

**COMO A METODOLOGIA DE MELHORIA CONTÍNUA - LEAN SEIS SIGMA
PODE AUMENTAR A PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DE CARGA E
TRANSPORTE**

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.037-141>

Heitor Lobo Coutinho

Mestre em engenharia mineral
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
E-mail: heitorlobo@hotmail.com

Bruno Inácio Pereira

Graduado em engenharia mineral
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
E-mail: bruno.pereira@jmendes.com.br

Rodrigo José Lopes Pinto

Graduado em administração
Instituição de formação: Unifasar
Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil
E-mail: rodrigo.pinto@jmendes.com.br

Hernani Mota de Lima

Doutor em engenharia mineral
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
E-mail: hernani.lima@ufop.edu.br

Leandro de Vilhena Costa

Doutor em engenharia mineral
Universidade Federal de Catalão
Catalão, Goiás, Brasil
E-mail: leandro_vilhena@ufcat.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste no aumento de produtividade das frotas de caminhões e escavadeiras utilizando metodologia Lean Seis Sigma no processo de produção da mina. A aplicação da metodologia Lean Seis Sigma tem mostrado ser altamente eficaz em diversas áreas, para melhoria dos processos através do uso de ferramentas estatísticas para identificação de problemas, análise de causas, ações de otimização, resolução, sustentabilidade e melhoria dos resultados, sendo assim uma metodologia poderosa para empresas que buscam excelência operacional e maior competitividade. A frota de escavadeiras e caminhões são equipamentos principais para a movimentação de material e produção na mina, no qual através de um estudo de caso pode-se evidenciar o emprego de ferramentas estatísticas no desenvolvimento e identificação dos problemas que afetam a produtividade. Nesse estudo de caso, pode-se demonstrar a aplicação de todas etapas da metodologia Lean Seis Sigma – DMAIC (Define, measure, analyse, improve, control), como resultado desse projeto, foi possível um aumento de produtividade global dos caminhões de cerca de 21% e um aumento de produtividade efetiva das



escavadeiras da ordem de 31%, gerando assim ganhos financeiros relevantes estimados em R\$ 4.502.141 por ano e ganhos não financeiros com melhoria nas condições de segurança, bem estar dos colaboradores e redução da emissão de carbono pela economia de horas operadas e diesel. O ganho com redução da emissão de carbono é estimado em 3.056 toneladas de carbono por ano. Além de ganhos do projeto, pode-se observar o desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua.

Palavras-chave: Lean Seis Sigma. Mineração. Produtividade. Infraestrutura. Melhoria contínua.



1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho consiste no aumento de produtividade das frotas de caminhões e escavadeiras utilizando metodologia Lean Seis Sigma no processo de produção da mina. A aplicação da metodologia Lean Seis Sigma tem mostrado ser altamente eficaz em diversas áreas, para melhoria dos processos através do uso de ferramentas estatísticas para identificação de problemas, análise de causas, ações de otimização, resolução, sustentabilidade e melhoria dos resultados, sendo assim uma metodologia poderosa para empresas que buscam excelência operacional e maior competitividade.

O método a céu aberto é o predominante nas explorações no mundo, abrangendo 98% das minas de minérios metálicos e 97% das não metálicos nos Estados Unidos (Hartman e Mutmanský 2002). A mina desse estudo de caso, se enquadra nesse perfil, utilizando caminhões e escavadeiras para a extração e transporte do minério. O custo com o transporte pode chegar a 50% dos custos de uma mina. A produtividade dos caminhões está correlacionada pela velocidade média desenvolvida durante o percurso do caminhão (Hustrulid, 2013), outros fatores como a carga média transportada e as condições dos acessos são primordiais para o cumprimento uma boa produtividade na mina.

Em um trabalho desenvolvido por Oliveira (2023) apresenta resultados de aumento de produtividade de 13% para frota Caterpillar e 10,8% para a frota Komatsu.

Ferramentas de melhoria contínua são métodos utilizados para aprimorar processos, produtos e serviços de forma constante. O objetivo é aumentar a eficiência, qualidade e satisfação do cliente, reduzindo desperdícios e identificando oportunidades de melhoria segundo Leão et al (2024).

A combinação das filosofias Lean, focada na eliminação de desperdícios e atividades não essenciais, com a abordagem Seis Sigma, dedicada à redução de variações e defeitos, torna-se um catalisador para o aumento da eficiência e eficácia na indústria de mineração. A otimização de fluxos de trabalho, melhor utilização de recursos e maior qualidade dos produtos resultam em benefícios significativos para as operações de mineração, como redução de custos e aumento da produtividade (Perez-Wilson, 1999).

O objetivo geral deste artigo é demonstrar como a aplicação da metodologia Lean Seis Sigma com um conjunto de técnicas e procedimentos pode aumentar a produtividade no setor de mineração, formando assim um material de referência para os profissionais do setor, fomentando assim sua utilização para desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A metodologia é amplamente utilizada na mineração, como exemplo, pode se citar o trabalho feito por Silva (2019), onde a partir do uso da metodologia, foi possível obter um aumento na taxa de perfuração de uma perfuratriz na mina de água limpa em 13% o que acarretou um ganho financeiro de R\$ 275.025,16 para a empresa. Para isso o autor fez uma pesquisa no histórico da taxa de perfuração



para definir uma média de quanto a empresa perfurava pelo tempo, além de visitas ao local e análises dos materiais utilizados e dos profissionais atuantes. A partir daí o autor sugeriu algumas mudanças como o aumento da praça de perfuração, afiamento dos bits com mais frequência, ajuste da pressão de ar e de avanço de acordo com a litologia do local e operários mais capacitados. Os resultados foram analisados por seis meses.

