

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE DIESEL NA FROTA DE TRANSPORTE DO COMPLEXO MARIANA*

Antônio Vitor Magalhães Cota¹
Luana Lessa Pacheco²

Resumo

Com a queda brusca nos preços das commodities, os termos redução de custos e maior produtividade tornaram-se assuntos constantemente abordados no cotidiano das empresas, pois esses fatores representam questão de sobrevivência das, a busca por melhorar continuamente os nossos processos em prol de garantir espaço no mercado é uma realidade e necessidade, com isto é importante que as empresas conheçam detalhadamente os seus processos e tenham maturidade para tomar decisões baseadas em dados e fatos. Assim, este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia Seis Sigma para investigar quais são as variáveis que mais influenciam no processo de transporte, realizado por caminhões grande porte, aumentando o seu consumo específico de diesel, que é o segundo maior gasto de uma empresa de mineração na cidade de Mariana MG. A meta do projeto era reduzir o consumo de diesel na frota de transporte grande porte em 7,4%, saindo de 0,32 l/t (média realizada de fev/16 a jan/17) para 0,30 até fevereiro de 2018, com uma estimativa de ganho de R\$ 4.2 Milhões. Os resultados alcançados superaram a meta estabelecida, chegando a 10% de redução do consumo específico de diesel, totalizando um ganho de real projetado de R\$ 6,4 Milhões, além da redução de 1.710,52 t de CO₂ na atmosfera.

Palavras-chave: Caminhões Grande Porte; Consumo Específico de Diesel; Seis Sigma.

REDUCTION IN DIESEL CONSUMPTION IN THE LARGE-SCALE FLEET OF THE MARIANA COMPLEX

Abstract

With the sharp fall in commodity prices, the terms cost reduction and higher productivity have become subjects that are constantly addressed in the daily life of companies, since these factors represent a question of survival of the organizations. To achieve this, the search for continuous improvement of our processes in order to guarantee space in the market is a reality and necessity, so it is important that companies know their processes in detail and have the maturity to make decisions based on data and facts. Thus, this work aims to apply the Six Sigma methodology to investigate which are the variables that most influence the transportation process, carried out by large trucks, increasing their specific consumption of diesel, which is the second largest expense of a company. mining in the city of Mariana MG. The goal of the project was to reduce diesel consumption in the large transport fleet by 7.4%, from 0.32 l / t (average carried out from Feb / 16 to Jan / 17) to 0.30 by February 2018 , with an estimated gain of R \$ 4.2 million. The results achieved exceeded the established target, reaching a 10% reduction in specific diesel consumption, totaling a projected real gain of R \$ 6.4 Million, in addition to the reduction of 1,710.52 t of CO₂ in the atmosphere.

Keywords: Trucks Large size; specific diesel consumption; Six Sigma

¹ Engenheiro de Produção, Analista Operacional, Gerência de Operação de Mina Mariana, Vale S/A, Mariana, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheira de Minas, Engenheira, Gerência de Planejamento Curto Prazo Mariana, Vale S/A, Mariana, Minas Gerais, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

Em um cenário de incerteza nos preços das *commodities* torna-se necessário cada vez mais projetos que visem a redução de custos. A unidade operacional neste projeto está situada no município de Mariana/MG e contempla uma das grandes mineradoras do mercado mundial. O processo produtivo em estudo tem capacidade de movimentação de minério e estéril de aproximadamente 100 milhões de toneladas/ano, para uma produção de aproximadamente 28 milhões de toneladas de minério de ferro.

Sabe-se que o processo de carregamento e transporte tem grande efeito no desempenho econômico de uma mina, uma vez que, envolve um alto custo de capital investido e custo operacional (QUEVEDO, 2009, apud BORGES, 2013). Sendo assim tornam-se o foco de melhorias com o objetivo de redução de custos e otimização da frota.

Este projeto vem com a proposta de redução de custos através da redução do consumo de diesel que representa 23% dos gastos totais da unidade. Sendo assim, o seu objetivo principal consiste em aplicar a metodologia Seis Sigma para reduzir o consumo específico de diesel na frota de caminhões grande porte, que representa 30% dos gastos da fase de transporte, definir quais são as variáveis que mais influenciam este processo, e assim reduzir o custo operacional na unidade operacional de Marina. Em prol do alcance desse objetivo principal, têm-se as seguintes atividades: análise estatística do processo (com fatos e dados); identificação das variáveis envolvidas no processo; priorização das principais variáveis; proposta de ações e verificação das ações implementadas.

