixo apresentam sensível redução nos valores nominais. No mês de maio/2015 o indicador encontra seu ponto de equilíbrio alcançando nominalmente os valores de Tempo Fixo Referência estabelecido pela Engenharia de Equipamentos Móveis da Vale. A estabilidade do processo alinhado a um melhor controle das variáveis possibilitado pela padronização dos relatórios e acompanhamento dos resultados em tempo real possibilitou não apenas atingir a meta, mas também superar os valores de referência técnica, estabelecendo assim um novo valor com benchmarking para as frotas em operação no Complexo Minerador de Mariana.

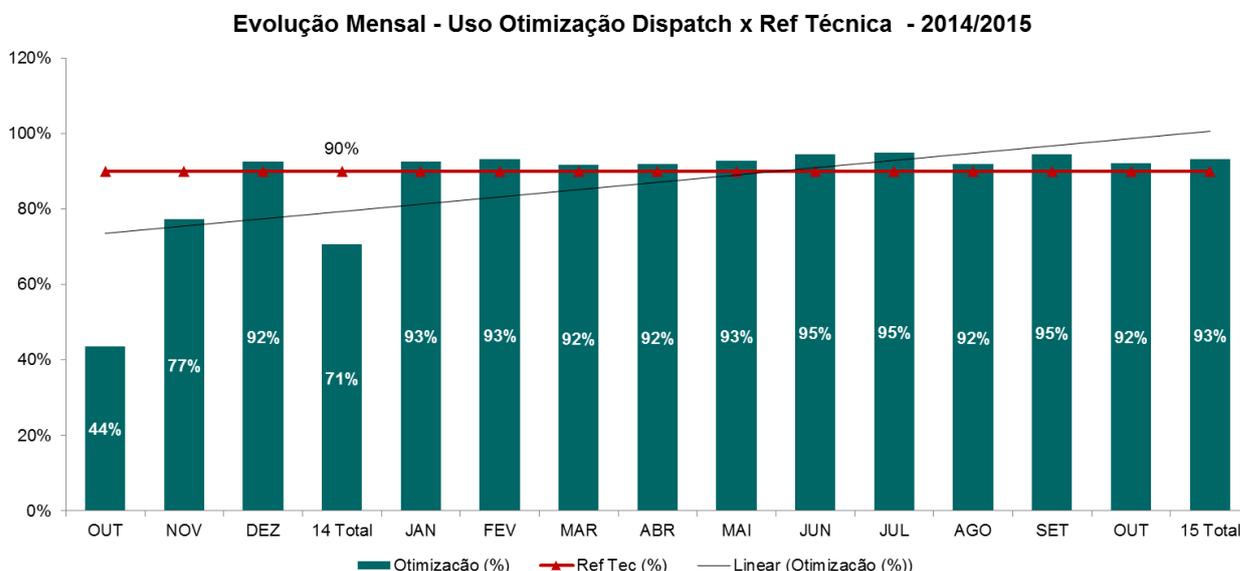


Figura 17 - Gráfico de Evolução do uso da otimização do Dispatch 6.- Complexo Mariana. O uso contínuo do sistema em modo automático possibilita uma maior assertividade na tomada de decisão do algoritmo impactando diretamente na redução dos tempos fixos

