



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
MINAS



JÉSSICA DIAS RODRIGUES

PROPOSTA DE MELHORIA DA PRODUTIVIDADE DA ESCAVADEIRA
LIEBHERR R 954 SME ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA

OURO PRETO 2018

JÉSSICA DIAS RODRIGUES

PROPOSTA DE MELHORIA DA PRODUTIVIDADE DA ESCAVADEIRA
LIEBHERR R 954 SME ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA

Trabalho de conclusão de curso apresentado 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.

Área de concentração: Operação de mina

Orientador: Prof. Dr. Carlos E. Arroyo

Ortiz

OURO PRETO 2018

R696p

Rodrigues, Jéssica Dias.

Proposta de melhoria da produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME através da metodologia Lean Seis Sigma [manuscrito] / Jéssica Dias Rodrigues. - 2018.

61f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Minas e mineração - Produtividade. 2. Lavra de minas. 3. Carregamento e transporte. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.68

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

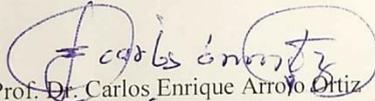
Aos 10 dias do mês de dezembro de 2018, às 10h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“PROPOSTA DE MELHORIA DA PRODUTIVIDADE DA ESCAVADEIRA LIEBHERR R954SME ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA”**, pela aluna **Jéssica Dias Rodrigues**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz (orientador), Prof. Dr. Adilson Curi e Prof. Dr. Hernani Mota de Lima**.

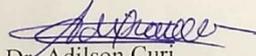
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela Aprovação da candidata, com a nota 9,0, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

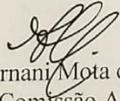
A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

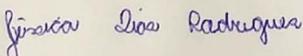
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

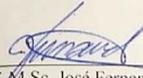
Ouro Preto, 10 de dezembro de 2018.


Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador


Prof. Dr. Adilson Curi
Membro da Comissão Avaliadora


Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora


Jéssica Dias Rodrigues


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

A
Deus, aos meus pais
Valdemiro e Jaqueline, e às
minhas irmãs Gabriella e
Beatriz.

AGRADECIMENTOS

Sempre há motivos e pessoas para agradecer pelo que conquistamos! Agradeço primeiramente a Deus por guiar o meu caminho e me dar forças em todos os momentos.

Aos meus pais Valdemiro e Jaqueline, pelo amor incondicional, confiança e por fazerem dos meus sonhos o seus.

As minhas irmãs Gabriella e Beatriz, que além de família são minhas melhores amigas.

Família esta conquista é por vocês! Meu porto seguro.

O meu agradecimento também às famílias Dias, Rodrigues e Oliveira pelo suporte e carinho, em especial aos familiares de BH pela acolhida e receptividade de sempre.

Aos amigos de Salinas que mesmo com a distância sempre estiveram por perto. Aos amigos do intercâmbio, e principalmente aos amigos de Ouro Preto que foram além de colegas de faculdade, foram família.

É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

Os equipamentos de carga desempenham papel fundamental na lavra e operação de uma mina. Seu dimensionamento e alocação nas frentes de lavra devem ocorrer de forma a otimizar a operação e atingir os melhores índices de rendimento e produtividade. Este trabalho foi desenvolvido a partir de dados disponibilizados pela empresa Ferro+ Mineração, e surgiu de uma iniciativa de melhoria de processo aplicando a metodologia Lean Seis Sigma, desenvolvido na gerencia de Operação e Lavra, com o intuito de reduzir o custo (\$/l) dos equipamentos de carga. O estudo buscou analisar algumas das variáveis envolvidas no processo, como priorização da escavadeira Liebherr R 954 SME em atividades de grande impacto na lavra e proibição desta de atuar em serviços auxiliares. Foi também realizado medições do tempo de ciclo do equipamento em campo, a fim de constatar a efetividade dos dados fornecidos pelo sistema de despacho vigente, SmartMine. Ao decorrer do estudo, foi observado a real influência das ações propostas pela metodologia Lean Seis Sigma e sua real contribuição na melhoria da produtividade do equipamento. A aplicação da metodologia impactou de forma indireta e positiva na produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME, com um aumento de aproximadamente 40%, proporcionando grandes ganhos operacionais na atividade de lavra da mina; além de uma redução no consumo de diesel de 4 l/t.