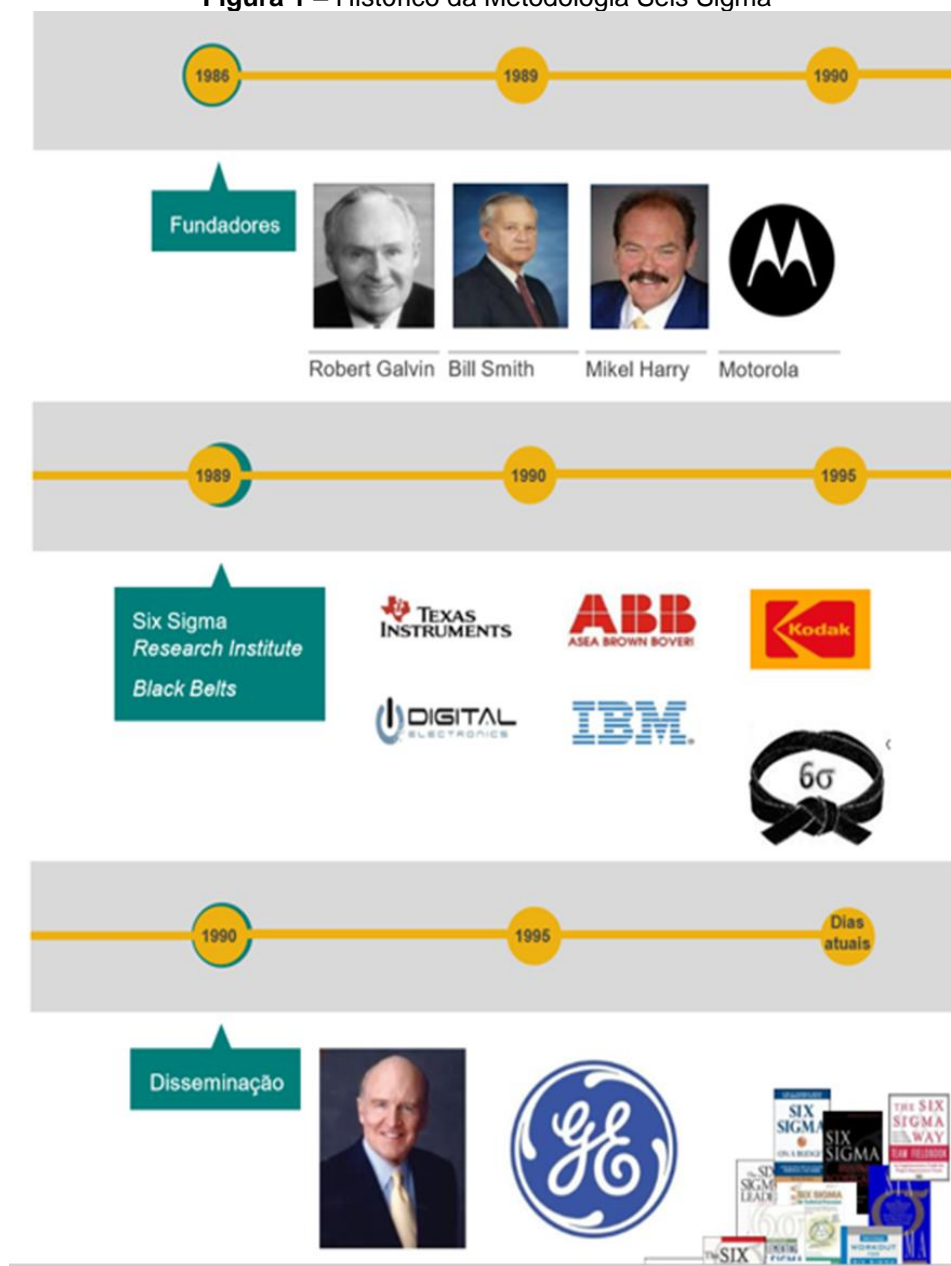
Nesse contexto, a metodologia Seis Sigma, é implementada nas organizações como um programa de qualidade que permite operacionalizar a estratégia empresarial. Os projetos de melhoria dessa metodologia devem estar alinhados com os objetivos do negócio, de modo a contribuir para o desempenho dos critérios competitivos. Do ponto de vista operacional, a metodologia impulsiona a redução da variabilidade e dos defeitos, o aumento da capacidade, e a melhoria contínua dos processos (SANTOS e MARTINS, 2008, apud SILVA E SANTOS, 2017).

2 2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Metodologia Seis Sigma

Seis Sigma ou Six Sigma corresponde a um conjunto de práticas para melhorar, sistematicamente, os processos ao eliminar as ineficiências e não conformidades de produtos e serviços. Tem como objetivo a obtenção de resultados empresariais de forma planejada e clara.

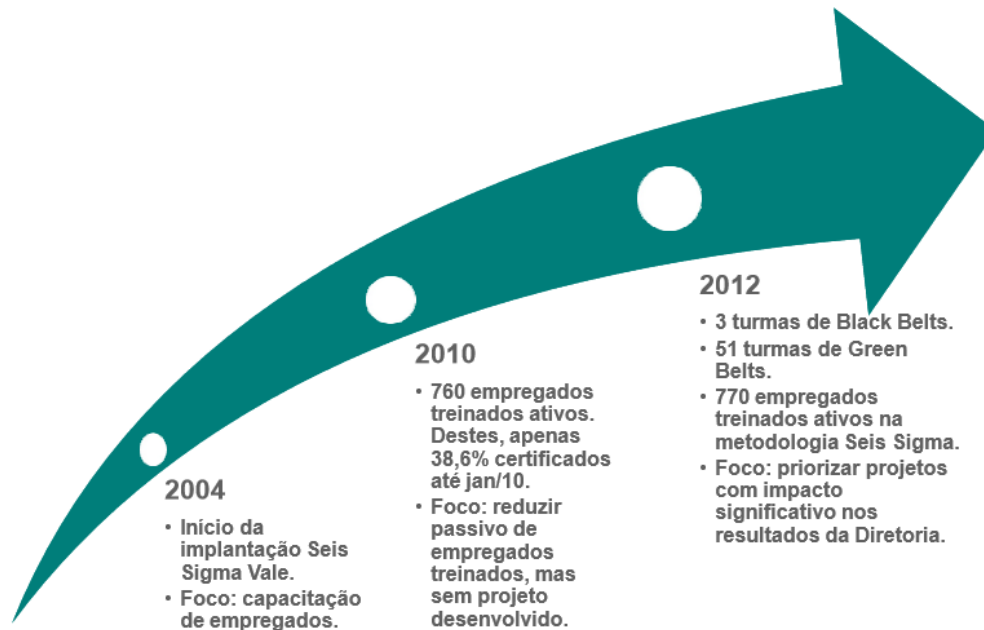
A figura 1 relata o histórico sobre o Seis Sigma, seus fundadores, criação do Six Sigma Research Institute e disseminação da metodologia.

Figura 1 – Histórico da Metodologia Seis Sigma


Fonte: Arquivo interno Vale

A pioneira na implementação do Seis Sigma com tecnologia nacional foi o Grupo Brasmotor que, em 1999, obteve mais de 20 milhões de reais de retorno, a partir dos projetos Seis Sigma (ROSENBURG, 1999, apud MAXIMIANO E TRAD, 2009). Já na empresa Vale o início da implantação do Seis Sigma foi em 2004. A figura 2 mostra a evolução do Seis Sigma dentro da empresa.

Figura 2 – Histórico do Seis Sigma na Vale.

