UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MINAS

ARTHUR GABRIEL MORAIS SANTANA

PROJETO LEAN SEIS SIGMA DE REDUÇÃO DO TEMPO DE ESPERA PARA BASCULAMENTO DOS CAMINHÕES CAT793 NA CSN MINERAÇÃO S.A.

OURO PRETO

2023

ARTHUR GABRIEL MORAIS SANTANA

PROJETO LEAN SEIS SIGMA DE REDUÇÃO DO TEMPO DE ESPERA PARA BASCULAMENTO DOS CAMINHÕES CAT793 NA CSN MINERAÇÃO S.A.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S232p Santana, Arthur Gabriel Morais.
Projeto Lean Seis Sigma de redução do tempo de espera para basculamento dos caminhões CAT793 na CSN Mineração S.A.. [manuscrito] / Arthur Gabriel Morais Santana. - 2023.
38 f.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e recursos minerais - Carregamento e transporte. 2. Lean Six Sigma. 3. Análises estatísticas. I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.68

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA MINERAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Arthur Gabriel Morais Santana

Projeto Lean Seis Sigma de redução do tempo de espera para basculamento dos caminhões CAT793 na CSN mineração S.A.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 28 de março de 2023

Membros da banca

PhD - Hernani Mota de Lima - Orientador (UFOP)
Dr - Felipe Ribeiro Souza - (UFOP)
Engenheira - Alessandra Cristina Azevedo Tavares - (CSN Mineração S.A.)

Hernani Mota de Lima, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/03/2023.

Documento assinado eletronicamente por **Hernani Mota de Lima**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/03/2023, às 21:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0500815** e o código CRC **339C812C**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: (31)3559-1593 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, primeiramente, por sempre iluminar o meu caminho e por me conceder forças para nunca desistir.

Aos meus pais, Sr. Aloisio Morais Santana Filho e Sra. Sandra Regina Gabriel Silva Oliveira, que foram meus alicerces em todos os momentos dessa trajetória.

Aos meus avós e todos os meus tios das famílias Gabriel e Santana, por todo o suporte e, principalmente, por toda a confiança e energia depositada em mim que foi fundamental para minha formação.

Agradeço à CSN Mineração S.A. e toda a Gerência de Operação de Mina pela experiência transmitida e oportunidade de evolução pessoal e profissional.

Ao Professor do Departamento de Engenharia de Minas – DEMIN, da Escola de Minas, Sr. Prof. Hernani Mota de Lima.

Aos demais professores da Escola de Minas, por todo ensino de qualidade ministrado durante a minha graduação.

RESUMO

Têm-se observado nos dias atuais nos mais variados setores de negócio formas e métodos que objetivam a melhoria e/ou redução de defeitos de processos produtivos, gerando assim maiores ganhos financeiros para as empresas. Este TCC visa apresentar um projeto de melhoria contínua que foi implementado na CSN Mineração S.A. O projeto se desenvolveu através da utilização da ferramenta Lean Seis Sigma, visto que foi necessária a realização de diversas análises estatísticas para controlar o processo e desenvolver um plano de ações necessárias para reduzir o tempo de espera para basculamento dos caminhões fora-de-estrada. O trabalho alcançou a meta estipulada na definição do problema e, com a redução evidenciada do tempo de espera em 49%, foi possível validar um ganho em movimentação de 476.680 t de material no período decorrido entre o fim das ações até o fim de 2022, evidenciando assim a eficiência da implementação do trabalho.

Palavras-chaves: Melhoria contínua, Lean Seis Sigma, Tempo de Espera para basculamento, Análises estatística.

ABSTRACT

It has been observed nowadays in the most varied business sectors forms and methods that aim at the improvement and/or reduction of defects in production processes, thus generating greater financial gains for the companies. This TCC aims to present a continuous improvement project that was implemented at CSN Mineração S.A. The project was developed through the use of the Lean Six Sigma tool, since it was necessary to perform several statistical analyses to control the process and develop a plan of actions required to reduce the waiting time for dumping of off-road trucks. The work reached the goal stipulated in the problem definition and, with the evident reduction of the waiting time by 49%, it was possible to validate a gain in handling of 476,680 tons of material in the period between the end of the actions until the end of 2022, thus evidencing the efficiency of the work implementation.

Keywords: Continuous improvement, Lean Six Sigma, Dump wait time, Statistical analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Britador primário 1 18
Figura 2 - Britador primário 2 18
Figura 3 - Etapas DMAIC 20
Figura 4 - Diagrama de Ishikawa 26
Figura 5 - Limpeza do silo e reposicionamento dos boxes..... 31
Figura 6 - Controle manual do semáforo para o operador da britagem..... 32
Figura 7 - Circuito de alocação dinâmica dos caminhões 32
Figura 8 - Sistema de acompanhamento das informações dos britadores (PI Vision) 32
Figura 9 - Relatório de comparação da capacidade de antes/depois da baseline do projeto 34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo de Espera para Bascular - global 21
Gráfico 2 - TEB por destino 22
Gráfico 3 - Gráfico de séries temporais 23
Gráfico 4 - Relatório Resumo 23
Gráfico 5 - Relatório de capacidade 25
Gráfico 6 - Análises de boxplot das variáveis 27
Gráfico 7 - Evolução do TEB ao longo do projeto 33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais litologias utilizadas na alimentação 19
Quadro 2 - Plano de ação..... 30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVOS 11
2.1 Objetivo Geral 11
2.2 Objetivo Específico 11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12
3.1 Melhoria continua 12
3.2 Ferramentas de melhoria contínua 12
3.2.1 Lean Seis Sigma 12
3.2.2 Kaizen 13
3.2.3 CCQ 14
4 ESTUDO DE CASO 16
4.1 A empresa 16
4.2 Descrição dos processos da Mina 16
4.2.1 Lavra 16
4.2.2 Britagem primária 17
4.3 Litologias de minério 19
5 METODOLOGIA 20
6 RESULTADOS E DISCUSÕES 21
6.1 Definição 21
6.2 Medição 24
6.3 Análises 25
6.3.1 Ishikawa 26
6.3.2 Principais variáveis 27
6.4 Implementação 29
6.5 Controle 33
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 36
REFERÊNCIAS 37

1 INTRODUÇÃO

O ramo da mineração é um ambiente competitivo, de crescente evolução tecnológica e que carece de eficiência e qualidade no decorrer de todo o processo produtivo. Sendo assim, as empresas de mineração têm uma constante preocupação de manter a cultura de desenvolver projetos e conduzir pesquisas que buscam garantir uma excelência operacional em seus mais variados setores.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) trata de um projeto de melhoria contínua baseado na metodologia Lean Seis Sigma que foi implementado na mina de Casa de Pedra da CSN Mineração S.A., em sua Gerência de Operação de Mina. O TCC faz parte de projetos desenvolvidos na CSN Mineração que visam a redução de atrasos operacionais dentro dos ciclos dos caminhões de grande porte. O projeto contou com a participação de uma equipe multidisciplinar de trabalho, composta de colaboradores das áreas de planejamento, operação de mina e produção de britagem.

Este TCC é composto de 7 capítulos, incluído esta introdução, a qual trata brevemente da apresentação do trabalho, em sequência são expostas as intenções do trabalho, a revisão bibliográfica do tema abordado, o estudo de caso com as partes envolvidas na execução do projeto, a metodologia utilizada, o desenvolvimento detalhado e, por fim, as considerações finais acerca dos resultados alcançados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o procedimento operacional, identificar problemas e propor melhorias acerca do tempo de espera para basculamento dos caminhões de fora-de-estrada em uma mina a céu aberto de grande porte. A melhoria proposta para processo foi baseada na ferramenta de melhoria contínua Lean Seis Sigma que visa o aumento da produtividade da frota de transporte a partir da redução deste tempo.

2.2 Objetivo Específico

- Exposição das principais ferramentas de melhoria contínua, de forma a auxiliar na escolha do método mais adequado para o projeto.
- Identificar ganhos em movimentação de massa após implementação da melhoria.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Melhoria continua

A Melhoria Contínua (MC) possui estreita relação com a Inovação de produtos e processos. Além da introdução de novos produtos e processos, os consumidores cada vez mais exigentes e o mercado em constante transformação exigem que esses possuam níveis de desempenho cada vez melhores, o que pode ser obtido com o uso de programas de MC. A compreensão e o estudo das relações entre esses dois temas são de fundamental importância para as organizações (IRANI *et al*., 2004).