Em estudo de caso desenvolvido por Pedrosa et al (2014) na área de manutenção, o Seis Sigma figura como um importante aliado desvendando as principais perdas por meio da identificação da causa-problema, determinando de ações de bloqueio e solução de problemas que interferem negativamente nos indicadores de desempenho. Apesar de recente e ainda carente de alguns ajustes na condução dos projetos Seis Sigma, os resultados obtidos até então confirmam o potencial de se atingir as metas estratégicas da organização.

Foi utilizada a metodologia Lean Seis Sigma por Pereira et. al (2021) para o aumento da eficiência operacional da etapa de Separação Magnética de Alta Intensidade, diante do fato de que a recuperação metalúrgica estava, em média, 7,21% menor que o valor esperado. A execução do projeto foi feita seguindo-se o ciclo DMAIC, onde as investigações realizadas mostraram que 52,3% das causas-raiz estava atribuída à própria operação do equipamento (separador magnético). Intervenções no processo e adequações no funcionamento do separador resultaram em um aumento de 9,66% na média da recuperação metalúrgica, a qual ficou 1,75% maior que a meta estabelecida (94,63%). Uma redução de 65,66% no desvio padrão desta variável também foi observada, o que se traduz em uma redução da variabilidade geral do processo.

Em sua tese de mestrado Coutinho (2017) apresenta um conjunto de projetos de melhoria contínua aplicados nas operações unitárias de carregamento e transporte, na lavra a céu aberto. Com base na metodologia Lean Seis Sigma, em boas práticas analisadas e em dados coletados em campo, foram aplicadas algumas melhorias de processo compondo três estudos de caso: projeto de redução de custo com pneus, projeto de aumento da produtividade dos caminhões e projeto de aumento da produção no sistema de correias, resultando em ganhos financeiros estimados na ordem de R\$ 31,6 milhões por ano, além de ganhos em redução de impacto ambiental e aumento de segurança nas operações de mina.

Os sistemas de gerenciamento de frota, como exemplo o smartime entre outros utilizado na fornecem informações para identificação de falhas e auxílio na gestão da operação. São aplicativos que auxiliam na automação do gerenciamento de caminhões e escavadeiras, permite análise de indicadores, maximizar a produção e minimizar os gastos operacionais a partir de tomada de decisões utilizando informações em tempo real. Sendo assim, maximiza a utilização do equipamento e reduz os custos de operação (Campelo, 2018).

3 METODOLOGIA

Esse artigo baseou-se de um banco de dados histórico de uma mineradora brasileira, localizada em Minas Gerais, com foco na extração, beneficiamento e comercialização de minério de ferro. A mina tem alta capacidade produtiva anual e produtos com alto padrão de qualidade. O banco de dados compõe-se por informações sobre equipamentos de carga e transporte geridos pelo sistema de gestão de frota na mina (Smartmine) no período de 12 meses de produção. Os dados coletados foram massa transportada, origem, destino, tipo de equipamentos, tempos de carga, tempos de transporte, horas operadas, distância de transporte, entre outros. Com os dados históricos iniciou-se o projeto.

Utilizando-se de técnicas, gráficos e ferramentas estatísticas dentro elas boxplot, histograma, gráfico de pareto, entre outros, aplicou a metodologia lean seis Sigma combinada com o ciclo DMAIC (Define, measure, analyse, improve, control). O Lean Seis Sigma - DMAIC é uma metodologia com roteiro estruturado, que visa identificar e eliminar ineficiências, garantindo a qualidade e a eficiência dos processos. Na fase de Definir, o problema ou oportunidade é claramente identificado e documentado. Em seguida, na fase de Medir, são coletados dados relevantes para entender a extensão do problema. A fase de Analisar envolve a identificação das causas raízes dos problemas. Na fase de Melhorar, são implementadas soluções para eliminar as causas raízes identificadas. Finalmente, na fase de Controlar, são estabelecidos mecanismos para garantir que as melhorias sejam sustentáveis ao longo do tempo (PACHECO, 2014). A aplicação rigorosa dessas etapas permite que as organizações alcancem resultados significativos em termos de eficiência operacional e qualidade .

Cada uma dessas etapas tem um objetivo específico para se chegar ao resultado de melhoria esperado, que para esse caso será o aumento da produtividade nas operações de carga e transporte.

3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A operação de transporte na mina é realizada por caminhões fora de estrada à diesel com capacidade de carga útil de 60t. Os equipamentos de escavação e carregamento tem capacidade de carga útil de 4,6 m³~12t (minério itabirito). Esses equipamentos formam um conjunto ideal de carga e transporte pelas suas especificações de potencial e dimensões gerando entorno de 5 passes para cada carregamento. Conforme PERONI (2015) e COUTINHO (2017), a relação ótima do número de passes não deve ser menor do que três e nem maior do que seis.