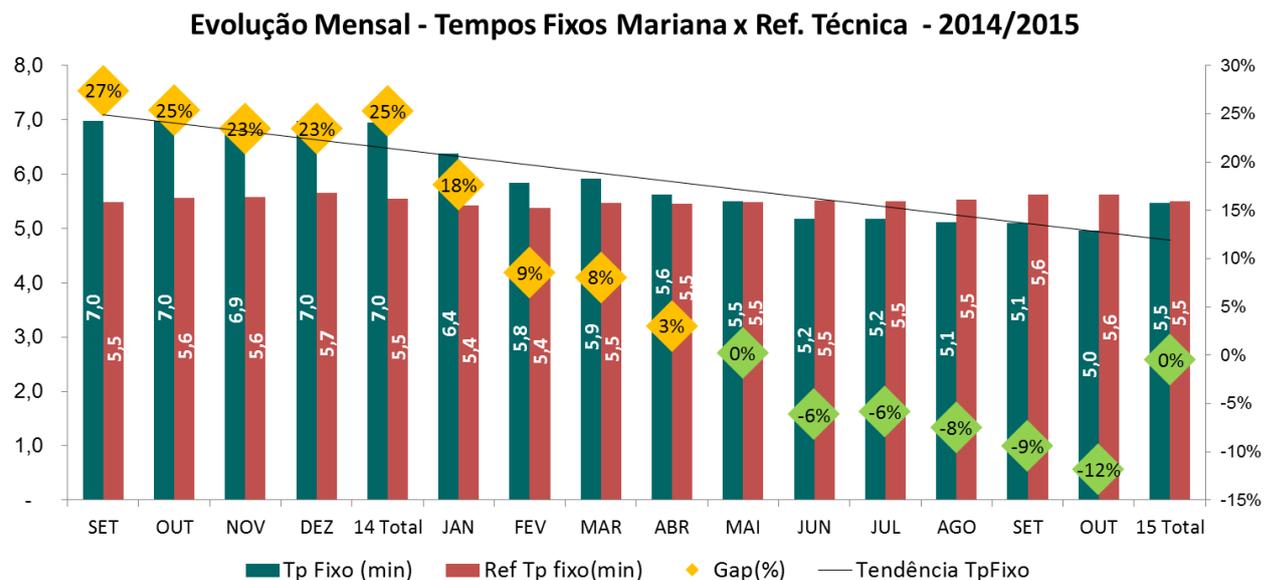


Figura 18 - Evolução Tempos Fixos no Complexo Mariana

Uma segunda análise dos indicadores de Tempos Fixos do Complexo Mariana foi realizada em paralelo aos indicadores das Minas de Itabira e Brucutu.

A Figura 19, em uma análise preliminar mostra que as minas de Fazendão, Alegria e Fábrica Nova que pertencem ao Complexo Mariana apresentam indicadores melhores que as Minas de Itabira e Brucutu. Uma das causas possíveis é a falta de um sistema de gestão, que permita a identificação dos desvios e correção dos indicadores, no mesmo nível realizado pelo SIAM no Complexo de Mariana.

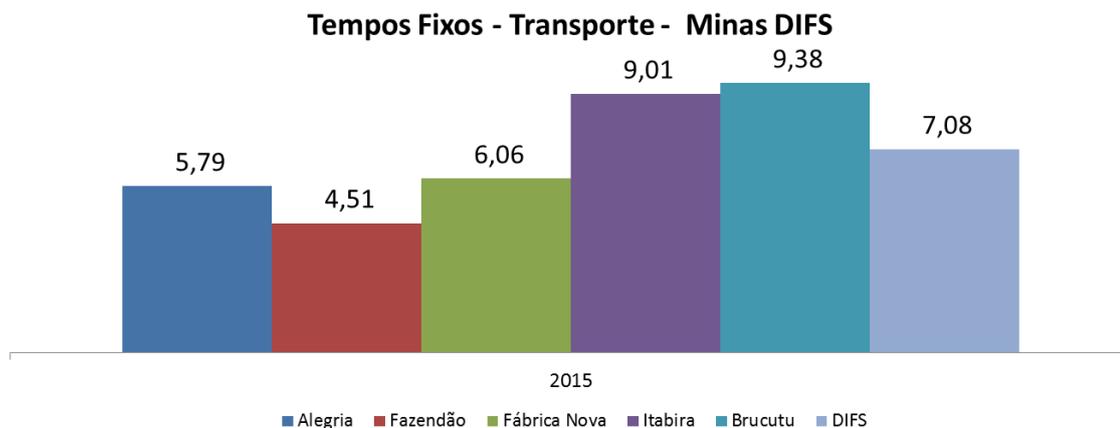


Figura 19 - Resultados Tempos Fixos – Minas da Diretoria de Ferrosos Sudeste com diferença significativa entre os valores nominais apresentados nas minas de Brucutu e Itabira

Reforçando a tese em torno da eficiência da proposta de um Modelo de Gestão, podemos verificar na Figura 20 o cenário anterior ao desenvolvimento e uso das ferramentas propostas no trabalho para o Complexo Mariana, em comparação ao Complexo de Itabira e Brucutu. Os valores permanecem em patamar similar para os Complexos que não possuem a ferramenta para gestão dos resultados, enquanto isso o Complexo de Mariana apresentou uma evolução 25% no acumulado do ano de 2015, igualando a Referência Técnica estipulada pelo estudo de engenharia com base nas informações dos fabricantes dos equipamentos (Caterpillar,2009).