A MC pode ser conceituada de forma simples e direta como feita por Caffyn e Bessant (1996): “Melhoria contínua é um processo, em toda a empresa, focado na inovação incremental e contínua”. O foco da mudança pode ser em produtos, processos produtivos e organizacionais (GARCIA; CALANTONE, 2002; TONNESSEN, 2005).

Pode-se também visualizar toda essa definição de uma maneira mais genérica e didática, como proposta por Slack *et al*. (1997), partindo de uma constante análise estruturada de desempenho das etapas de um determinado processo produtivo, de forma que possa identificar possíveis gargalos e falhas em tal linha de produção, que são focos de atenção e que necessitam de melhoria. Com isto, opta-se por procedimentos de melhoria contínua e/ou de inovação neste processo.

3.2 Ferramentas de melhoria contínua

A CSN Mineração possui uma forte corrente de melhoria contínua em seus diversos processos, e isso se dá através de algumas ferramentas metodológicas de trabalho. Dessa forma, são expostas a seguir algumas dessas principais ferramentas utilizadas na organização.

3.2.1 Lean Seis Sigma

Segundo Werkema (2006), a junção das ferramentas *Lean Manufacturing* e Seis Sigma resulta no programa denominado Lean Seis Sigma.

O Seis Sigma se refere a uma tentativa de alcançar uma maior satisfação dos clientes de determinada produção a partir da melhoria contínua gerada pela variação em qualquer

procedimento e redução de erros e falhas. Tal ferramenta segue a metodologia de trabalho do DMAIC, sigla que se refere aos passos: Definir – Medir – Analisar – Implementar – Controlar. O principal parâmetro analisado durante esses trabalhos é o nível Sigma (σ), sigla grega que nesse contexto significa o índice de variação na média de um determinado processo (RASIS, 2003; MITCHELL, 1992).

O índice Sigma é divido em uma escala que varia de 0 ao 6, de forma que quanto maior for o nível sigma, menor será a variabilidade do processo.

Já o *Lean Manufacturing* tem como fundamento a busca por uma linha de produção mais enxuta, de forma a eliminar desperdícios em qualquer etapa, fazendo com que as corporações obtenham um maior progresso da produtividade e um maior e melhor retorno dos investimentos financeiros. Segundo Ohno (2007), são sete os tipos de desperdício que visam ser reduzidos pelo Lean, são eles: defeito nos produtos, excesso de produção, processamento, movimentação e transporte desnecessários, tempo de espera e estoque de mercadorias.

Assim fundamenta-se o Lean Seis Sigma, que é uma metodologia de melhoria de negócios que maximiza o valor do acionista ao alcançar a taxa de melhoria mais rápida em satisfação de clientes, custos, qualidade, velocidade de processos e capital investido (GEORGE, 2004).

3.2.2 Kaizen

De acordo com definição proposta por Rother e Shook (1999), o Kaizen se trata de uma metodologia de melhoria contínua, seja de um processo individualizado ou até mesmo de um fluxo completo de valor e produção, a fim de se obter uma maior agregação de valor com redução de desperdício.

Método pode ser dividido em duas vertentes:

- Kaizen de fluxo (ou sistema): com foco no fluxo de valor, elaborado ao gerenciamento.
- Kaizen de processo: Com ênfase em processos individualizados, elaborado por equipes de trabalho e/ou líderes de equipes.

Seguindo essa mentalidade, existem os eventos e projetos de kaizen, que são caracterizados por um time enxuto que propõe uma rápida e pontual implantação de ações a fim de resolver problemas ou erros que possuem soluções claras (um dos fatores diferentes da metodologia Lean Seis Sigma, que trata de casos em que não existem soluções claras de início).

Segundo Brandão (2014), a metodologia do kaizen por muitas vezes pode ser explicado e comparados com as ações “ver e agir”, indicando que que se trata de problemas que possuem soluções facilmente identificadas, podendo ser rapidamente implantadas, levando resultados imediatos à determinado processo.

Eventos kaizen eventualmente podem fazer parte de projetos maiores de melhoria contínua dentro de organizações, como trabalhos de Lean Seis sigma, exemplo a ser apresentado na metodologia deste TCC. Isso acontece quando, dentro do plano de ação de projetos maiores, são identificadas algumas ações pontuais de imediato, que por si só têm potencial de gerar melhorias em parte do processo.

3.2.3 CCQ

Uma outra ferramenta de trabalho de melhoria contínua incentivada pela corporação é a de Círculos de Controle de Qualidade (CCQ)

Segundo definição de Ishikawa (1985), a ferramenta CCQ refere-se a um “pequeno grupo de trabalhadores, a partir do mesmo local de trabalho, que se reúnem numa base voluntária regular para realizar atividades de controle de qualidade e envolver-se em autodesenvolvimento mútuo”.

De acordo com Schonberger (1983), os objetivos dos Círculos de Controle de Qualidade são:

- Aumentar a motivação e a autorrealização dos colaboradores através da oportunidade de participação na solução dos problemas da empresa;
- Melhorar a comunicação e o relacionamento humano;
- Entender as necessidades dos processos e clientes; aumentar a produtividade do trabalho;
- Promover a melhoria contínua em seus processos, produtos e serviços;
- Reduzir custos e diminuir perdas; compartilhar;
- Implantar novas ideias; garantir a qualidade dos produtos;

Para Mintzberg (2010), o CCQ é considerado uma eficiente maneira de trabalhar a evolução de cultura pela qual a empresa passa a adotar meios de incentivar seus colaboradores a participar de programas de melhoria através dos projetos e trabalho em equipe.

Os trabalhos que têm como princípio tal metodologia são normalmente elaborados por equipes de trabalho grandes, podendo ser de até 12 pessoas, que passam a ser capacitadas para

essa “Cultura de qualidade”, podendo gerar frutos não só para um determinado trabalho ou processo específico de produção, mas também em todos os projetos e ações destas pessoas qualificadas.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A empresa

A CSN Mineração S.A. é responsável pela segunda maior taxa de exportação de minério de ferro do Brasil e figura entre as cinco maiores empresas do setor no mercado mundial. A empresa é detentora das Minas de Casa de Pedra, do Engenho e de Fernandinho, o complexo de beneficiamento do Pires, participação na ferrovia MRS e terminal reservado para a comercialização externa de minério de ferro no Porto de Itaguaí – RJ (TECAR).

A Mina de Casa de Pedra, que atualmente é o principal ativo da CSN Mineração S.A., começou a ser operada no início do século XX por empresários europeus utilizando técnicas rudimentares de pesquisa e lavra mineral. No ano de 1946 a mina de Casa de Pedra foi incorporada à então empresa estatal Companhia Siderúrgica Nacional, criada em 1941 por decreto do presidente Getúlio Vargas.

Ao final do século XX a estatal foi privatizada e depois de duas décadas, juntamente com investimento exterior, deu-se início a formação da CSN Mineração S.A. aqui tratada.

4.2 Descrição dos processos da Mina

Uma mineração compreende diversas etapas que vão desde à pesquisa e estudos da jazida ao beneficiamento mineral, dando assim origem ao produto final. Porém este TCC tem por foco as etapas de lavra e britagem primária, objeto deste estudo.

4.2.1 Lavra

A jazida da Mina de Casa de Pedra é lavrada a céu aberto pelo método de lavra por bancadas. Tal método é constituído de produção de grande escala, proporcionando altas taxas de produção e é responsável por mais de 60% de toda a produção a céu aberto (Hartman; Mutmansky, 2002).

O desenvolvimento se dá pela remoção de capeamento estéril que é transportado até regiões delimitadas para disposição desde material de forma a expor as frentes de minério para sua extração. O minério lavrado é transportado por caminhões fora-de-estrada para os britadores primários ou para estoques de oportunidade, que são geralmente formados seguindo estratégia

da companhia, podendo ser aproveitado em curto ou longo prazo, a depender de características litológicas e de mercado.

Os avanços de lavra neste método, seja de estéril ou de minério, são desenvolvidos em uma ou mais bancadas em sequência (CURI, 2017).