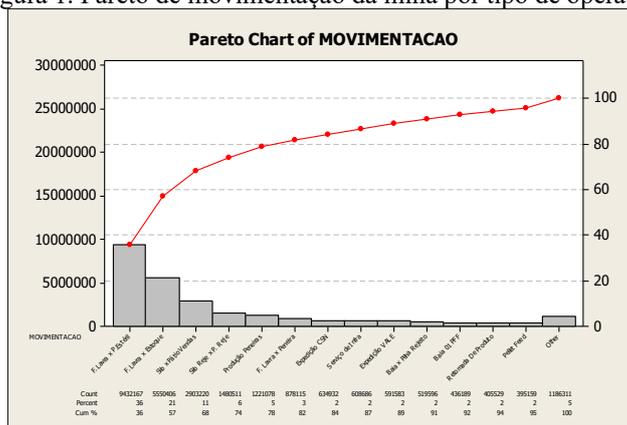
3.2 METODOLOGIA LEAN SIGMA - FASE DEFINE

O primeiro passo para o desenvolvimento de um trabalho lean seis sigma consiste na identificação e definição da oportunidade de melhoria, etapa conhecida como Define, pelo ciclo DMAIC (Define, measure, analyse, improve e controle). Através de um levantamento de dados de performance podemos identificar a necessidade de melhorias, identificou-se para esse caso a

necessidade de melhoria na produtividade dos equipamentos de carga e transporte que é um dos principais indicadores KPI's (Key performance indicators) da mina. As operações de carga e transporte são realizadas para diversos materiais, sendo eles minério, estéril, produtos, rejeito, limpeza de bacias, infraestrutura, dentre outros. A fim de identificar quais dessas operações influenciam diretamente o indicador do projeto, foi realizado o teste de Pareto.

Vilfredo Pareto, criador do Diagrama de Pareto, nasceu em 1848 em Paris e foi um sociólogo, teórico político e economista. (BEZZERA, 2019). O Diagrama de Pareto é considerado uma das sete ferramentas básicas da qualidade e tem como princípio que 80% das consequências vem de 20% das causas. Segundo Koch (2015), o princípio 80/20 afirma que ocorre um desequilíbrio entre as causas e os resultados, aonde a maioria tem baixo impacto e a pequena maioria tem alto impacto. A partir do teste de Pareto aplicado aos dados do projeto (Figura 1), as operações de minério foram identificadas como operações prioritárias pois representam a maior parte das operações com cerca de 57% das movimentação total na mina. Dessa forma priorizou-se oportunidades nas operações de carga e transporte no minério e no estéril.

Figura 1. Pareto de movimentação da mina por tipo de operação.



Fonte: autores, 2024.

3.3 METODOLOGIA LEAN SIGMA - FASE MESURE E ANALYSE

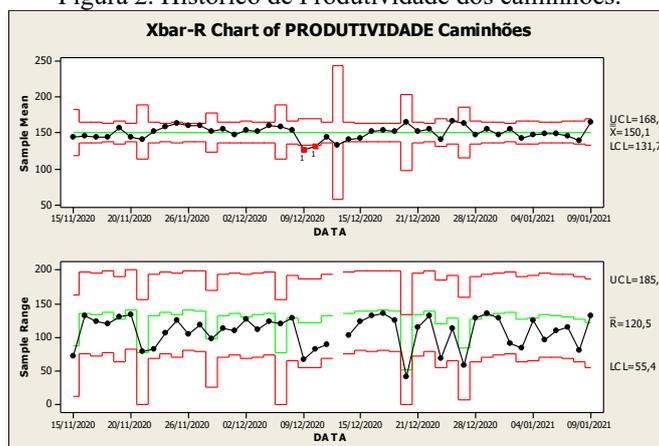
A utilização de gráficos e bases estatísticas são utilizadas na definição de uma meta exequível e desafiadora para o projeto. As figuras 2 e 3 representam os gráficos de produtividade e teste de normalidade da frota de caminhões e as figuras 4 e 5 representam da frota de escavação.

O histórico de produtividade realizado pela carta de controle, tem como finalidade identificar estabilidade (dentro ou fora de controle) e sazonalidade do processo (variabilidade ao longo do tempo).

Os testes de normalidade são realizados para verificar se os dados fazem parte de uma distribuição normal e previsível, que irá influenciar nas análises estatísticas e métodos a serem desenvolvidos ao longo do projeto. Para definição da meta do projeto foi utilizado o teste de

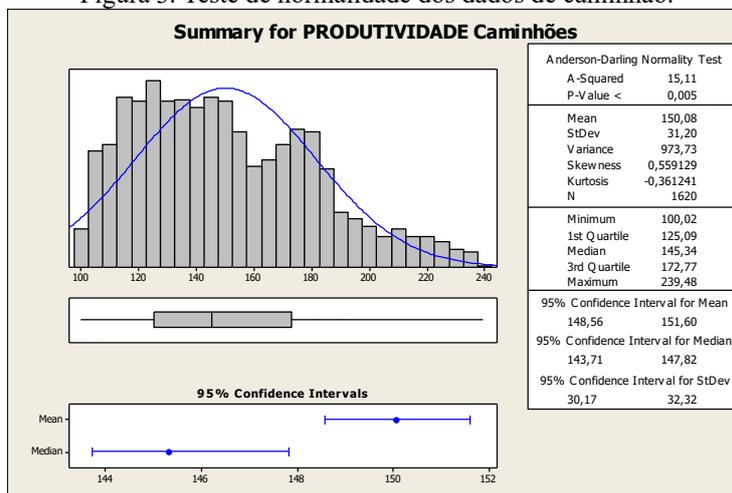
normalidade com método Anderson Darling Test 3º quartil. Esse método divide os dados em quatro partes, no qual cada parte representa a média de 25% dos resultados, sendo o 3º quartil o representante de 25% dos melhores resultados na base histórica de produtividade, estabelecendo-se a meta do projeto para a frota de transporte por caminhões de 172,77 t/h (Figura 3 – Anderson Darling 3rd Quartile). Na frota de escavadeiras foi utilizado o intervalo de confiança de média, utilizando-se os limites máximo e mínimo indentificado pelo teste de normalidade (Figura 4 – Anderson Darling 95% Interval for Mean), maior produtividade média: 540,98 / menor produtividade média: 513,43 * média global de produtividade: 527,21, estabelecendo-se uma meta para a frota de escavadeiras de 555 t/h.