Os dados mostram que o acompanhamento dos resultados em tempo real com uso da metodologia VPS propiciam um padrão capaz de não só corrigir desvios operacionais mais também de maximizar a capacidade produtiva dos equipamentos, superando inclusive as referências internas (Vale) e externas (benchmarking) dos fabricantes.

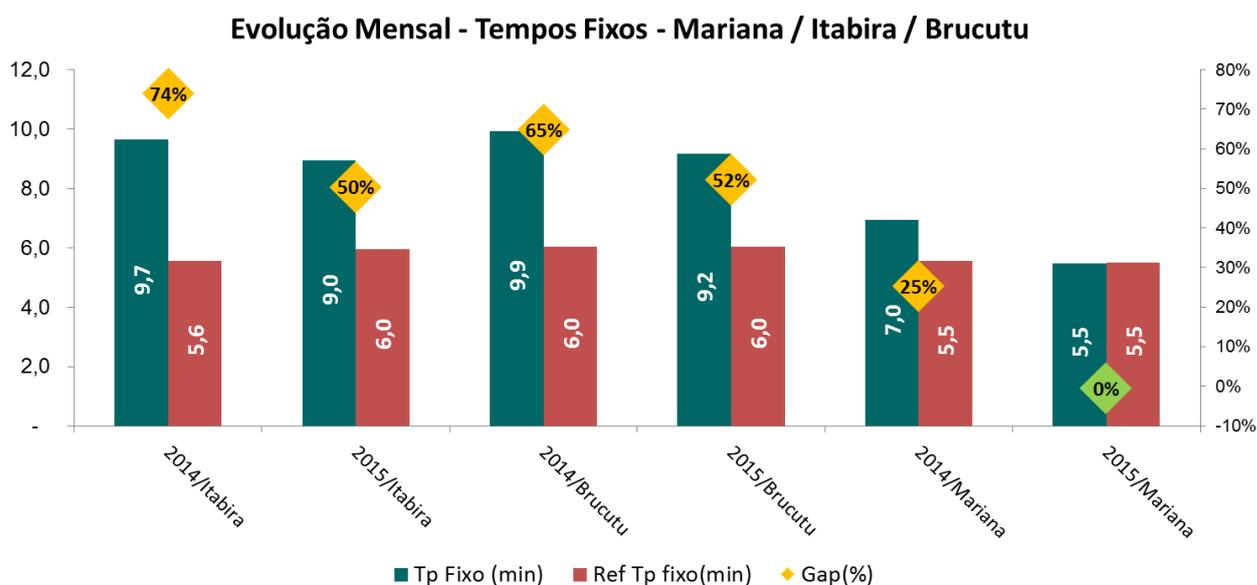


Figura 20 – Resultado dos Tempos Fixos no período de 13 meses em Ferrosos Sudeste, ênfase ao resultado do Complexo Mariana, única mina a alcançar a referência técnica estipula pela engenharia Vale com base nas capacidades nominais dos equipamentos informados pelos Fabricantes.

### 4.3.1 Estudo de Caso – Análises Estatísticas

No intuito de fundamentar o efeito do algoritmo de otimização na redução dos tempos fixos foram efetuadas análises de correção do percentual de uso do sistema em modo otimizado em relação aos indicadores de Tempo Fixo, Fila na Carga e Fila no Basculo. As análises, entretanto, mostram variações na correlação entre os

indicadores analisados, e ambos mostram correlação negativa, ou seja, quando maior a otimização menor o resultado dos indicadores. Os resultados reforçam ainda mais a necessidade do sistema de gestão e da necessidade do acompanhamento em tempo real do indicadores, já quanto a eficiência da otimização acredito que a expressão em inglês utilizada para desenvolvimento de sistemas “garbage in, garbage out’ pode ajudar a esclarecer um pouco o cenário, para que a otimização funcione bem é fundamental a entrada dos parâmetros operacionais em condição ideal, ou seja, se o sistema recebe indicadores com valores altos, fora das referências técnicas a tomada de decisão irá incorporar o “erro” dos valores de entrada, este tópico será melhor discutido na conclusão deste trabalho. Os dados foram agrupados mensalmente conforme Tabela 4 para análise no Minitab e produziram os seguintes resultados:

#### **Análise 1 - Correlations: Otimização (%); TempoFixo (Min)**

Pearson correlation of Otimização (%) and TempoFixo (Min) = -0,599  
P-Value = 0,030

#### **Análise 2 - Correlations: Otimização (%); FilaCarga(min)**

Pearson correlation of Otimização (%) and FilaCarga (min) = -0,643  
P-Value = 0,018

#### **Análise 3 - Correlations: Otimização (%); Fila Basculo(Min)**

Pearson correlation of Otimização (%) and Fila Basculo (Min) = -0,472  
P-Value = 0,104

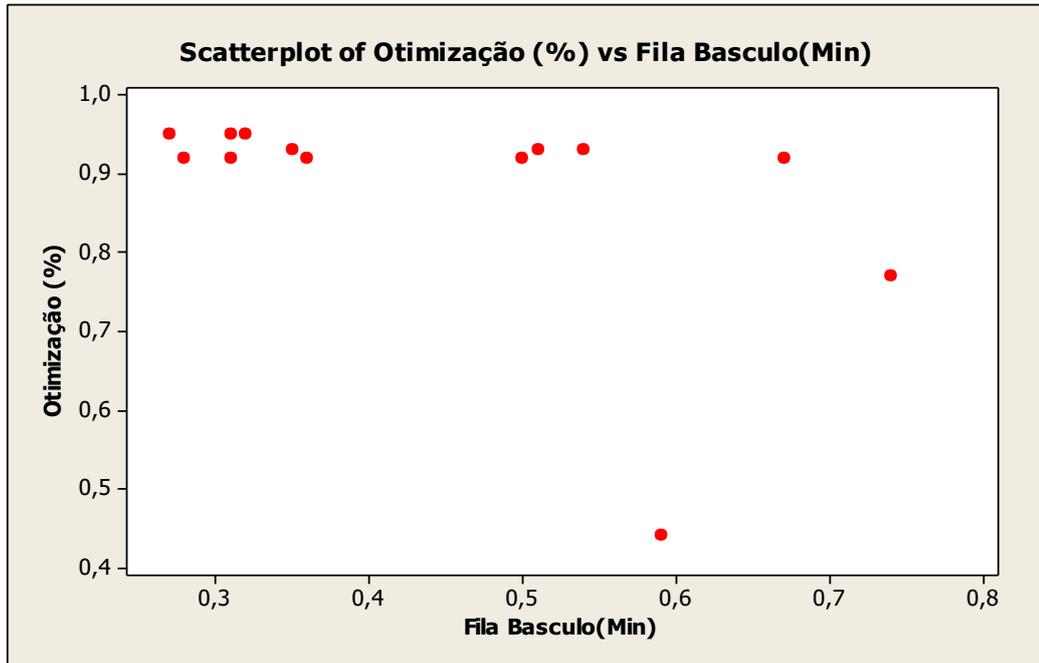


Figura 21-Gráfico Scatterplot – Otimização x Fila no Basculo

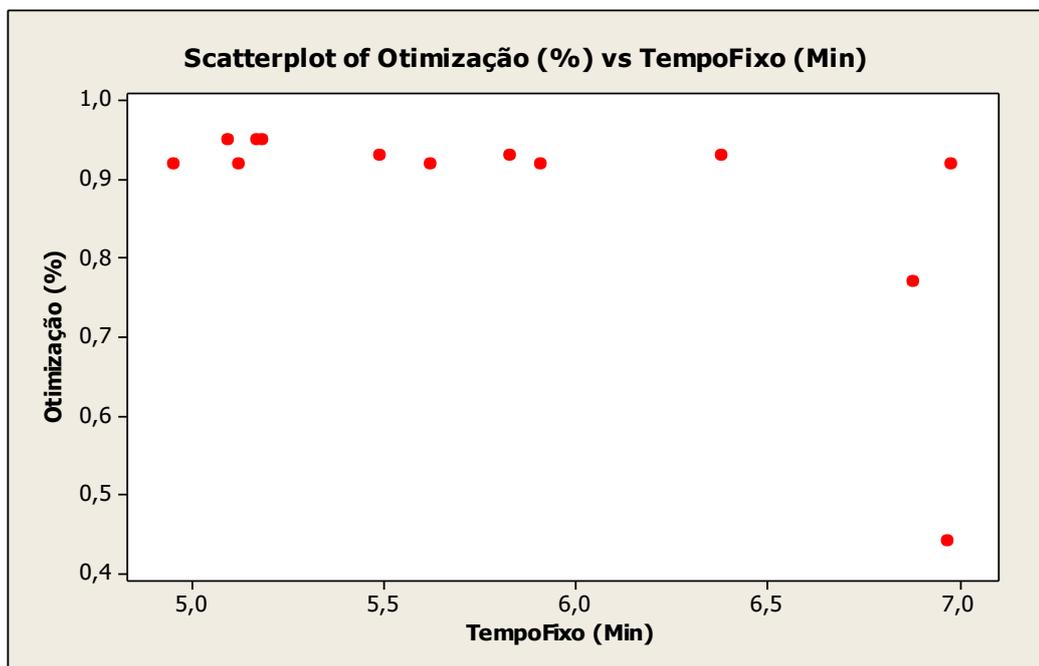


Figura 22 – Gráfico Scatterplot – Otimização x Tempo Fixo

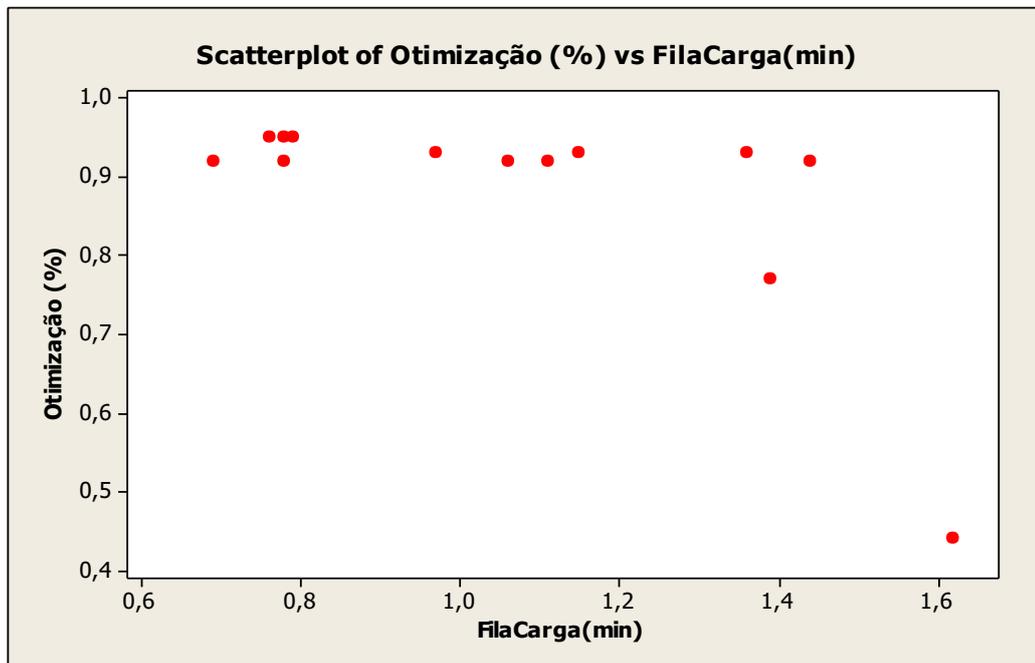


Figura 23 – Gráfico Scatterplot – Otimização x Fila na Carga

Mês/Ano	Otimização (%)	TempoFixo (Min)	FilaCarga(min)	Fila Basculo(Min)
out/14	44%	6,97	1,62	0,59
nov/14	77%	6,88	1,39	0,74
dez/14	92%	6,98	1,44	0,67
jan/15	93%	6,38	1,36	0,54
fev/15	93%	5,83	1,15	0,51
mar/15	92%	5,91	1,11	0,50
abr/15	92%	5,62	1,06	0,36
mai/15	93%	5,49	0,97	0,35
jun/15	95%	5,17	0,78	0,31
jul/15	95%	5,18	0,79	0,32
ago/15	92%	5,12	0,78	0,31
set/15	95%	5,09	0,76	0,27
out/15	92%	4,95	0,69	0,28

Tabela 4 - Valores de Tempos Fixos, Fila na Carga, Fila no Basculo e Uso de Otimização. Série histórica para os valores de otimização, fila na carga, final no basculo e tempos fixos do Complexo Mariana compreendido entre os períodos de outubro/2014 a outubro/2015.

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho trazem uma abordagem prática de como a gestão de indicadores e o uso da informação de sistemas de controle de operação de mina podem influenciar e maximizar os resultados.