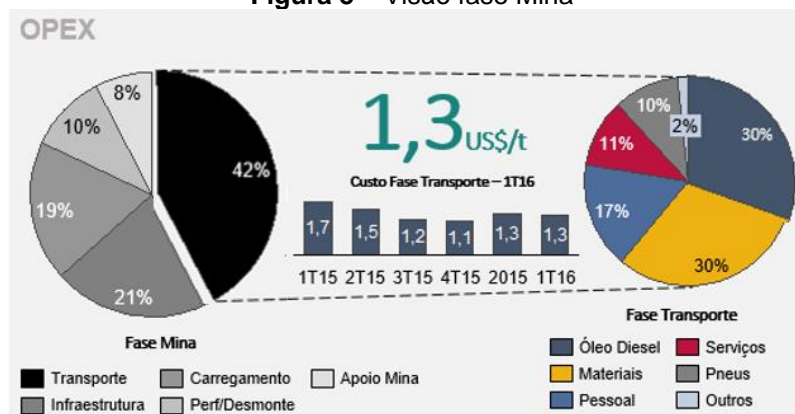


Fonte: Arquivo interno Vale

2.1.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo da pesquisa é uma unidade operacional, localizada na cidade de Mariana, Minas Gerais, de uma mineradora. A empresa, que tem sede no Brasil, foi criada pelo o governo brasileiro em 1942, e hoje, apresenta atuação Global, e está presente em mais de 30 países. A organização exerce atividades relacionadas à mineração, logística, energia, siderurgia e trem de passageiros, sendo que, a mineração, com destaque para o minério de ferro, é o principal negócio da empresa. A unidade de estudo tem como atividade principal a produção do minério de ferro. O processo estudado será a fase mina, especificamente o transporte que apresenta o maior gasto desta fase, conforme podemos visualizar na figura 3.

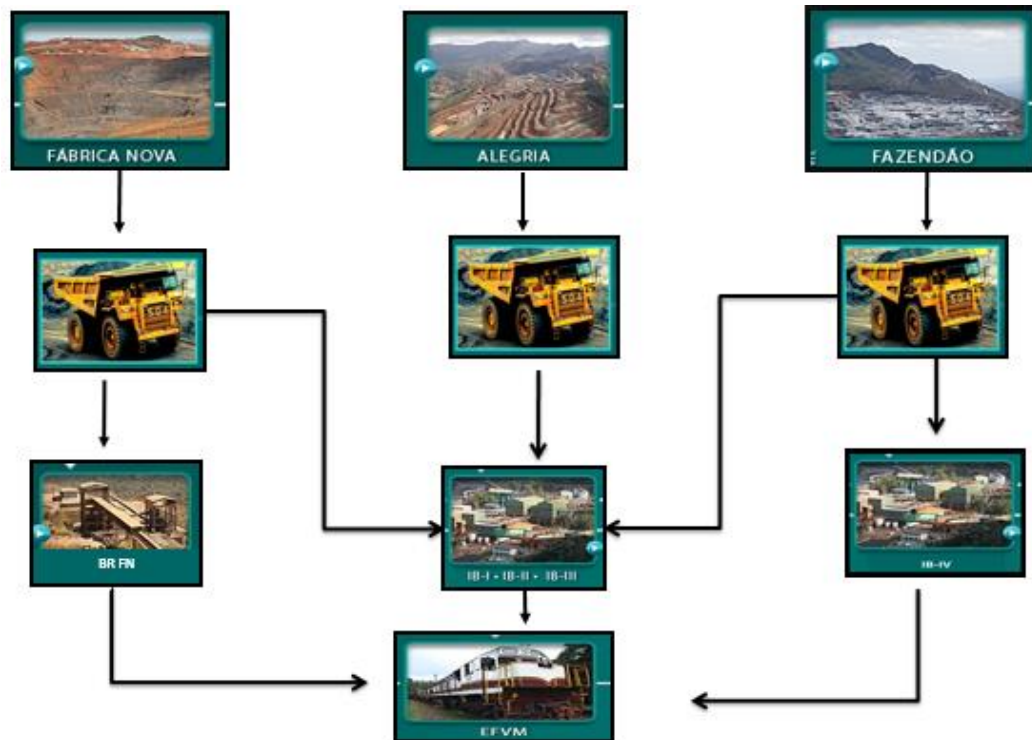
Figura 3 – Visão fase Mina



Fonte: Arquivo interno Vale

Abaixo podemos observar o fluxo operacional na unidade de estudo, que contempla as minas de Alegria, Fábrica Nova e Fazendão, sendo o transporte de estéril e minério realizados por caminhões fora-de-estrada, apresentando também as Usinas de Alegria, Fazendão e Timbopeba. A expedição do produto é realizada pela ferrovia Vitória/Minas.

Figura 4 – Fluxo Operacional das Minas de Mariana.



Fonte: Autoria Própria

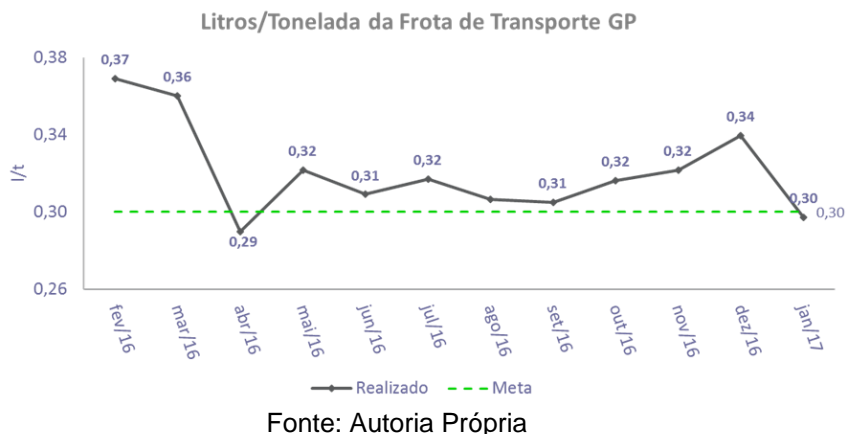
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Identificação do Problema

O trabalho teve como objetivo o aumento da margem líquida da empresa, focado em redução do custo operacional para tal foi realizado um levantamento dos gastos realizados pela Gerencia de Operação de mina Mariana, o qual era representado 23% pelo consumo de óleo diesel, a frota que mais consumia diesel era a frota de transporte grande porte como demonstrado na figura 5, virando assim foco do nosso trabalho. O período analisado para comportamento do indicador foi fevereiro 2016 a janeiro de 2017.