Todas as principais etapas de operação na Mina de Casa de Pedra são realizadas com utilização de equipamentos de grande porte, com frotas dimensionadas de acordo com a capacidade de produção, as geometrias das cavas e a geologia da jazida, como sugerido por Borges (2013).

A etapa de escavação e carregamento é realizada por escavadeiras e carregadeiras de grande porte, que têm produtividade média acima de 2.000 t/h. O transporte de material ocorre com auxílio de caminhões CAT793 que possuem capacidade de 240 t, com produtividade média acima de 400 t/h.

4.2.2 Britagem primária

De acordo com Figueira, Luz e Almeida (2010), a britagem primária pode ser definida como uma etapa do processo de cominuição que objetiva a fragmentação de blocos prevenientes diretamente de uma mina ou pedreira. Para esta etapa, são utilizados britadores de grande porte que operam normalmente em circuito aberto e sem a presença de água.

Na empresa em questão, são dois os britadores primários utilizados:

- "Britador 1" (Allis Chalmers 6089 – 1978), que é um britador do tipo giratório, com Top Size de 1.220mm e taxa usual de 3.500 t/h, sendo responsável por 30% da produção; (FIG. 1).

Figura 1 - Britador primário 1

Fonte: O autor (2023)

- “Britador 2” (Metso C140 – 2009), que é um britador de mandíbulas, com Top Size de 856mm e taxa usual de 4.500 t/h, sendo responsável por 70% da produção (FIG. 2);

Figura 2 - Britador primário 2

Fonte: O autor (2023)

Ambos representam os principais destinos de todo o minério lavrado e/ou retomado dos estoques, de forma que os caminhões em operação despejam o minério diretamente na estrutura do britador, mediante autorização deste.

4.3 Litologias de minério

O modelo geológico existente na mina é considerado complexo e com uma grande diversidade de materiais, tanto dos considerados estéril, quanto daqueles que contêm um teor significativo de ferro.

O Quadro 1 apresenta as litologias de minério observadas:

Quadro 1 - Principais litologias utilizadas na alimentação

Litologia	**Descrição**
HBA	Hematita Branda
HCP	Hematita Compacta
ICR	Itabirito Compacto Rico
IBR	Itabirito Brando Rico
IBS	Itabirito Brando Silicoso
CEL	Colúvio
BRS	Brecha Sedimentar Mineralizada

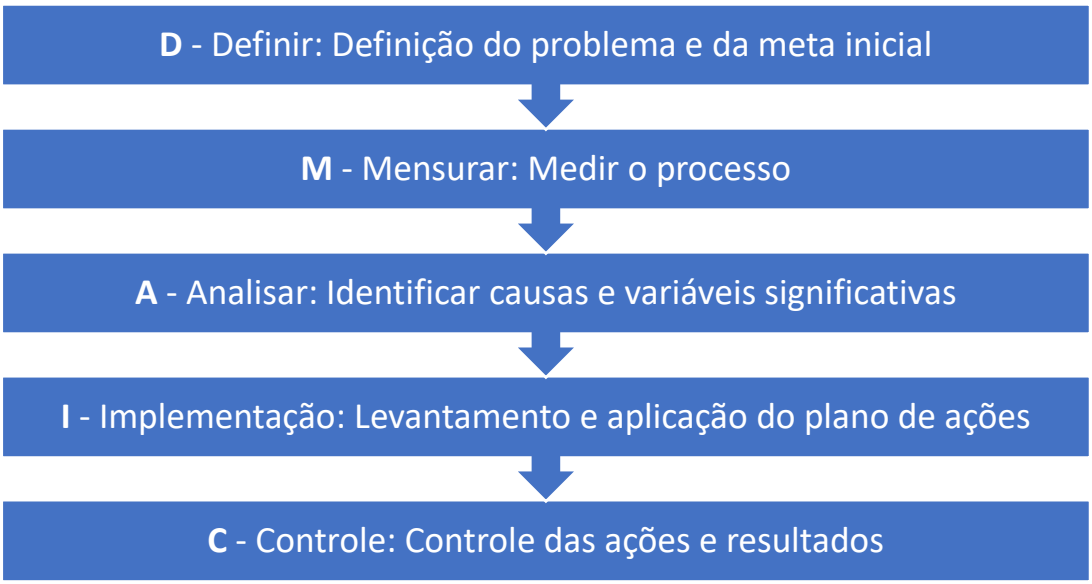
Fonte: O autor (2023)

5 METODOLOGIA

O projeto exposto neste trabalho de conclusão de curso foi realizado no ano de 2022 na empresa CSN Mineração. O objetivo inicial do projeto foi a redução do Indicador de Tempo de Espera para Basculamento dos caminhões (TEB). Este indicador se refere ao tempo existente entre o fim da manobra e início do levantamento da báscula (caçamba) do equipamento em seu local determinado de despejo do material (britadores, estoques, pilhas de estéril, entre outros).

Para tal projeto de melhoria contínua, foi designado a utilização da metodologia Lean Seis Sigma, com base nas etapas do DMAIC (FIG. 3), as quais são expostas e ordenadas em sequência.

Figura 3 - Etapas DMAIC



Fonte: O autor (2023)

Como ferramentas de suporte para a realização do projeto, foram utilizados os softwares *Microsoft Excel* e *Minitab*. Ambos são eficientes programas para a realização de análise e controle de dados.

6 RESULTADOS E DISCUSÕES

6.1 Definição

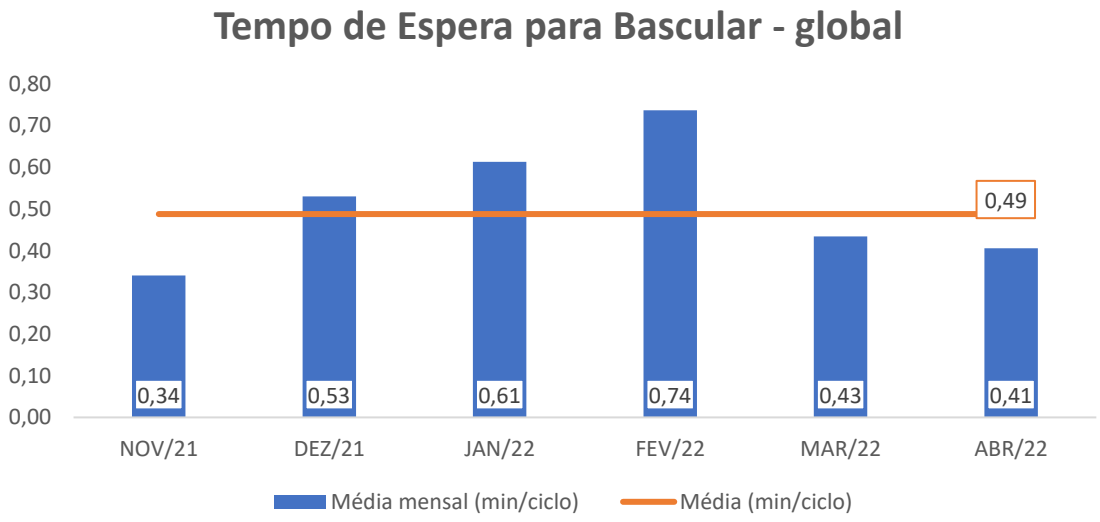
Na fase inicial, que é a etapa de definição (define), foi realizado um estudo sobre o indicador a ser trabalhado a fim de definir uma meta para o projeto, bem como criar uma estrutura para todo o decorrer deste.

De começo, foi definido um período de estudo do KPI (baseline), o qual se torna o período de base para realização de análises durante o projeto. Tal período definido foi entre o dia 01/11/2021 e o dia 31/04/2022, um total de 6 meses. Vale destacar que o TEB começou a ser mensurado na mina apenas no dia 14/10/2021, o que justifica a escolha do início da baseline.

Na primeira etapa do estudo do indicador, procurou-se entender a média do tempo em questão ao longo da baseline e quais os destinos de basculamento que mais impactavam no elevado tempo.