O trabalho traz também uma abordagem prática da metodologia VPS (Vale Production System) baseado no TPS (Toyota Production System), sendo este um conceito inovador no que tange a gestão dos ativos de mina envolvendo as operações de carga, transporte e infraestrutura de uma mina de minério de ferro com lavra a céu-aberto. Sendo neste quesito um trabalho inovador, elucidando como a difundida metodologia Toyota pode ser aplicada no dia a dia da mineração.

A implantação do banco de dados consolidado baseado nas necessidades das equipes operação de mina, e a elaboração de uma ferramenta de gestão por resultados permitem o acompanhamento em tempo real das principais KPIs como: produtividade, disponibilidade e utilização. Consequentemente possibilitaram redução nos custos das atividades de extração, carga e transporte de minério de ferro.

O desenvolvimento de um modelo de gestão baseado em pessoas como principal pilar, permitiu implementação não de um sistema apenas, mas a criação de uma “cultura” onde as equipes se sentem donas do processo. Os indicadores passam a ser públicos e de conhecimento de todos os níveis hierárquicos da empresa, o foco nas análises em tempo real eliminam a necessidade de análises retroativas. O resultado visto é uma melhora significativa nos padrões de operação, reduzindo o número de desvios e potencializando o alcance das metas e das referências técnicas estabelecidas pelos fabricantes de equipamentos de mineração.