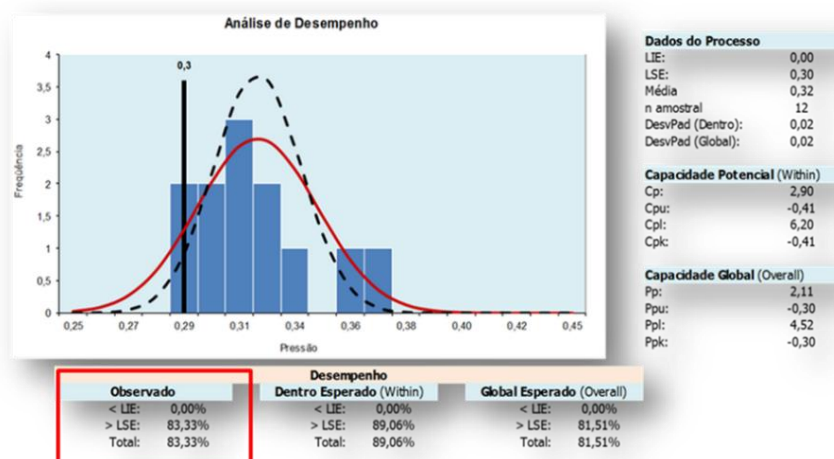
A meta do trabalho foi definida pelo método do quartil, com a proposta de reduzir o consumo de diesel na frota de grande porte em 7,4%, saindo de 0,32 l/t (média realizada de fev/16 a jan/17) para 0,30 até fevereiro de 2018.

Figura 5 – Histórico do consumo específico de óleo diesel na frota de grande porte do Complexo Mariana



Foi aplicado o teste de normalidade e obtivemos um $p\text{Value} = 0,16$, logo os dados seguem uma distribuição normal e após realização da análise de desempenho detectamos que 83,33% dos dados estão acima do limite superior como demonstrado na figura 6.

Figura 6 – Performance do Processo

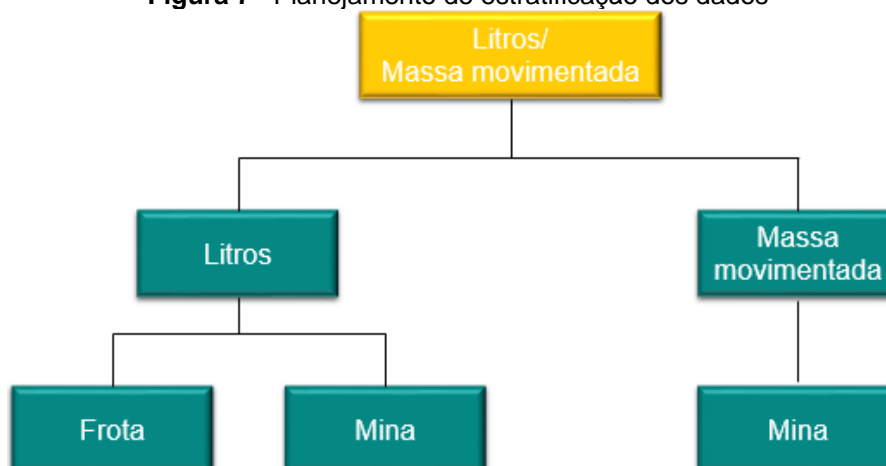


Fonte: Autoria Própria adaptado Minitab

3.2 Análise do Fenômeno

Nessa etapa estratificamos o problema geral dividindo-o em vários menores, a fim de visualizá-lo de forma mais clara e identificar o foco com maior oportunidade de ganho.

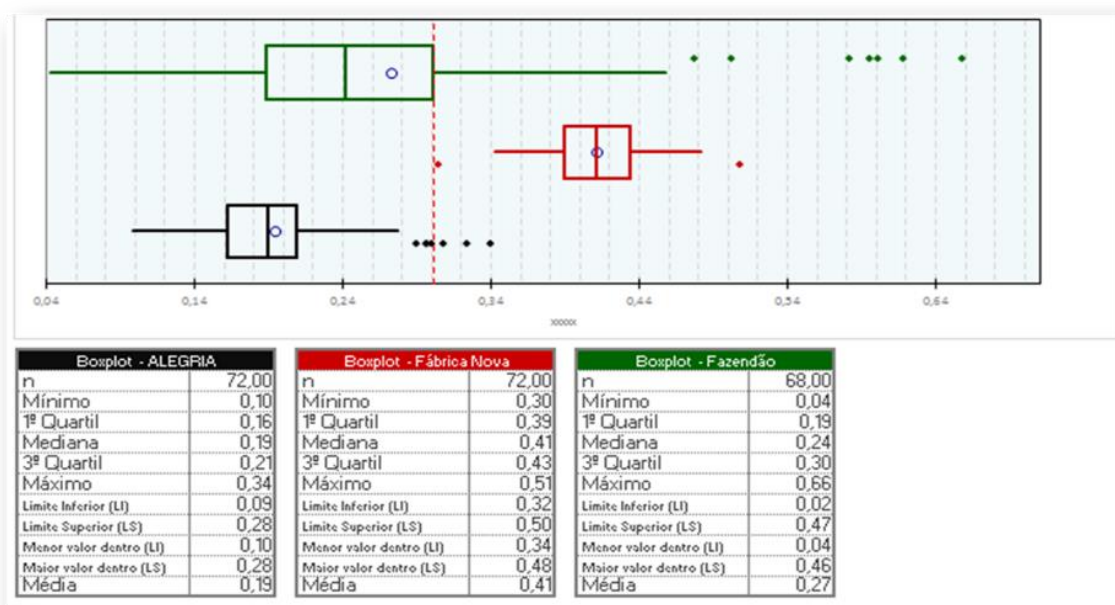
Figura 7– Planejamento de estratificação dos dados



Fonte: Autoria Própria

Optou-se pela utilização do Boxplot para definir a mina foco de atuação do nosso projeto, como demonstrado no Boxplot na mina de Fábrica Nova 75% dos dados estão fora especificação, tornando assim as mina de Fábrica como foco de atuação com as frota que ali operam, Caterpillar 785,789 e 777.