Nesta primeira análise, foi identificado que a média do TEB era de 0,49 minutos a cada ciclo de transporte realizado na mina, como segue no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Tempo de Espera para Bascular - global



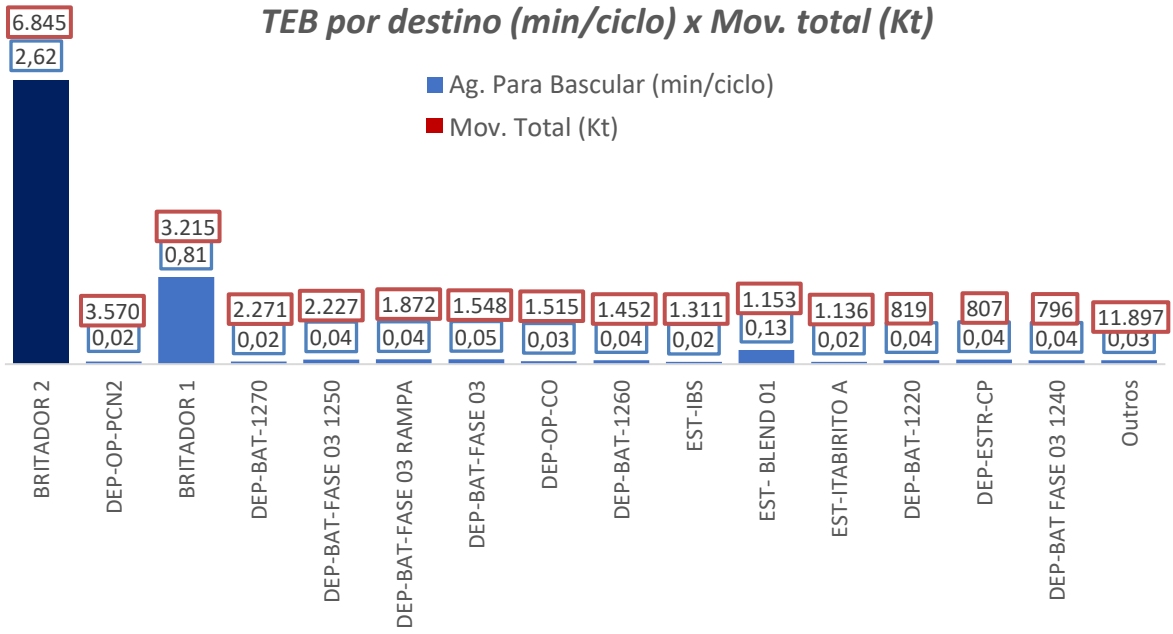
Fonte: O autor (2023)

Para desmembrar esse tempo médio realizado, a fim de entender em qual(is) destino(s) esse tempo mais se destacava, foi criado uma relação para identificar qual a média do KPI em cada um dos principais destinos de descarregamento da mina, seja de minério ou de estéril. Assim, foi possível chegar no Gráfico 2, com os destinos organizados em ordem decrescente em relação a quantidade de massa recebida durante a baseline (número com contorno em

vermelho), e o tempo médio em cada um destes destinos (colunas e números com contorno em azul).

Com isso, foi possível identificar que o tempo de aguardando para bascular dos caminhões foi expressivamente maior no britador 2 em relação aos demais destinos. Considerando ainda que o britador 2 foi o destino que recebeu maior massa no período em questão, o problema se torna ainda maior. Mais precisamente, de todo o tempo somado durante o período, o percentual de 82,3% foi representado apenas pelo britador 2 (GRAF. 2).

Gráfico 2 - TEB por destino



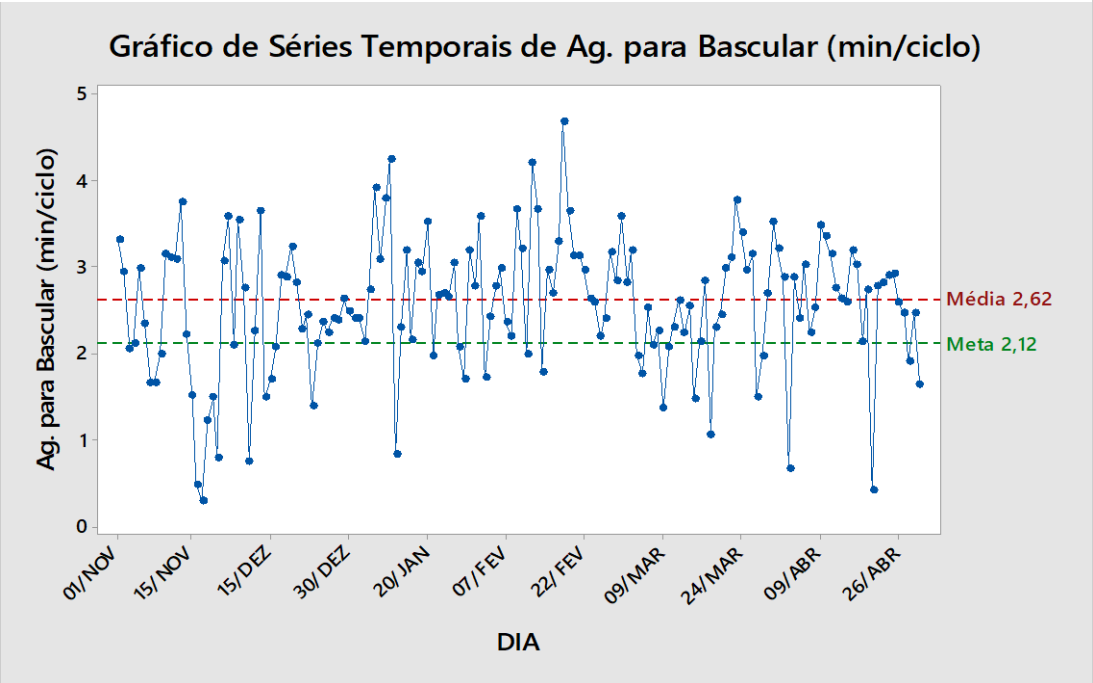
Fonte: O autor (2023)

Dessa forma, com o estudo dessas primeiras análises, o foco maior deste projeto concentrou-se no britador 2, visto que grande parte do problema está relacionado com os ciclos que tem este destino.

Após esse alinhamento, foram realizadas análises mais aprofundadas desde KPI. A começar pelo relatório resumo e o estudo da média diária do indicador em questão durante a baseline. Assim, determinou-se a meta para o projeto, que é de reduzir o tempo de aguardando para bascular dos caminhões no britador 2 de 2,62 min/ciclo para 2,12 min/ciclo (redução de 19%) (GRAF. 3 e 4).

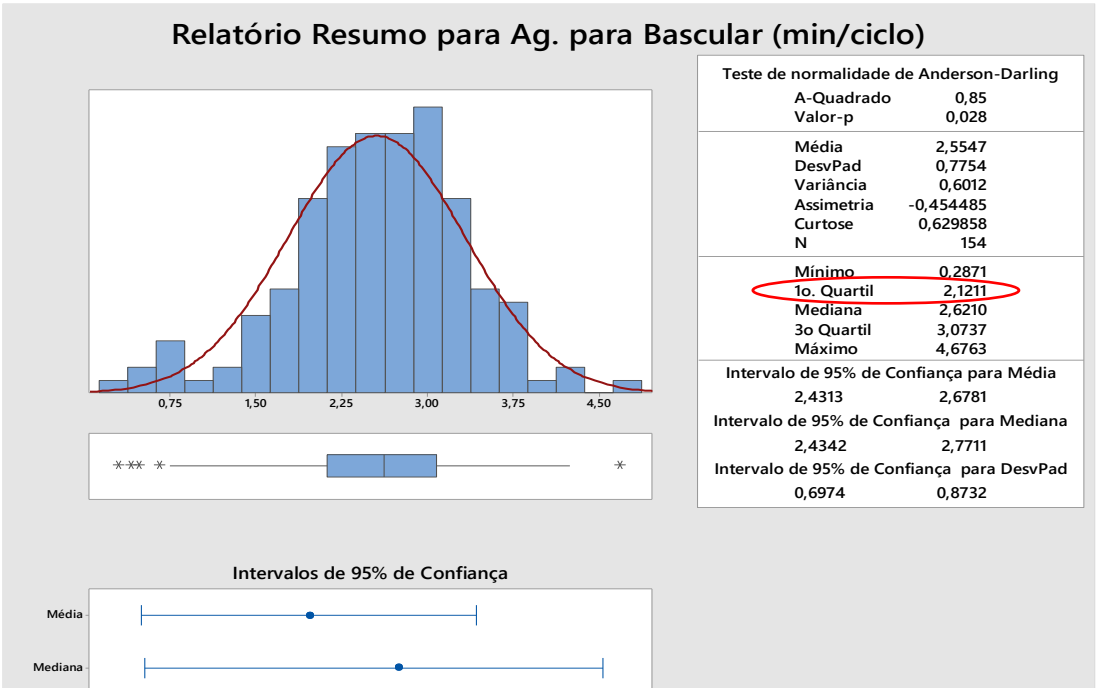
Reduzindo assim o KPI global de 0,49 min/ciclo para 0,41 min/ciclo. Tal meta foi definida a partir da análise do primeiro quartil da baseline.