Este trabalho abre amplo espaço para discussões de como a Vale S/A deve gerir as informações de operação de mina. Os dados levantados em outros sites (minas/complexos) mostram falta de padronização na tratativa das informações e nos resultados alcançados, gerando assim diferentes resultados em custos e gastos com as operações. O tema abre espaço para implantação dos COIs (Centro de Operações Integradas) que já é alvo de grandes mineradoras pelo mundo em um esforço para redução nos custos de suas operações, e que recentemente também entrou na pauta da Vale através de iniciativa da Diretoria Executiva de Ferrosos.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho podem ser divididos em 3 tópicos, sendo que as fases de desenvolvimento do sistema de banco de dados e de relatórios correram dentro do esperado, já o escopo de otimização trouxe uma reflexão sobre a importância de se analisar e parametrizar o sistema de maneira correta.

### 6.1 Proposta de método para avaliação da eficiência do algoritmo de otimização

Os algoritmos de otimização mostram-se capazes de realizar as designações dos equipamentos de forma correta, automatizando assim o processo de tomada de decisão, entretanto pode-se concluir também que os mesmos dependem do *input* correto dos parâmetros operacionais.

A análise correta dos dados e a tomada de decisão e tempo real propiciam uma correta definição dos parâmetros operacionais dos equipamentos de mina e conseqüentemente a lógica do sistema ao processar informações mais precisas de produtividade, taxa de escavação, velocidade, tempos fixos e outras variáveis que compõe a alimentação do algoritmo levam a decisão mais assertiva e a indicadores dentro das metas esperadas.