Figura 8– Estratificação dos dados

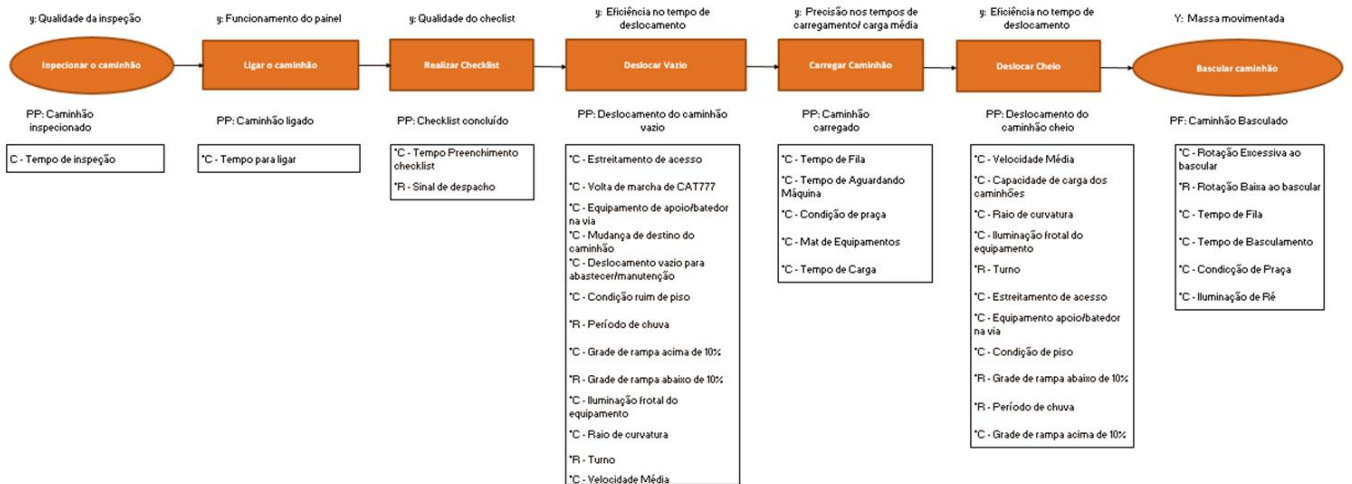


Fonte: Autoria Própria adaptado Minitab

3.3 Análise do Processo

Para compreender o processo, analisar e quantificar, foi realizado um mapeamento do mesmo, conforme figura 9.

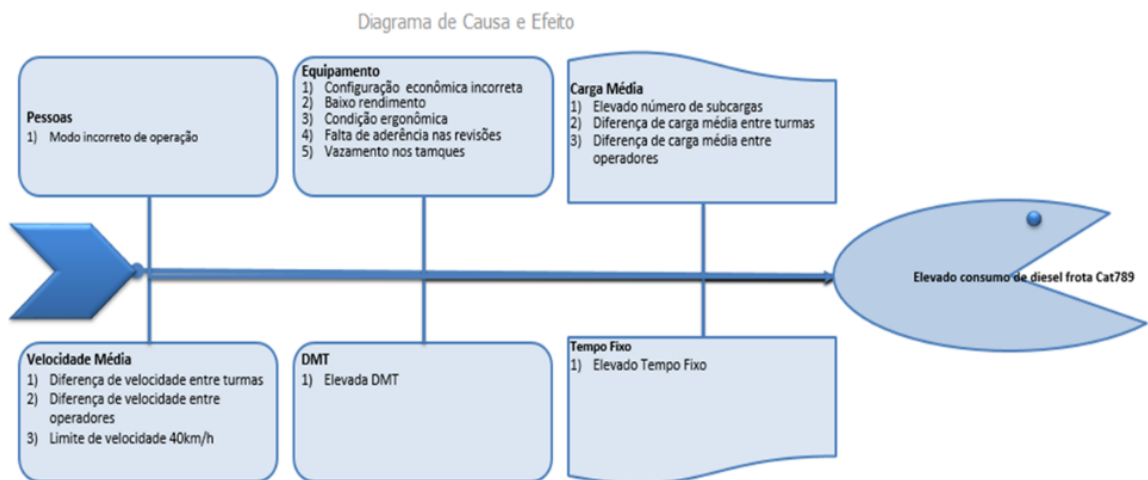
Figura 9: Mapeamento do processo



Fonte: Autoria Própria

Após mapeamento foi realizado um brainstorming com operadores e instrutor de mina, levando as causas que poderiam influenciar o problema e identificando as causas raízes, as causas foram levantadas por frota e organizadas em um diagrama espinha de peixe.

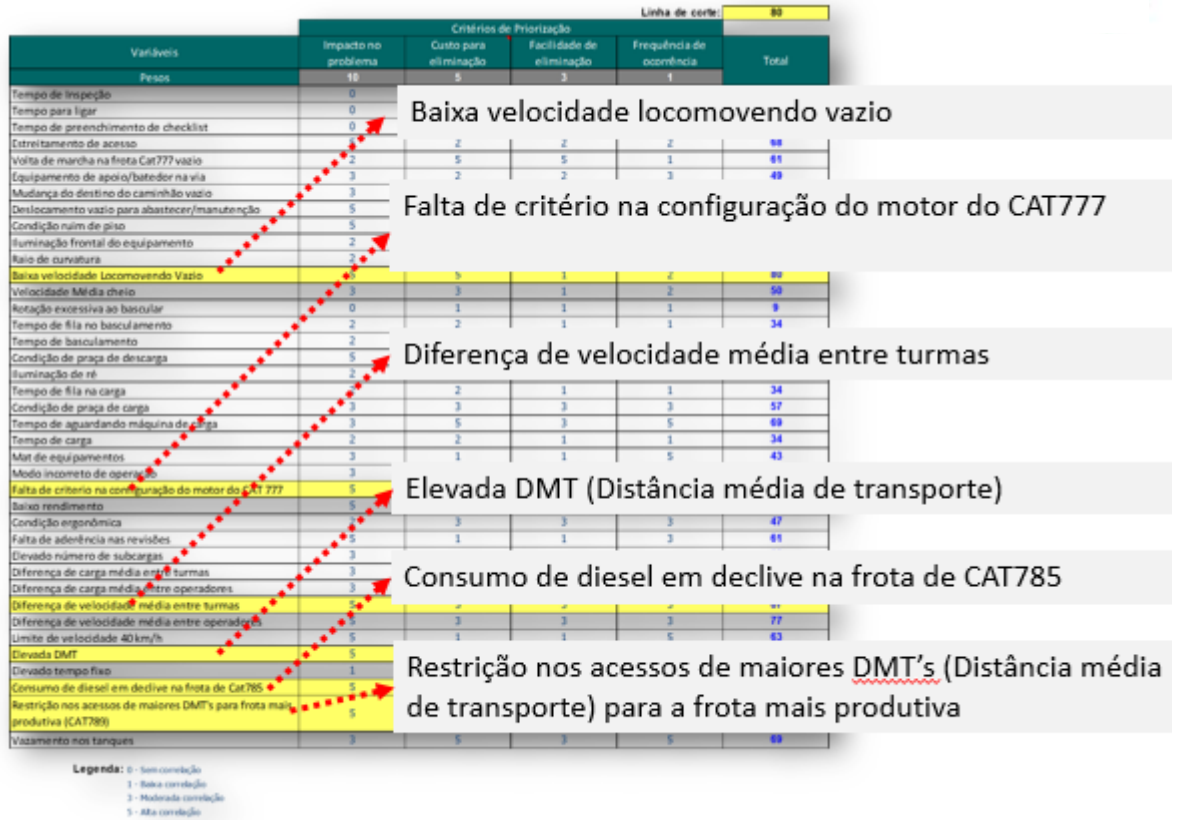
Figura 10: Diagrama espinha de peixe para levantamento de causa