Gráfico 3 - Gráfico de séries temporais



Fonte: O autor (2023)

Gráfico 4 - Relatório Resumo



Fonte: O autor (2023)

Com esse novo alinhamento, foi realizado visitas em campo a fim de validar esse problema que se mostrava ser muito maior no britador 2. Em algumas destas, foi possível observar ciclos que ficaram mais de 10 minutos no código de “Aguardando para bascular”, situação que dificilmente seria vista em outro destino. Podendo-se, assim, constatar que a problemática naquele britador é realmente grave. Dessa forma, o projeto seguiu para as próximas etapas, a fim de entender melhor o processo em questão.

6.2 Medição

Com a base de dados inicial consolidada e a meta definida, partiu-se para a medição do nível sigma do processo (measure). Importante etapa para entender, a partir da mensuração deste parâmetro, como se comporta o processo, bem como as falhas existentes neste.

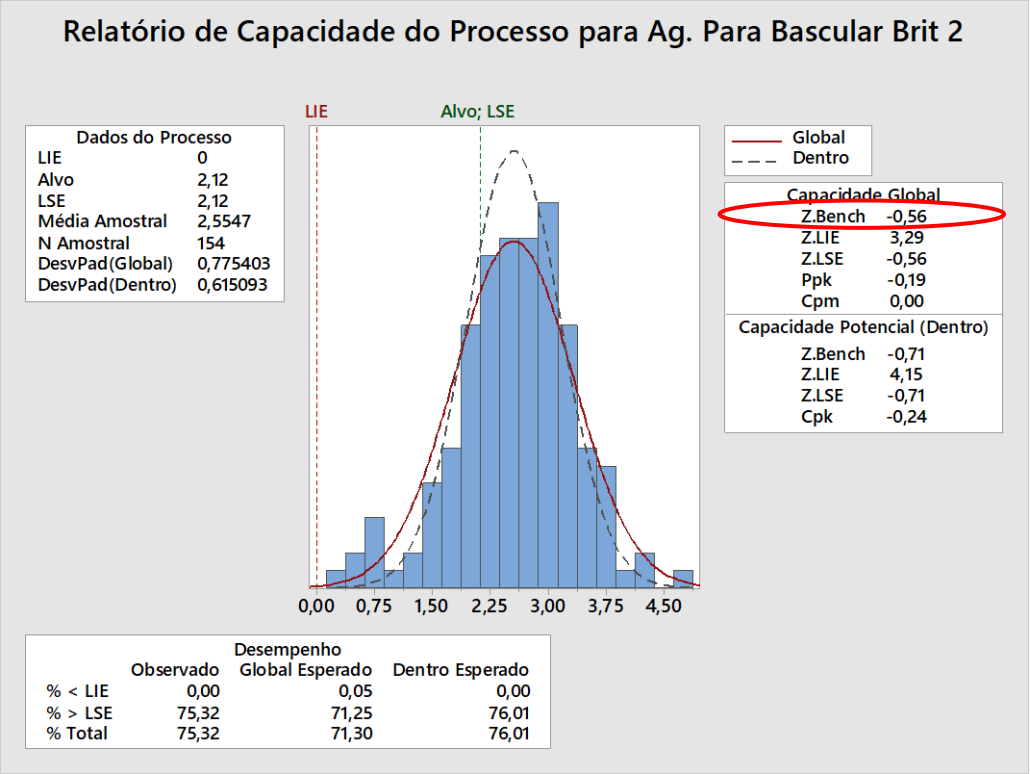
Nesse cenário, o principal objetivo desta fase é a determinação do nível sigma do processo, que pode ser encontrado a partir de informações provenientes do relatório de Capacidade do Processo. Segundo metodologia, o nível sigma (σ) é calculado utilizando o valor do “Z.Bench” de um determinado processo, a partir da seguinte relação:

$$\sigma = Z.Bench + 1{,}5$$

O *Z.Bench* é um valor de benchmark (processo destinado a melhorar o desempenho e os procedimentos de uma empresa) capaz de descrever a capacidade sigma de um processo com dados de medição.

Assim chegou-se no seguinte relatório de capacidade (GRAF. 5).

Gráfico 5 - Relatório de capacidade



Fonte: O autor (2023)

Chegando assim no seguinte cálculo:

$$\sigma = -0{,}56 + 1{,}5$$

$$\sigma = 1{,}06$$

Analisando este resultado encontrado, pode-se entender que o processo em questão apresenta um nível baixo de desempenho, representando uma alta margem de desvio entre os dados e um padrão de qualidade mínimo. Ou seja, se trata de um cenário oposto àquilo que um projeto deve almejar.

6.3 Análises

Com o sistema já mensurado, parte-se então para algumas análises mais aprofundadas no mesmo. Com o objetivo de gerar argumentos que embasem o plano de ações do projeto e

reduzir brechas entre os dados aferidos e as metas já estipuladas, é realizado um estudo das causas do problema e uma análise estatística arrojada para as possíveis variáveis que possam afetar nos números ruins.

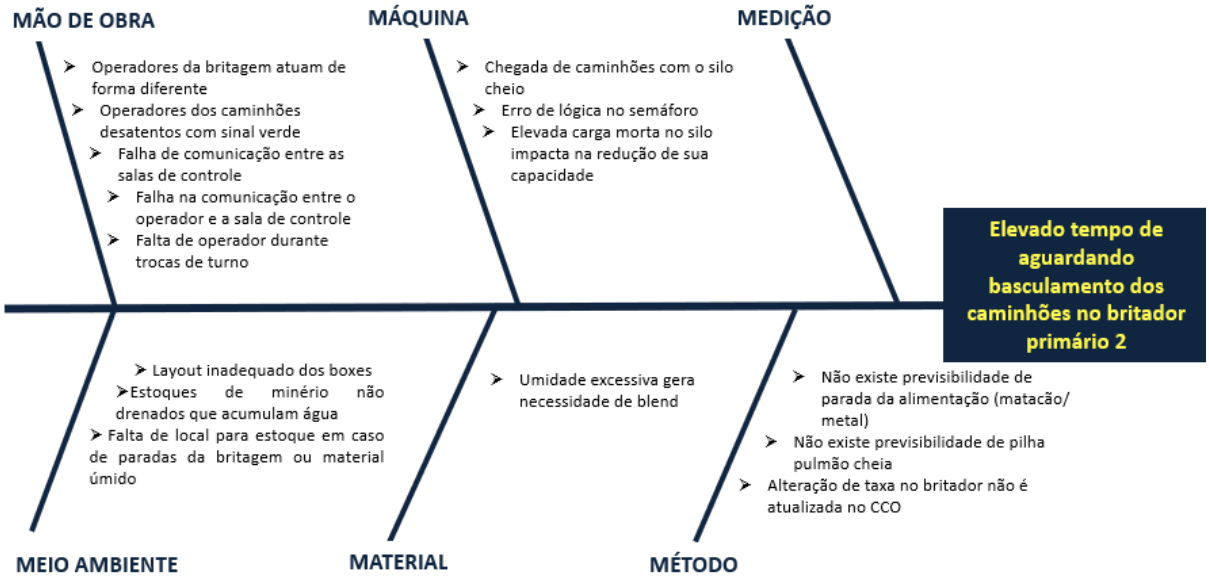
6.3.1 Ishikawa

A primeira parte das análises trata do levantamento das causas raízes que influenciaram diretamente no elevado TEB no britador 2.