Figura 2. Histórico de Produtividade dos caminhões.



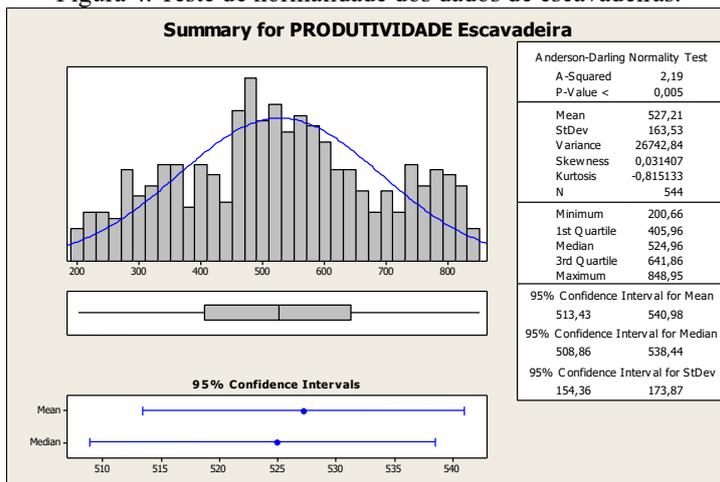
Fonte: autores, 2024.

Figura 3. Teste de normalidade dos dados de caminhão.



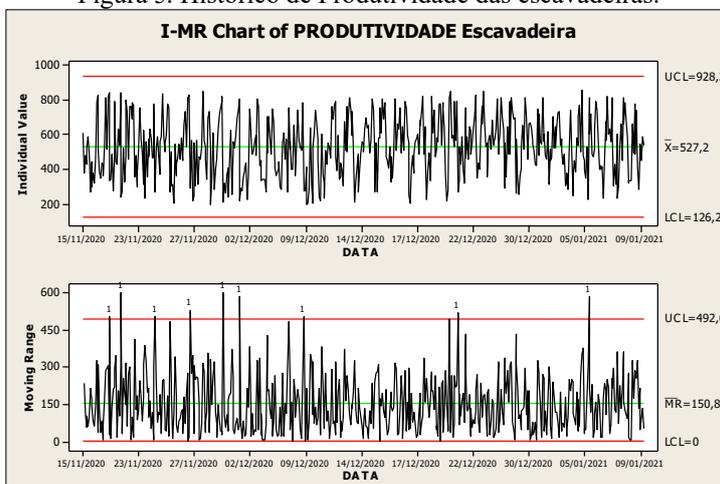
Fonte: autores, 2024.

Figura 4. Teste de normalidade dos dados de escavadeiras.



Fonte: autores, 2024.

Figura 5. Histórico de Produtividade das escavadeiras.



Fonte: autores, 2024.

A produtividade dos equipamentos são calculadas através da massa movimentada dividida pelas horas operadas, $\text{produtividade} = \text{massa movimentada (t)} / \text{horas operadas (h)}$. O aumento da produtividade gera uma redução de horas operadas, uma vez que o processo foi mais produtivo, fizemos a mesma massa com menor número de horas, ou seja o tipo de ganho é de custo evitado. A fórmula é utilizada para cálculo de benefício financeiro e ambiental do projeto.

$$\text{Ganho do projeto (h)} = [(\text{Mplanejada} / \text{Prod.fin}) - (\text{Mplanejada} / \text{Prod.ant})] * \text{Ccusto R\$/h} \quad (1)$$

- Massa planejada de movimentação de estéril e minério (t): (Mplanejada)
- Produtividade antes (t/h): Prod.ant caminhão ; Prod.ant escavadeira
- Produtividade depois (t/h): Prod.fin caminhão ; Prod.fin escavadeira
- Custo operacional de equipamentos (R\$/h): Custo caminhão + Custo escavadeira
- Meta de ganho de produtividade na frota de caminhões (t/h): Prod.fin caminhão: 173 - Prod.ant caminhão: 150: 23 t/h, ganho estimado de 15%;
- Meta de ganho de produtividade na frota de escavação (t/h): Prod.fin escavadeira: 556 -



Prod.ant escavadeira: 488: 68 t/h, ganho estimado de 14%;

Com o ganho estimado em redução de horas, podemos estimar o custo evitado ao longo de um ano de operação do projeto (R\$) = 634 mil reais por ano (Fórmula 2)

Benefício financeiro do projeto (R\$/ano) = Ganho do projeto (h) * Ccusto R\$/h (2)

Um benefício extremamente relevante para nossa atualidade é o ambiental, que com esse projeto teremos o ganho em redução da emissão de carbono. Com o ganho estimado em redução de horas, podemos estimar a redução da emissão de carbono = 500t / ano equivalente a uma redução de 13%;