Fonte: Autoria Própria adaptado Minitab

Após levantamento das causas foram priorizadas após análise da matriz de priorização as seguintes causas:

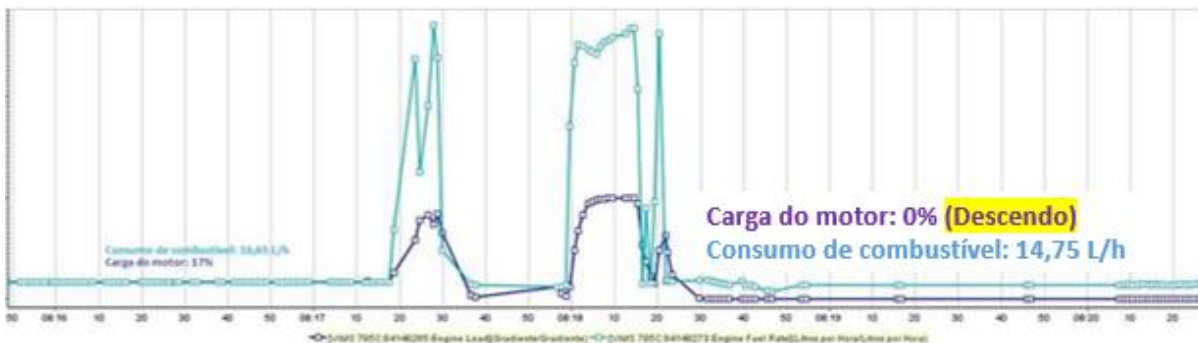
Figura 11: Matriz de Priorização



Fonte: Autoria Própria

As causas foram comprovadas através de análise em campo e teste no processo, No Caminhão CAT 785, foram realizados testes durante 1 hora (distância percorrida 20km), tanque diesel no nível máximo, mesmo trajeto, mesma marcha e mesmo operador, utilizando software antigo e depois com os mesmos parâmetros supracitados com software novo, com objetivo de evidenciar o consumo de diesel no declive, o qual o fabricante diz não existir.

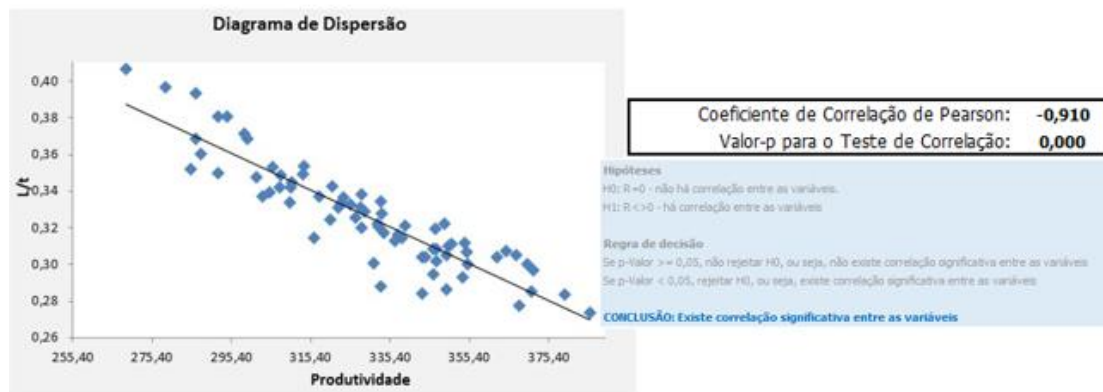
Figura 12 – Consumo declive CAT 785



Fonte: Autoria Própria

Levantamos dois caminhões da frota CAT777 com configurações diferentes de motor. Através da análise do coeficiente de correlação de Pearson definimos que existe uma correlação significativa entre a Capacidade de transporte X DMT e consumo de diesel (L/t) .

Figura 13 – Diagrama Dispersão



Fonte: Autoria Própria adaptado Minitab

3.4 Determinação Plano de Ação

Foram levantadas as possíveis soluções para as causas a serem tratadas e definido plano de ação para teste das possíveis soluções conforme quadro abaixo:

Figura 14 – Diagrama Dispersão

Causas a Serem Tratadas	Possíveis Soluções
Falta de critério na configuração do motor da frota CAT777	Definição da melhor configuração
	Aplicação da configuração ideal em toda frota CAT 777
Consumo de diesel em declive na frota de Cat785	Alteração na configuração do motor usando software da caterpillar
	Aplicação do software em toda frota CAT 785
Elevada DMT	Levantamento de todos os pontos para redução de DMT
	Definir os pontos que serão possíveis de reduzir a DMT
	Executar as melhorias para redução de DMT nos definidos
Baixa velocidade locomovendo vazio	Alargamento do acesso de FN/AL
Restrição nos acessos de maiores DMT's para frota mais produtiva (CAT789)	Liberação do viaduto da MG 129 para transporte com CAT 789
	Dimensionamento e CAT 789 para transitar no acesso AL/FN
	Liberação do viaduto sob o rio Piracicaba para transporte com CAT 789

Fonte: Autoria Própria

Na Frota CAT 777, foi realizado testes utilizando as 4 configurações:

Automático 10% - O equipamento busca, durante o ciclo, oportunidade de economia de combustível, reduzindo 10% a potência do motor.

Automático 12% - O equipamento busca, durante o ciclo, oportunidade de economia de combustível, reduzindo 12% a potência do motor.

Automático 15% - O equipamento busca, durante o ciclo, oportunidade de economia de combustível, reduzindo 15% a potência do motor.