Essa busca é feita por meio da utilização da ferramenta chamada Diagrama de Ishikawa (ou diagrama de espinha de peixe, devido a sua estruturação característica), recurso que contribui na evolução da visualização gráfica e é largamente utilizado no gerenciamento e controle de processos diversos, segundo Falconi (1989). Este diagrama, que foi criado pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa no ano de 1943, permite organizar hierarquicamente as causas de determinado processo problemático de acordo com seis categorias: Mão de obra, Máquina, Medição, Meio ambiente, Material e Método.

Com a contribuição de todos os integrantes do projeto, chegou-se na construção do diagrama de Ishikawa do trabalho (FIG. 4). Por meio deste, foi possível levantar 15 causas raízes das variadas categorias que impactam diretamente nos elevados tempos de espera para basculamento.

Figura 4 - Diagrama de Ishikawa



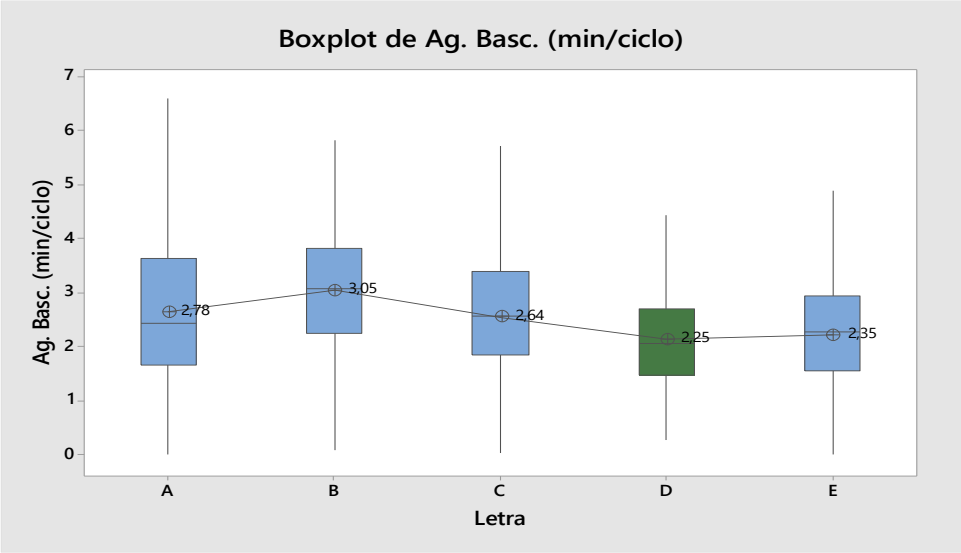
Fonte: O autor (2023)

6.3.2 Principais variáveis

Juntamente com a discussão acerca dos fatores de impacto negativo no sistema, realizou-se também uma investigação de variáveis que poderiam apontar diferenças significativas dentro da base de dados.

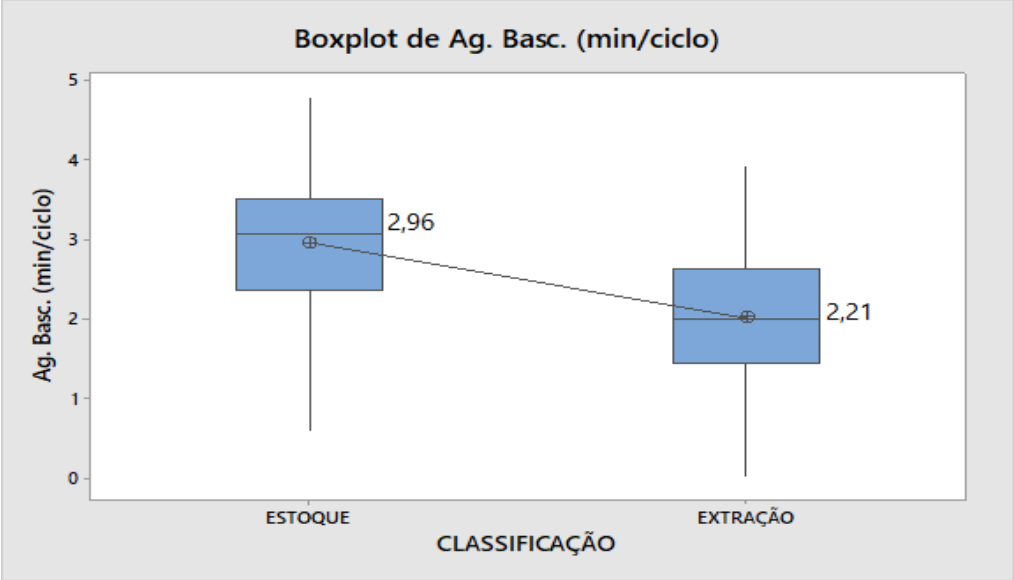
Assim, foi realizado um estudo estatístico minucioso do comportamento dos dados diante de variáveis como: Dias da semana, hora do dia, turno de trabalho, litologias de material alimentado e classificação do material. Sendo estas 3 ultimas variáveis as que mais demonstraram ser significativa no processo, como segue nos gráficos de Boxplot (estilo de gráfico adequado para expor e interpretar uma base de dados quantitativa, possibilitando observar sua distribuição de forma mais efetiva) em seguida, juntamente com suas análises de variância (GRAF. 6).

Gráfico 6 - Análises de boxplot das variáveis



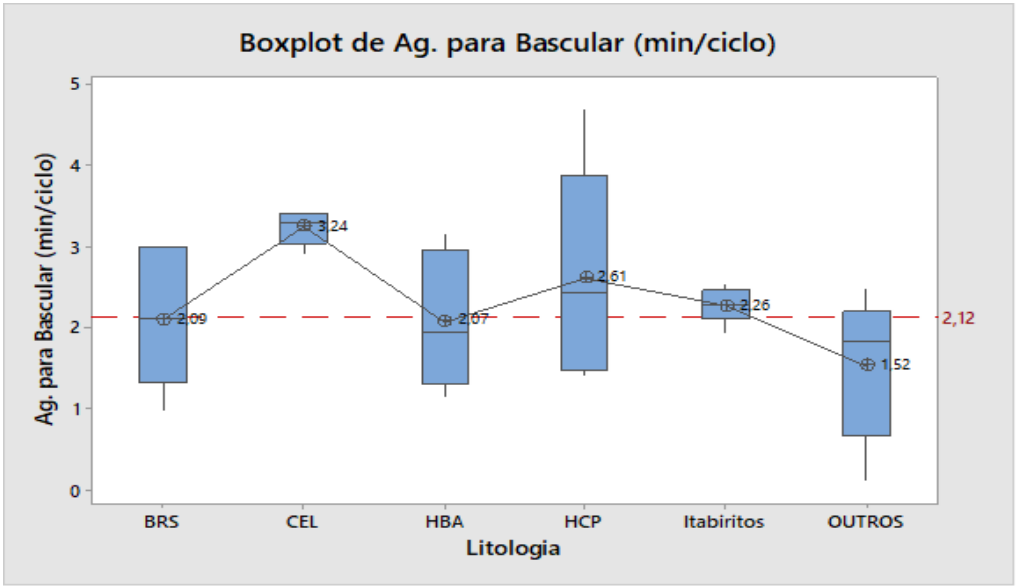
Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Letra	4	58,12	14,531	10,04	0,000
Erro	547	791,31	1,447		
Total	551	849,43			



Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
CLASSIFICAÇÃO	1	35,75	35,7518	44,34	0,000
Erro	199	160,46	0,8064		
Total	200	196,22			



Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Litologia	5	9,922	1,9844	3,18	0,021
Erro	29	18,115	0,6247		
Total	34	28,037			

Fonte: O autor (2023)

Nestas análises, deve-se dar um foco na coluna do “Valor-P” a fim de identificar se determinada variável estudada é considerada significativa para o processo.

O Valor-P é, por teoria, a probabilidade de se identificar um resultado da estatística de teste maior ou igual ao encontrado, tendo como base o valor de corte de 0,05 (FERREIRA; PATINO, 2015). Assim, sempre que tal valor apresentar um número maior do que 0,05, pode-se dizer que se refere a variáveis sem nenhuma diferença relevante para o sistema. Caso contrário, é correto afirmar que se trata de um caso com diferença estatisticamente significativa entre grupos de variáveis.

No caso do atual projeto, dentre as diversas análises de variância realizadas, as 3 aqui apresentadas foram as que apresentaram um Valor-P abaixo de 0,05, ou seja, apontam diferenças significativas que interferem no sistema estudado.