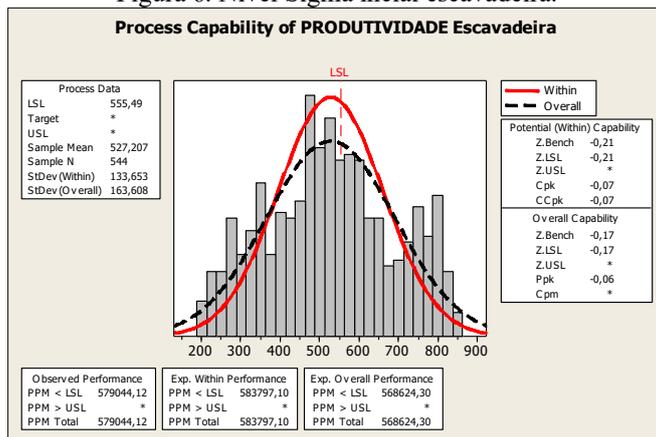
Benefício ambiental do projeto (redução de emissão carbono/ano) = Ganho do projeto (h) * Emissão de carbono/h (3)

Com a definição do escopo do projeto, meta e ganho calculado, iniciou-se uma análise minuciosa para medir o problema, etapa de medição (Measure) utilizando diversas ferramentas aplicada do Lean Sigma. O primeiro passo foi calcular o nível sigma do projeto (capabilidade) para que possamos ver o nível de perda atual do processo. Ele indica a probabilidade de ocorrência de defeitos e ajuda as organizações a direcionarem seus esforços de melhoria, representa quantos desvios padrão (sigmas) cabem entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo. Um processo com nível sigma 6, por exemplo, tem uma probabilidade muito baixa de produzir defeitos, com apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

O nível sigma é determinado pelo número de falhas do processo, para o caso dos equipamentos de mina foi calculado com base nos dados históricos e a meta de produtividade estipulada como referência (caminhões: 173 t/h e escavadeiras: 556 t/h), onde todos dados de produtividade que estão abaixo da meta seria uma falha.

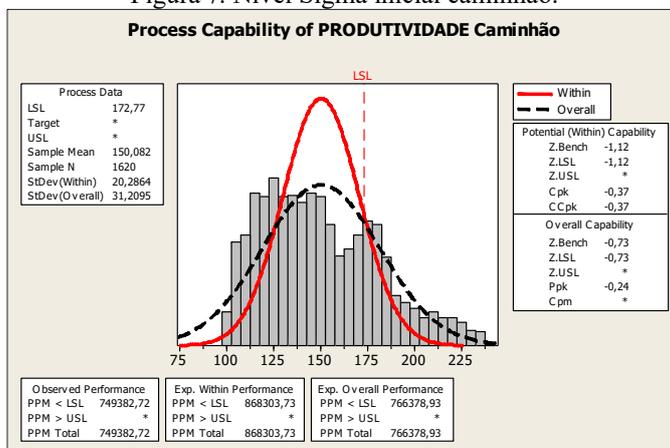
Nos gráficos abaixo, temos o gráfico de capacidade da produtividade nos equipamentos de carga (Figura 6) e equipamentos de transporte (Figura 7). No gráfico das escavadeiras foi utilizado o LSL (limite superior de especificação) em 556 t/h que é a meta do projeto, gerando assim um nível sigma de - 0,17 (Z.LSL) que adicionado a 1,5 (fator de convergência) gera um nível atual de 1,33 sigma. No gráfico dos caminhões foi utilizado o LSL (limite superior de especificação) em 173 t/h que é a meta do projeto, gerando assim um nível sigma de - 0,73 (Z.LSL) que adicionado a 1,5 (fator de convergência) gera um nível atual de 0,77 sigma.

Figura 6. Nível Sigma inicial escavadeira.



Fonte: autores, 2024.

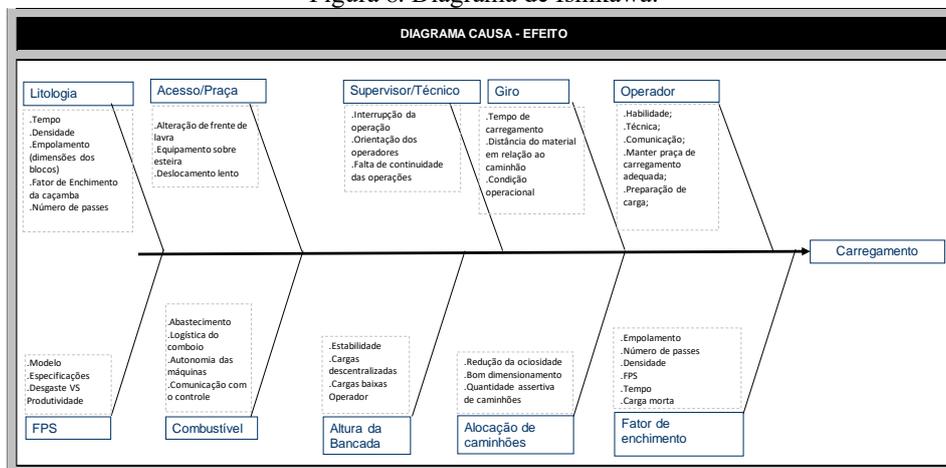
Figura 7. Nível Sigma inicial caminhão.



Fonte: autores, 2024.

A próxima etapa do projeto é a fase de análise (Analyze) da metodologia DMAIC, no qual foram geradas análises dos problemas para identificação das causas, utilizando-se de alguma ferramentas como o Diagrama de Ishikawa (espinha de peixe).