Figura 15 – Local realização teste piloto



Fonte: Arquivo interno Vale

Através da realização do obtivemos na com figuração automático 10% uma redução de 7,14 % do consumo em relação a configuração padrão, conforme figura 16.

Figura 16 – Resultado teste piloto frota CAT 777.

Configuração	Padrão	Manual 10%	Automático 10%	Automático 12%	Automático 15%
Consumo VIMS (Litros / hora)	75,7	78,1	69,3	70,7	N/D
Consumo Bomba (Litros / hora)	76,5	83,8	71,4	73,1	77,9
Carga Média (Toneladas)	94,1	92,7	96,8	96,7	N/D
Tempo Médio do Ciclo (hh:mm:ss)	00:38:31	00:43:40	00:46:01	00:42:47	N/D
Distância (km)	16,9	17,1	18,3	15,2	N/D
Redução em Relação ao Padrão		8,71%	-7,14%	-4,65%	1,80%

Fonte: Arquivo Sotreq

Após comprovação das soluções levantadas foi determinado um plano de ação para que as soluções fossem implantadas conforme figura abaixo:

Figura 17 – Resultado teste piloto frota CAT 777.

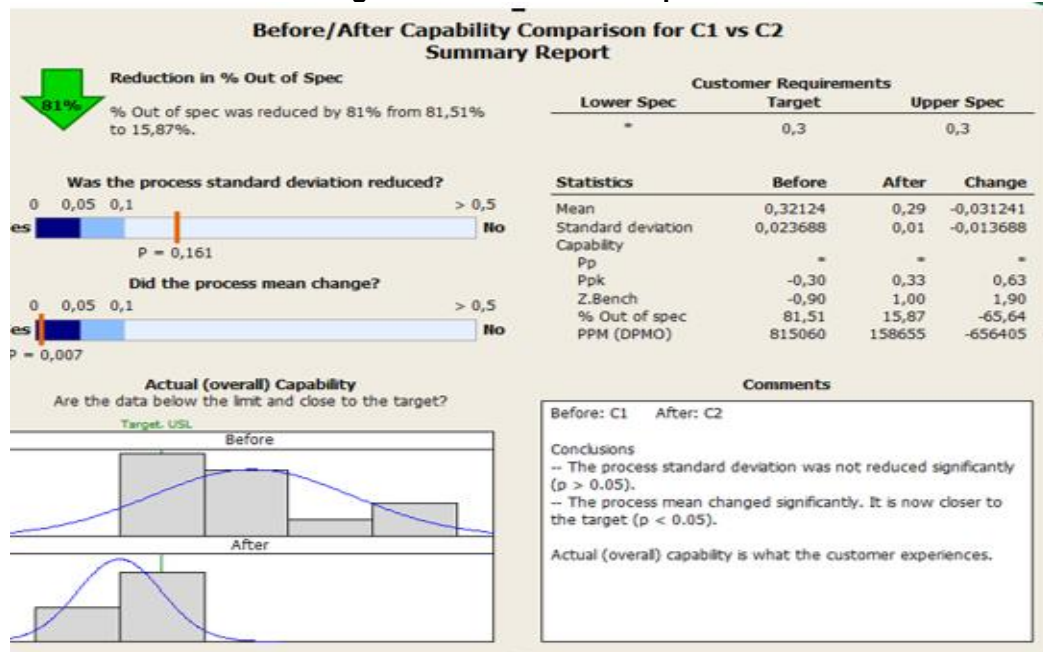
Causas a Serem Tratadas	Soluções a serem testadas	What? (O que?)	Who? (Quem?)	When? (Quando?)	Why? (Por que?)	Where? (Onde?)	How? (Como?)
Falta de critério na configuração do motor da frota CAT777	Definição da melhor configuração	Analisar a melhor configuração do software	José Lacerda/Sotreq	fev/17	Para verificar qual configuração ideal para redução de diesel	Mina de Fábrica Nova	Realizando testes com diferentes configurações
	Aplicação da configuração ideal em toda frota CAT 777	Alteração da configuração do software para 10% automático	José Lacerda/Sotreq	mar/17	Para economia de diesel em função da redução da potência do motor quando possível.	Complexo Mariana	Através da atualização do software do caminhões
Consumo de diesel em declive na frota de Cat785	Ateração na configuração do motor usando software da caterpillar	Analisar se o caminhão apresenta o consumo diesel no declive.	Lonardo Francisco/Sotreq	jul/17	Para comprovar o consumo de diesel no declive na frota CAT785	Mina de Fábrica Nova	Através de teste em campo
	Aplicação do software em toda frota CAT 785	Aplicação do novo software do motor para a frota 785C de Mariana	Lonardo Francisco/Sotreq	ago/17	Para eliminar o consumo de diesel em declive	Complexo Mariana	Através da aplicação do novo software do motor para a frota 785C de Mariana
Elevada DMT	Levantamento de todos os pontos para redução de DMT	Realizar levantamento em campo/software DATAMINE de todos os pontos da mina com objetivo de redução de DMT	Odmar/Guilherme/Gabriel	ago/17	Detectar oportunidades de redução de DMT	Complexo Mariana	Levantamento em campo/software DATAMINE
	Definir os pontos que serão possíveis de reduzir a DMT	Definição dos pontos onde realmente será possível reduzirmos a DMT	Odmar/Guilherme/Gabriel	set/17	Existem pontos da mina que poderiam ter um ganho na DMT mas decorrente de alguns fatores não podem ser alterados	Complexo Mariana	Através de simulações com uso do software DATAMINE
Baixa velocidade locomovendo vazio	Executar as melhorias para redução de DMT nos definidos	Executar as melhorias nos pontos definidos que poderão ser alterados para	Odmar/Guilherme/Gabriel	nov/17	Nos pontos que poderão ter ganhos de DMT precisam ser executadas melhorias	Complexo Mariana	Adequando e mudando acesso através de atividades de infraestrutura
	Alargamento do acesso de FVIAL	Realizar alargamento em trechos prioritários no acesso de Fábrica Nova/ Alegria	Adriano Brandão	ago/17	Para reduzirmos os estreitamentos, melhorando as condições em relação segurança e produtividade	Fábrica Nova	Realizando atividades de infraestrutura nos pontos definidos
Restrição nos acessos de maiores DMT's para frota mais produtiva (CAT789)	Liberação do viaduto da MG 129 para transporte com CAT 789	Realizar análise junto a Engenharia Civil para liberação da operação sobre o viaduto com CAT789	Lucas Soares	dez/16	Porque o viaduto a principio está liberado somente para CAT785/777	Fábrica Nova	Realizando sondagens, análise no projeto do viaduto

Fonte: Arquivo Própria

3.5 Etapa Controle

Ocorreu uma redução de 81% do percentual fora da especificação conforme figura 18, o qual nos permitiu uma redução no consumo de diesel.