O primeiro Gráfico 6, que trata das diferenças sobre as Letras (turnos), aponta um valor-P de 0,000. Inferindo que as diferentes equipes de trabalho e operadores envolvidos atuam de forma diferente no processo, podendo indicar problemas como falha humana, atraso na comunicação, interpretação diferente do problema, entre outros.

O segundo Gráfico 6, que trata das diferenças sobre a classificação do material alimentado nos britadores, que pode ser dividido entre “Extração”, que é a massa proveniente diretamente das frentes de lavra com minério in situ e “Estoque”, que se trata da massa vinda de estoques de minério, os quais são feitos de acordo com oportunidade e/ou estratégia da empresa. É valido mencionar que nesta variável já pode ser observada a questão de umidade de material, visto que os estoques não são drenados, podendo assim acumular um percentual de umidade acima do ideal para a britagem.

O terceiro Gráfico 6, que trata das diferenças sobre as Litologia do minério utilizado, as quais foram mencionadas na tabela 1. O foco nesta análise também está relacionado à umidade do material, visto que há aqueles que são considerados hidratados, ou seja, possuem uma maior capacidade de reter umidade em períodos chuvosos, principalmente. Dentre estes, aquele que é o mais utilizado e mais gera impacto no processo é o CEL (colúvio), minério de origem sedimentar e de grande incidência na mina, sendo responsável por boa parte da alimentação do britador 2.

6.4 Implementação

Partindo das causas raízes apontadas no diagrama de Ishikawa do item 6.3.1. o trabalho segue para a elaboração do plano de ações que visam a melhoria do processo. Das 15 causas

levantadas inicialmente, 8 dessas foram trataras como prioritária pela equipe de trabalho, criando assim soluções de ataque direto a essas causas, como mostrado na Quadro 2 e Figuras 5, 6, 7, 8.

Cada uma das ações realizadas gerou um impacto positivo no processo. Ao limpar e reposicionar os boxes do britador, houve uma maior utilização do espaço útil daquela estrutura (FIG. 5). Com o controle manual do semáforo (FIG. 6), a autorização do basculamento passou a ser mais ágil pelo operador. Com a alocação dinâmica dos caminhões (FIG. 7), houve um maior dinamismo na alocação dos caminhões para os destinos, evitando um sobrecarregamento da britagem primária. E com a implementação da tela do PI Vision na sala de controle da mina (FIG. 8), a destinação de caminhões para a britagem passou a ser mais precisa e atenta a eventuais problemas produção dos britadores que possam impactar na alimentação.

Quadro 2 - Plano de ação

	CAUSAS RAÍZES	AÇÕES
1	Umidade excessiva gera necessidade de blendagem	Rever e aprimorar gestão de caminhões em casa de blendagem
2	Chegada de caminhões com o silo cheio	Limpeza do silo do britador e reposicionamento dos boxes de chegada dos caminhões
3	Operadores da britagem atuam de forma diferente ao receber caminhões para alimentação	Teste de *job rotation* entre as letras
4	Operadores dos caminhões desatentos com o sinal verde	Implantação de sirenes que acionam juntamente com o sinal verde
5	Falha na comunicação entre o operador da britagem e a sala de controle do semáforo	Implantação do controle do semáforo diretamente pelo operador da britagem
6	Chegada de caminhões em sequência	Circuito de alocação dinâmica dos equipamentos no sistema de despacho eletrônico
7	Não existe previsibilidade de parada repentina do britador	Implantação de sistema para acompanhamento das informações dos britadores, como alteração na taxa de alimentação e parada repentina (PI Vision)
8	Alteração da taxa do britador não é atualizada na sala de despacho eletrônico da mina	

Fonte: O autor (2023)

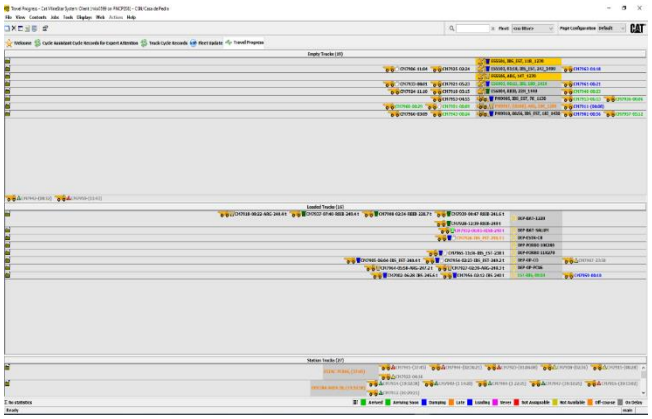
Figura 5 - Limpeza do silo e reposicionamento dos boxes

Fonte: O autor (2023)

Figura 6 - Controle manual do semáforo para o operador da britagem

Fonte: O autor (2023)

Figura 7 - Circuito de alocação dinâmica dos caminhões



Fonte: Minestar Fleet

Figura 8 - Sistema de acompanhamento das informações dos britadores (PI Vision)

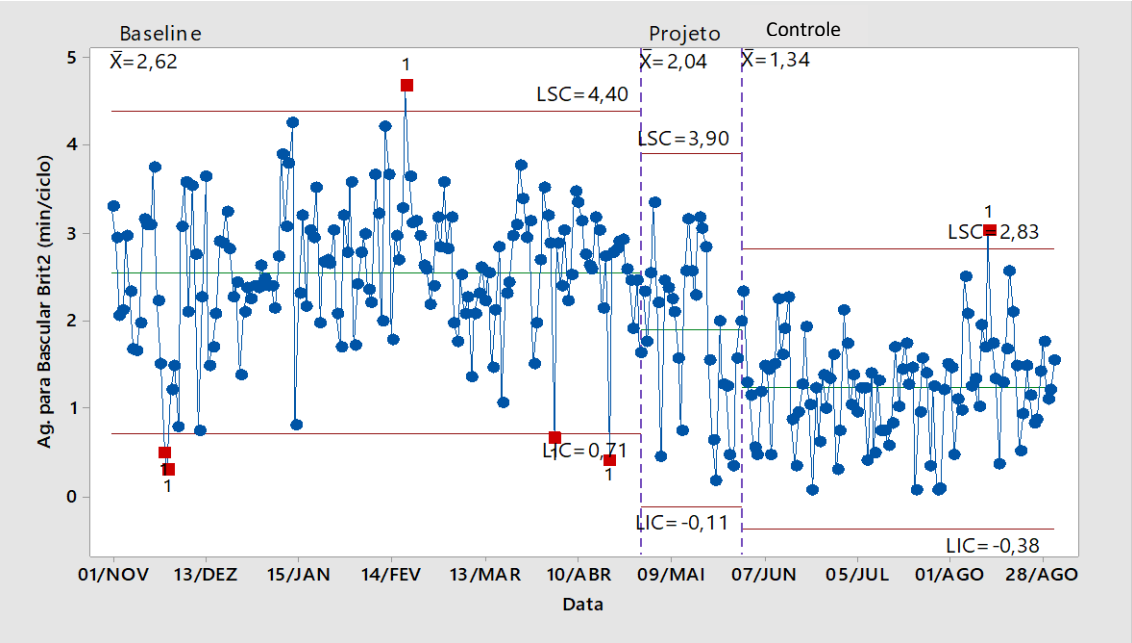
Fonte: PI Vision

6.5 Controle

Com a execução das ações que foram estipuladas anteriormente, cabe à equipe do projeto garantir a padronização do sistema após estas alterações, bem como acompanhar a evolução do processo por meio de novos dados coletados ao longo do tempo. Tal acompanhamento tende a durar 2 meses, desde que haja uma estabilidade verificada na nova base de dados, podendo julgar o processo como controlado. No caso deste TCC, os dados foram controlados no período entre os meses de junho e agosto de 2022, meses subsequentes ao período de análises e implementação das ações.

O acompanhamento do TEB, principal indicador do trabalho, foi realizado durante todas as etapas do projeto e, com a elaboração do gráfico com a evolução do KPI no britador durante o tempo, foi nítida a percepção de redução deste.