Figura 8. Diagrama de Ishikawa.



Fonte: autores, 2024.

Foram identificados então, todas variáveis (x's) ao longo do processo de produção da mina que influenciam no processo de produtividade, sendo quantificada em 35. Portanto, houve a necessidade de utilizar a matrizes de priorização para determinar os principais variáveis (x's) a serem melhoradas. Foi gerada a matriz de esforço x impacto, onde foi priorizadas as variáveis (x's) de alto impacto com baixo esforço, alto impacto com alto esforço, baixo impacto e baixo esforço respectivamente, e descartados os itens identificados de baixo impacto e alto esforço.

Figura 9. Matriz de esforço e impacto.

MATRIZ DE ESFORÇO x IMPACTO				
ESFORÇO	ALTO	Número de passes	Balança	
		Largura do acesso	Controlar a chegada dos ônibus	
		Continuidade de operação	SETUP do inclinômetro	
		Despacho otimizado	Cerca virtual de velocidade	
		DMTs longas	Uso de celular na mina	
	BAIXO	ALTO	Automatização da manobra	
BAIXO		ângulo de giro	Fator de enchimento da caçamba	Preferência pelo caminhão carregado Aumentar para 5% as pesagens
		Alocação de caminhões	Desgaste do FPS	Preparação de carga
		Grade do acesso	Melhoria de sinal do smartmine	Instalar registro de ponto no escritório novo
		Volume de concha	Carga morta	Eliminar Armários
		Altura da bancada		Eliminar o Check-list de papel
		Finalizar distribuição de mochilas		
		Padronização da manobra		
		Controlar KPI Km cheio/KM vazio		
		Utilização do rolo nas frentes de carregamento e basculamento		
		Padronizar as configurações dos rádios		
	ALTO		BAIXO	
		IMPACTO		

Fonte: autores, 2024.

3.4 METODOLOGIA LEAN SIGMA - FASE IMPROVE

Foram realizados um conjunto de ações, afim de garantir a melhora do processo de produtividade com padronização, onde primeiramente foram aproveitados materiais descartados da usina, que antes não possuíam uma destino definido para manutenção dos acessos, material esse com granulometria conhecida favorecendo a condição dos acessos melhorando a produtividade dos equipamentos de transporte, como visto na figura abaixo.

Figura 10. Melhoria das condições dos acessos com material de forro.



Fonte: autores, 2024.

Também verificou-se necessidade na padronização de alguns processos como basculamento de ROM da usina e abastecimento dos equipamentos, então foram definidos layouts fixos para essas atividades, definindo assim local adequado de abastecimento, que geram ganhos em redução do tempo

abastecimento, mantem o ciclo dos equipamentos padronizados.

Foi implementado juntamente ao monitoramento de frota definição da lógica entre alguns estados como basculando e movimentando vazio, ou carregando e movimentando cheio, bem como o estado check-list de forma automática, garantindo maior confiabilidade dos dados.

Figura 11. Melhorias nas lógicas do sistema de despacho.



Fonte: autores, 2024.

Foi verificado em especial para operações de estéril uma recorrente presença de material remanescente na caçamba dos caminhões, também chamado de carga morte. A partir disso, a equipe foi buscar no mercado uma tecnologia para aplicar na caçamba do caminhão, também chamado de forro, para redução do material que fica remanescente e para mitigar tal situação. Após teste de aplicação, foi definido um material de revestimento para a caçamba dos caminhões, que resolver esse problema de sobre de material após basculamento.

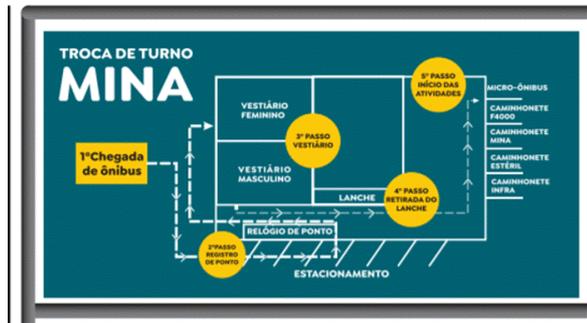
Figura 12. Aplicação de tecnologia para revestimento da caçamba.



Fonte: autores, 2024.

Foram feitas ações de mapeamento e classificação dos acessos, criando um cronograma de manutenção, além da criação de um formulário online para inspeção das condições de acesso. A partir desse formulários e do mapeamento, foram criados rotinas junto a equipe de infraestrutura, para atuar nos problemas levantados e melhoras assim as condições gerais dos acessos. Além das ações citadas acima, ainda foram criados padrões para troca de turno como roadmap e o quadro de troca de turno afim de facilitar o fluxo dos colaboradores nas trocas de turno, para melhoria do indicador de utilização, reduzindo as horas ociosas.

Figura 13. Roadmap (mapa de caminho) para a troca de turno.