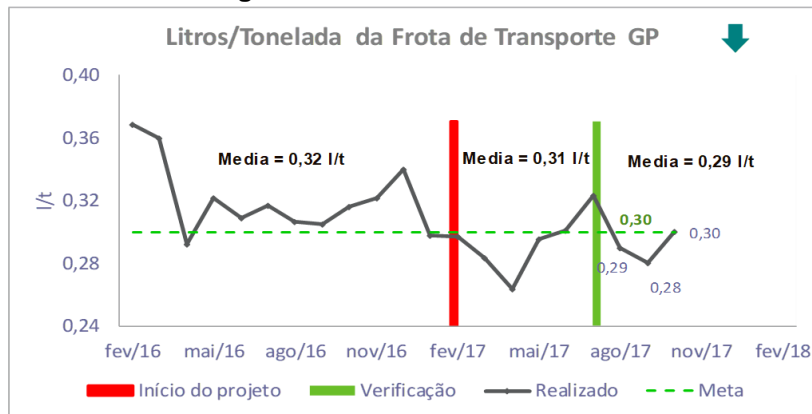
Figura 18 – Sumário de Capacidade



Fonte: Arquivo Próprio adaptado Minitab

A meta foi alcançada durante o projeto e se manteve estável no período de verificação conforme apresentado na figura 20.

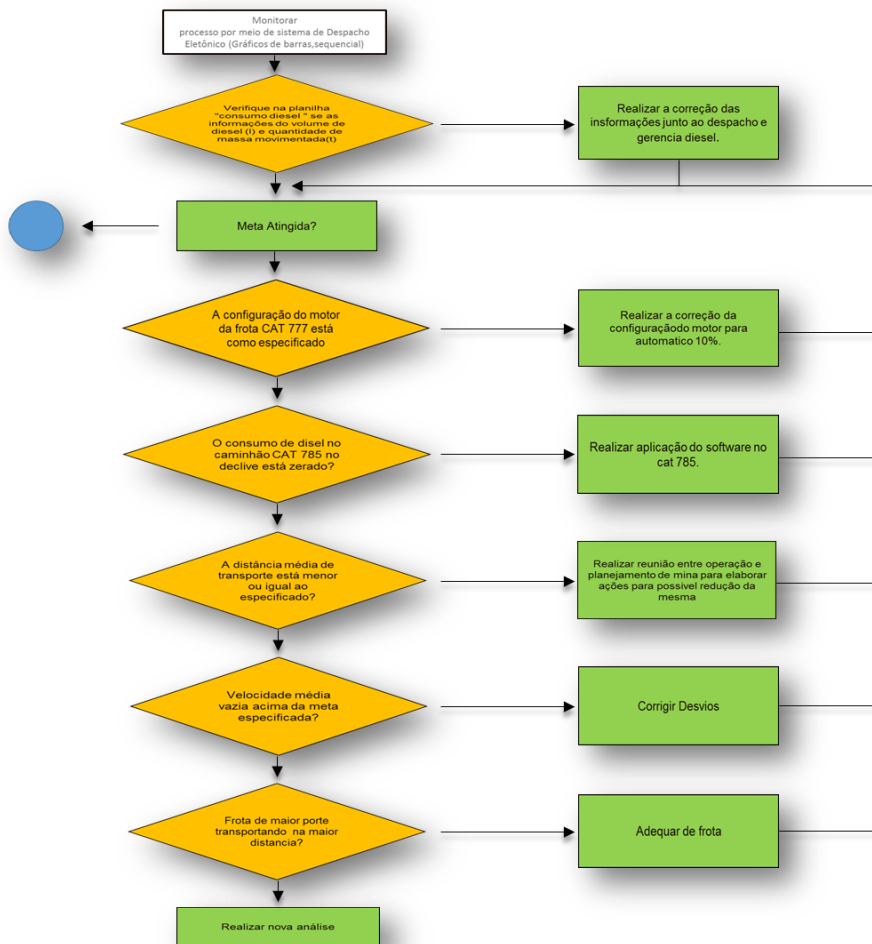
Figura 20 – Gráfico Meta Geral



Fonte: Arquivo Própria

Todas as variáveis estão sendo controladas de forma online pelo sistema da empresa e aplicado o OCAP, figura 21, quando ocorrer qualquer desvio do resultado.

Figura 21 – Out of Control Action Plan (OCAP)



Fonte: Arquivo Próprio

4 Conclusão

Através da ferramenta Seis Sigma conseguimos melhorar, sistematicamente, o processo e eliminar 81% das não conformidades, levando a uma redução de 10,2% de consumo de óleo diesel na frota de Grande Porte do complexo Mariana com um ganho real de 6,4 Milhões de reais.

Evitando assim a emissão de 1.710,52 t de CO₂ na atmosfera, e com o desenvolvimento do trabalho foi criada uma equação de regressão que é utilizada como ferramenta de otimização no dimensionamento de frota e estudos de mudanças no processo.

Figura 22 – *Equação de Regressão (l/t) x DMT*

Litros/ Tonelada	$0,06 + 0,06 \text{ DMT}$
R ² :	78,3%

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida a Vale pelo apoio e treinamento, a todos da gerência de Operação de Mina que colaboraram para execução do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 BORGES, T. C. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração:** Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação Do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Ouro Preto, 2013.
- 2 MARTINS, F.L.; SANTOS, R.A. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma para reduzir o consumo de amina na flotação reversa de minério de ferro.** 18º Simpósio de Mineração, parte integrante da ABM Week, São Paulo, v. 1, n. 2, 2017.
- 3 MAXIMIANO, A.C.A.; TRAD, S. **Seis Sigma: Fatores Críticos de Sucesso para sua Implantação.** RAC, Curitiba, v. 13, n. 4, art. 7, pp. 647-662, Out./Dez. 2009. [acesso em 17 jun. 2019. Disponível em <http://www.anpad.org.br/rac>.