Gráfico 7 - Evolução do TEB ao longo do projeto

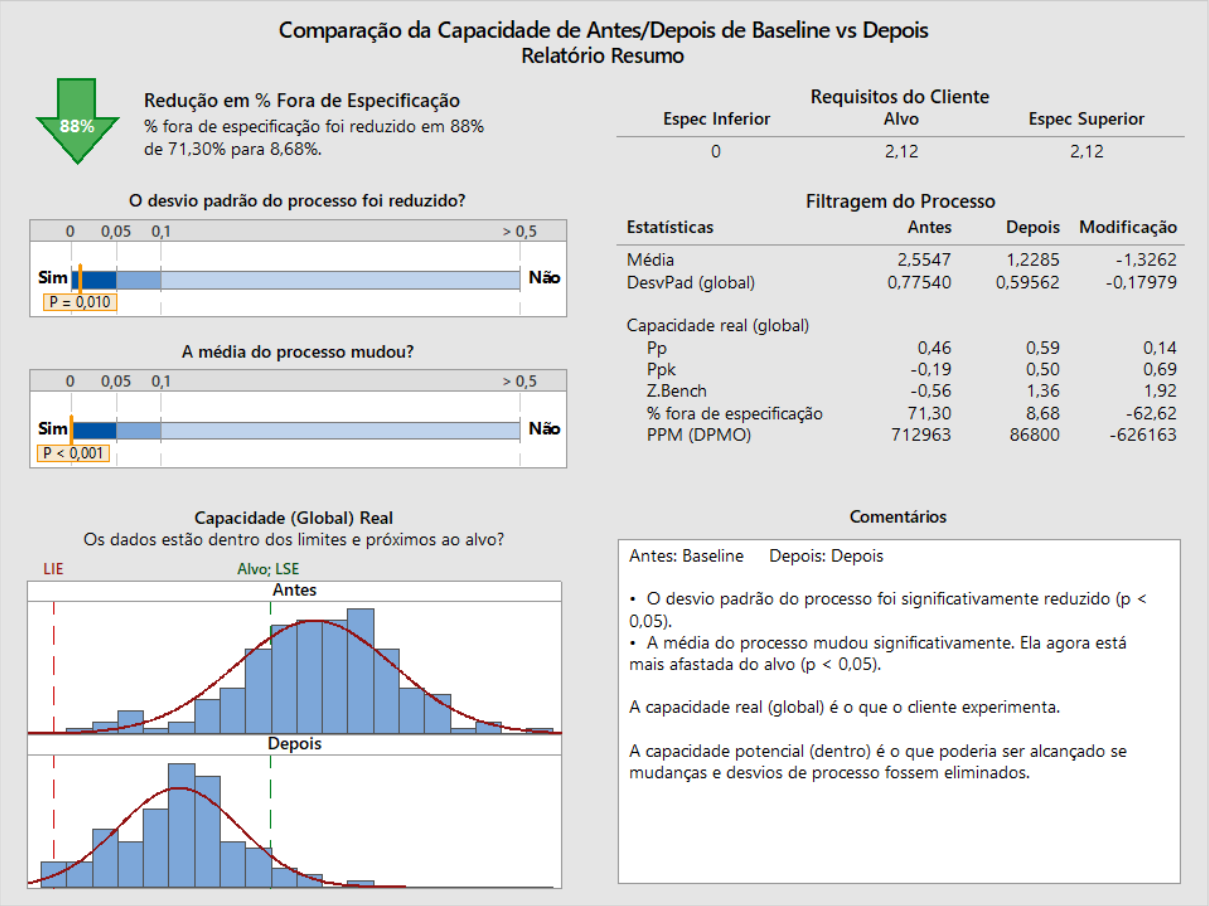


Fonte: O autor (2023)

Com o Gráfico 7, é possível observar que o tempo médio começou a reduzir já no início da excussão do projeto. Ao final da fase de controle, a média do TEB foi de 1,34 minutos por ciclo, ou seja, o KPI reduziu 49% em relação à média do período da baseline (2,62 minutos por ciclo). Número que é, inclusive, significativamente inferior à meta estipulada no início.

Paralelamente a tal fator, também foi feito uma nova medição do processo, a fim de verificar a evolução do nível sigma deste após todo o trabalho realizado. Neste intuito, elaborou-se uma comparação da capacidade do processo antes/depois do início do trabalho.

Figura 9 - Relatório de comparação da capacidade de antes/depois da baseline do projeto



Fonte: O autor (2023)

Com o relatório da imagem 15, pode-se identificar diversas comparações entre os períodos. Destas, vale destacar o novo nível sigma verificado após a etapa de controle:

$$\sigma = 1{,}36 + 1{,}5$$

$$\sigma = 2{,}86$$

Assim, é possível evidenciar que, ao final do projeto, o processo se encontrou em uma situação de maior estabilidade, de forma que a taxa de variabilidade foi reduzida de acordo com

o aumento do nível sigma e a quantidade de dados fora no limite superior de especificação (similar à meta de 2,12) foi reduzida em 88%.

Ademais, paralelamente às constatações estatísticas, foi possível observar em campo, através de visitas, uma maior fluidez no processo e um bom impacto das ações implementadas. A exemplo de um correto uso do controlador de semáforo, permitindo assim evitar desperdícios de tempo relacionados à problemas na comunicação e na atenção das pessoas envolvidas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência e sucesso dos processos produtivos está fundamentalmente relacionado à um bom acompanhamento do nível sigma deste. Uma forma de realizar este controle é através da realização de trabalhos regidos pela metodologia Lean Seis Sigma, os quais promovem o monitoramento e redução da variabilidade de processos industriais e administrativos.

Neste trabalho de conclusão de curso, foi apresentado um projeto de melhoria contínua que utilizou a metodologia Lean Seis Sigma para reduzir o Tempo de Espera para Basculamento (TEB) dos caminhões em uma mina à céu aberto de grande porte, partindo do destino identificado como maior gargalo no processo, o britador 2.

Com o avanço do trabalho, foi possível verificar ganhos produtivos, visto que houve uma redução considerável no tempo de ciclo dos caminhões. Considerando o ganho de produtividade verificado com a redução deste indicador, pôde-se validar um ganho em massa de 476.680 t de material movimentado no período entre julho e dezembro de 2022. Ao fazer uma relação deste ganho com o período de um ano, pode-se calcular uma movimentação de massa acrescida em 953.360t.

Com o decorrer da evolução e finalização do projeto, foi observado que houve uma aproximação entre as áreas de operação de mina e de britagem da Mina de Casa de Pedra, um laço estreitado que é de fundamental importância para um bom fluxo do processo.

Além do ganho financeiro e produtivo, é possível mencionar evoluções acerca da cultura da empresa à medida que projetos como este vão avançando, bem como um maior entendimento dos colaboradores com o processo produtivo que está sendo trabalhado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, César Augusto Campos; RENTES, Antonio Freitas. A metodologia *Kaizen* na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 2, p. 126-135, 2006. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/119/116#. Acesso em: 22 jan. 2023.

FERREIRA, Juliana Carvalho; PATINO, Cecília Maria. O que realmente significa o valor-p. **Jornal Brasileiro de Pneumonologia**, v. 41, n. 5, p. 485, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/SWk5XsCsXTW7GBZq8n7mVMJ/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 22 jan. 2023.

FIGUEIRA, Hedda Vargas; LUZ, Adão Benvindo, ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Britagem e Moagem**. Centro de Tecnologia Mineral. 2010. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/732/1/CCL00260010.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

MANI, Graziele Moro; PÁDUA, Fabiana Serralha Miranda de. Lean Seis Sigma. **Interface Tecnológica**, v. 5, n. 1, 2008. Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/27/24. Acesso em: 26 fev. 2023.

MESQUITA, Melissa; ALLIPRANDINI, Dário Henrique. Competências essenciais para melhoria contínua na produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 17-33, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/gp/a/Bc8grvx5MYmWkMbqCkVXWWq/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 26 fev. 2023.

NEMER, Kelly Cristina Araújo. **A relação entre a qualidade tradicional e a mudança de cultura organizacional utilizando como metodologia o Círculo de Controle de Qualidade (CCQ)**. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Amazonas, 41 p., 2016. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5729/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Kelly%20Nemer.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

SABINO, Cláudia de Vilhena Schayer. O uso do diagrama de Ishikawa como ferramenta no ensino de ecologia do ensino médio. **Revista Educação e Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 52-57, 2009. Disponível em: https://www.seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/232/234#. Acesso em: 22 jan. 2023.