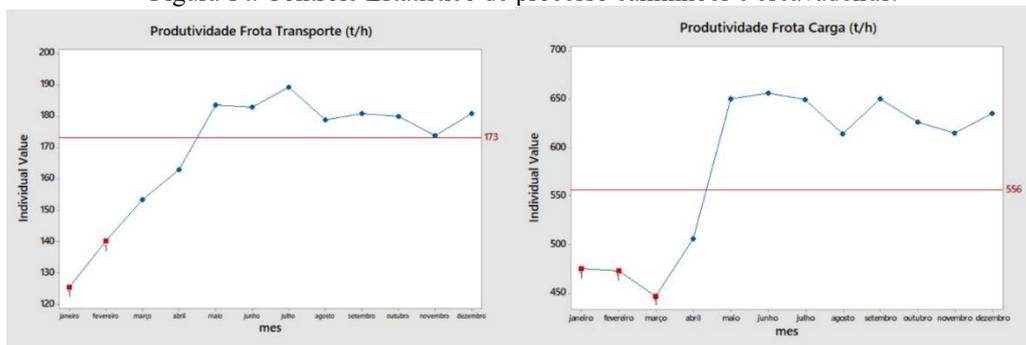


Fonte: autores, 2024.

3.4 METODOLOGIA LEAN SIGMA - FASE CONTROL

Com todas as ações colocadas em prática, iniciamos a etapa de controle dos resultados. Foi implantado um controle estatístico de processo (CEP) para acompanhar os resultados e evitar que o processo esteja fora de controle.

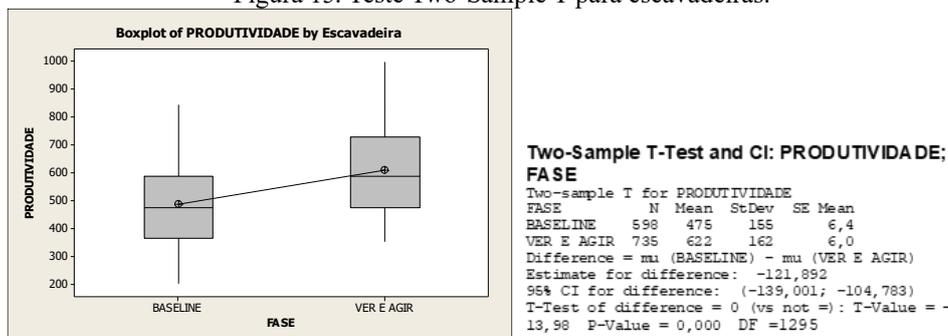
Figura 14. Controle Estatístico de processo caminhões e escavadeiras.



Fonte: autores, 2024.

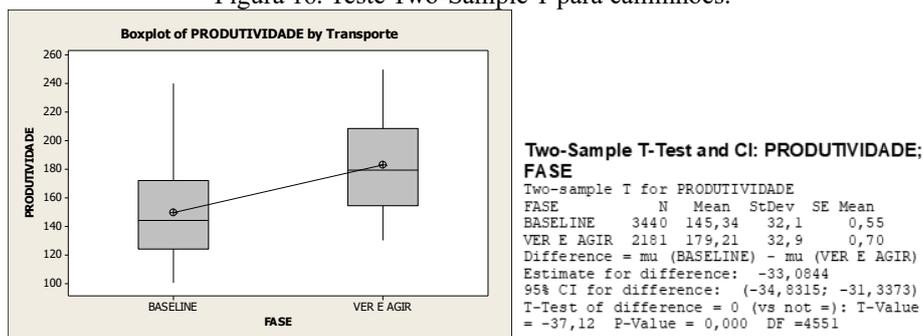
O teste Two Sample t-test (ou teste t para duas amostras) é uma análise estatística usada para determinar se há uma diferença significativa entre as médias de duas populações independentes. Foi realizado o teste Two-sample com o processo de escavadeira com a média de 622,83 t/h e de caminhão de 179,21 t/h.

Figura 15. Teste Two-Sample T para escavadeiras.



Fonte: autores, 2024.

Figura 16. Teste Two-Sample T para caminhões.



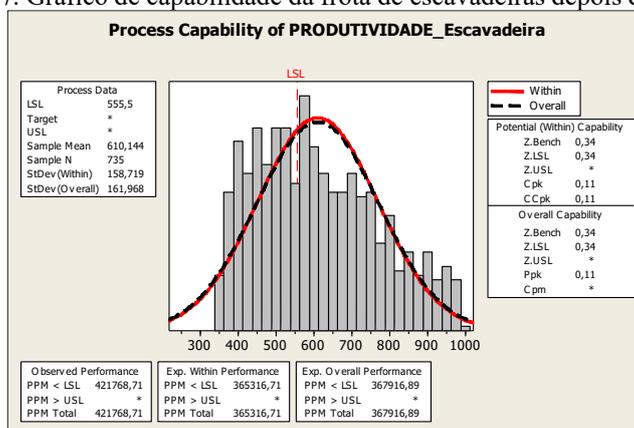
Fonte: autores, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado dos projetos, após realizadas todas as melhorias, podemos observar que o nível sigma (capabilidade) que mede o número de perdas por milhão chegou a 1,84 para escavadeiras e 1,8 para caminhões, melhorando assim significativamente os processos.

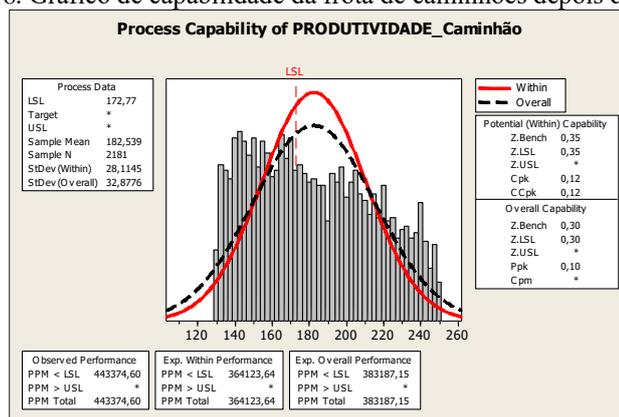
Após término do projeto, todas as metas estipuladas foram alcançadas. Através de uma análise detalhada e como resultado das ações realizadas para tais objetivos, conseguimos um aumento de produtividade global dos caminhões de cerca de 21% (a meta inicial era de 15%), e um aumento de produtividade efetiva das escavadeiras da ordem de 31%, (a meta de 14%), superando assim as metas inicialmente proposta.