A expressão utilizada pela IBM “Garbage in, garbage Out” (GIGO) reflete bem este cenário, apesar de eficiente o algoritmo do sistema irá ampliar os erros ou gerar saídas equivocadas produzindo filas e perda de produtividade se os valores de input e execução (retroalimentação) não estiverem parametrizados de maneira correta.

A implementação de um modelo de gestão propicia a correção dos desvios em um menor tempo que o modelo anterior (dia menos 1) e conseqüentemente faz com que o sistema produza saídas mais consistentes com a realidade operacional, permitindo os gestores e as equipes de campo identificar e corrigir os desvios em menor tempo.

## **6.2 Sistema de relatórios web e base de dados relacional**

O desenvolvimento da base de dados relacional e do sistema de relatório web mostram-se fundamental para os resultados alcançados, o grande nível de complexidade da base de dados dos fornecedores de sistema de despacho limita a capacidade de análise das equipes de mina em função do nível de exigência de conhecimentos avançados em TI para extração das informações.

O modelo de dados proposto agrupa e realiza uma pré configuração com os indicadores e variáveis chaves em uma operação de mina a céu-aberto permitindo aos gestores ver a informação em tempo real em painéis online pré-definidos, ou realizar análise em ferramentas *OLAP* como o Microsoft Excel com exigência bem menor de conhecimento de *TI*, permitindo assim foco no negócio de minério de ferro e nas atividades de extração, carga e transporte de minério de ferro.

## **6.3 Metodologia VPS/TPS (Condição Normal x Anormal)**

A implementação da metodologia possibilitou a união entre a realidade operacional e as tecnologias já existentes na mina através da democratização das atividades. As metas antes comuns aos gestores passaram a ter alcance de toda a equipe, a realização dos *kaisen's* com a tomada de decisão em tempo real permitiu a inclusão da base (operadores) na rotina diária de identificação de desvios e propostas de melhorias.

A implementação da condição normal x anormal associada a valores de referência permite que 100% da equipe identifique um desvio e atue de imediato em sua correção, seja solicitando a mesma a equipe e ou gestor responsável, ou atuando de imediato quando esta está dentro do seu processo de atuação.

O conhecimento das metas através das ferramentas criadas permitiu um cenário “saudável” de competição entre as equipes, a busca pelas metas individuais e pelo atingimento as referências técnicas estipuladas levaram ao atingimento das

metas coletivas, e conseqüentemente a um melhor resultado para corporação e para os empregados como um todo.

## REFERÊNCIAS

- CATERPILLAR. **A reference Guide to mining machine applications**. Field Guide 2009.
- MODULAR MINING SYSTEM. **Manual de treinamento ciclo de carga, transporte e basculo**, 2005. (Complexo Mariana).
- RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual Prático de Escavação: terraplenagem e escavação derocha**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Pini, 2007.
- CBMINA, Thiago Nardy. **Aumento de Produtividade da Frota de Transporte – Mina de Fábrica Nova**, Mariana, 2009. (Vale Complexo Mariana).
- Costa, F. P. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavras em mina a céu aberto**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2005.
- Alvarenga, G. B. **Despacho ótimo de caminhões numa mineração de ferro utilizando algoritmo genético com processamento paralelo**. 1997. Dissertação Belo Horizonte, MG, Brasil: Master's thesis.
- Coelho, C. A., Lamont, G. B., & Veldhuizen, D. A. (2007). Evolutionary Algorithms for solving Multi-Objective Problems. Springer.
- Krause, A., & Musingwini, C. (2007). Modelling open pit shovel-truck systems using the Machine Repair Model. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Moraes, E. F., Alves, J. M., Souza, M. J., Cabral, I. E., & Martins, A. X. (2006). Um modelo de programação matemática para otimizar a composição de lotes de minério de ferro da mina Cauê da CVRD. Revista da Escola de Minas, 299-306.
- Pinto, E. B. (2007). Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes. Belo Horizonte, MG, Brasil: Departamento de Engenharia de Produção - Escola de Engenharia - UFMG.
- Manzano, Jose Augusto N. G., SQL Server 2008 R2 - Guia Prático. Editora Érica, 2010.
- FUJIMOTO, T. The Evolution of a Manufacturing System at Toyota. New York: Oxford University Press, 1999.