Figura 17. Gráfico de capacidade da frota de escavadeiras depois do projeto.



Fonte: autores, 2024.

Figura 18. Gráfico de capacidade da frota de caminhões depois do projeto.



Fonte: autores, 2024.

5 CONCLUSÃO

Através desse projeto, com os ganhos em produtividade dos equipamentos de carga (31%) e transporte (21%), gerou-se ganhos financeiros relevantes estimados em R\$ 4.502.141 por ano e ganhos não financeiros com melhoria nas condições de segurança, bem estar dos colaboradores e redução da emissão de carbono pela economia de horas e diesel gerada com aumento da produtividade. O ganho com redução da emissão de carbono é estimado em 3.056 toneladas de carbono por ano. Além de ganhos financeiros do projeto, pode-se observar o desenvolvimento da metodologia Lean Seis Sigma, fomentando uma cultura de melhoria contínua e desenvolvimento técnico das pessoas, reforçando a importância do trabalho em equipe com um time multidisciplinar envolvendo pessoas de supervisão, engenheiros, analistas, operadores da mina e profissionais de outros setores como planejamento de mina e manutenção. O planejamento das ações e o envolvimento dos responsáveis foram fundamentais para o bom desenvolvimento das soluções, com qualidade e rapidez.

Podemos concluir que a metodologia Lean Seis Sigma e suas ferramentas, permitem de forma prática e eficiente, identificar e resolver problemas inerentes dos processos produtivos na mineração, auxiliando assim diversos profissionais e sociedade como um todo através dessa metodologia. Pode-se comprovar com esse estudo de caso, a aplicabilidade dessa metodologia com todas as etapas do DMAIC (Define, Measure, Analize, Improve, Control) e pode-se comprovar a sua eficácia, ao otimizar a produtividade da frota de escavadeiras e caminhões.

6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesse trabalho tivemos a aplicação da metodologia para aumento de produtividade dos equipamentos de carga e transporte na mineração, onde nesse escopo pode-se demonstrar sua eficácia através dos resultados. Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação e demonstração da metodologia Lean Seis Sigma para objetivos e em processos diferentes do aplicado, como setores de meio ambiente, segurança, manutenção, processamento, entre outros.



REFERÊNCIAS

BEZERRA, F. Diagrama de Pareto: O que é e como fazer. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/04/diagra-de-pareto-passo-a-passo.html>. Acesso em: 20 set. 2023.

CAMPELO, A.C; MARIN, T; TOMI, G. F. C. Utilização de dados do sistema de despacho para estimativa de produtividade de transporte no plano de lavra de curto prazo. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2018.

COUTINHO, H. L. Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

HARTMAN, H.L.; MUTMASKY, J.M. Introductory Mining Engineering. 2ª ed. Editado por Jhon Wiley & Sons, 2002.

HUSTRULID, W. A; KUCHTA, M; MARTIN, K. R.; Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack, Third Edition: Planning & Design. 2013.

KOCH, Richard. O Poder 80/20: Os segredos para conseguir mais com menos nos negócios e na vida. São Paulo: Gutenberg, 2015.

LEÃO, H. F.; NUNES, S. C.; TUPINAMBÁ, L. A. J.; JÚNIOR, A. P. S; ROBERTO, J. C. A.; JÚNIOR, J. R. L. P. Como o uso do Kaizen pode otimizar os processos da logística de armazenagem e distribuição na empresa estudada. REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO – Studies Publicações e Editora Ltda., Curitiba, v.21, n.9, p. 01-29. 2024.

OLIVEIRA, P. T.; FONTES, M. P.; JUNIOR, W. S. F.; Aumento da produtividade da operação unitária de transporte através do uso de telemetria. Tecnol Metal Mater Min. 2023;20:e2665 | <https://doi.org/10.4322/2176-1523.20222665>. 2023.

PACHECO, D. A. J.; Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. Revista Production. UFRGS. Porto Alegre. 2014.

PEDROSA, B. M.; RODRIGUES, M. D.; ARAUJO, D. E. L; Aplicação do seis sigma e da manutenção centrada em confiabilidade no setor de manutenção de uma empresa mineradora de minas gerais. XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. 2014.

PEREIRA, P. E. C.; GUIMARÃES, M. T. G.; SILVA, G. G.; DINIZ-PINTO, H. S.; ARAÚJO, R. P. Aplicação do lean seis sigma para melhoria da etapa de separação magnética de alta intensidade em uma empresa de mineração. Revista HOLOS, Ano 37, v.5, e9418, 2021.

PEREZ-WILSON, Mario. Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed.,1999.

PERONI, R. Manual de Operação de Lavra de Dimensionamento de Equipamentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

SILVA, Kariny Faria. A utilização da metodologia Seis Sigma para aumentar a taxa de perfuração das perfuratrizes Atlas Copco DM 30 em uma mina de minério de ferro. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade. 2019.