Palavras chave: escavadeira, lavra, produtividade, metodologia Lean Seis Sigma

ABSTRACT

The lead equipments have a fundamental role in the mining operation. Its sizing and allocation upon the mining must occur in order to optimize the operation and reach better indicators of efficiency and productivity. This work was developed from data provided by the company Ferro+ Mineração, and emerged from the improvement process initiative enforcing the Lean Six Sigma methodology, developed by Mining an Operations management, whit the purpose of decreasing cost value (\$/l) of the load equipment. The studies sought to analyse some variables around the process, such as prioritizing the bulldozer Liebherr R 954 SME having a great impact on mining activities and it's interdiction on performing secondary tasks. It was also executed time cycle measurement of the equipment on the field, with the purpose to verify the effectiveness of the data provided by the current office system SmartMine. Over time with the study, it was noted the real influence actions intended by the Lean Six Sigma methodology and its truthful contribution in the improvement on the productivity of the bulldozer Liebherr R 954 SME, with the increase around 40%, providing great operational earnings in the mining activity. Besides the cutback on Diesel consumption by 4 l/t.

Keywords: excavator, mining, productivity, methodology, Lean Six Sigma

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Lavra de minério de ferro pelo método de bancadas em encosta.....	5
Figura 2 Elementos de uma lavra por bancadas.....	6
Figura 3 Carregadeira sobre pneus Caterpillar 980L.....	8
Figura 4 Carregadeira sobre esteira Caterpillar 973D.....	9
Figura 5 Escavadeira Hidráulica Shovel Caterpillar 6060B	10
Figura 6 Escavadeira a cabo 7495 Caterpillar.....	10
Figura 7 Dragline Caterpillar 8750	11
Figura 8 Retroescavadeira 420F Caterpillar	11
Figura 9 Bucket Wheel TAKRAF	12
Figura 10 Dados técnicos do motor Liebherr R 954 C SME.....	13
Figura 11 Dados técnicos sistema hidráulico Liebherr R 954 C SME	14
Figura 12 Principais componentes da escavadeira R 954 C SME Liebherr	15
Figura 13 Dimensões do equipamento	16
Figura 14 Volume da caçamba	17
Figura 15 Fator de enchimento segundo material de carregamento.....	18
Figura 16 exemplificação do empolamento	19
Figura 17 Essência da ferramenta Seis Sigma	24
Figura 18 Metodologia seis Sigma, etapas DMAIC	25
Figura 19 Lean Seis Sigma	28
Figura 20 Carta controle inicial do KPI	32
Figura 21 Pareto \$/ton	33
Figura 22 Pareto l/h	34
Figura 23 Matriz de causa efeito	35
Figura 24 Matriz de força impacto.....	36
Figura 25: Localização da Mina Ouro Preto- Ferro + Mineração.....	38
Figura 26: Quadrilátero ferrífero	39
Figura 27: Imagem computacional da mina	40
Figura 28 Produtividade Liebherr R 954 SME	44
Figura 29 Produtividade escavadeira TAG 34.....	44
Figura 30 Produtividade escavadeira TAG 35.....	45
Figura 31 Dados técnicos escavadeira Liebherr R954 SME	49
Figura 32 Dados técnicos escavadeira Liebherr R954 SME	50
Figura 33 Mapa de processo Escavadeiras.....	51
Figura 34: Mapa de processos carregadeira	51
Figura 35 Mapeamento VSM da escavadeira Liebherr R 954 C SME.....	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Ferramentas do Lean Manufacturing	26
Tabela 2: 5W2H	31
Tabela 3 Plano de ação 5W2H	37
Tabela 4 Equipamentos de transporte e carga em operação na mina	41
Tabela 5 Equipamentos auxiliares em operação na mina.....	41
Tabela 6 Produtividade Liebherr R 954 SME- Abril.....	42
Tabela 7 Produtividade Liebherr R954 SME - agosto	42
Tabela 11 Consumo de diesel da R 954SME.....	52

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO PELO MÉTODO LAVRA POR BANCADAS.....	4
3.2	OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS NA LAVRA POR BANCADAS.....	6
3.2.1)	CARREGADEIRAS.....	8
3.2.2)	ESCAVADEIRAS.....	9
3.3	ESCAVADEIRA LIEBHERR R 954 SME.....	12
3.3.1)	VISÃO GERAL.....	12
3.3.2)	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	14
3.4	CALCULO DA PRODUTIVIDADE	16
3.5	LEAN SEIS SIGMA.....	23
3.5.1)	PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA.....	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
5	ESTUDO DE CASO	38
5.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OPERAÇÃO.....	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
7	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
	ANEXO	49

1 INTRODUÇÃO

A busca por melhores resultados de produção atrelado a baixo investimento tem gerado uma tendência de mercado, em grande parte das empresas, de aplicar ferramentas de melhoria em seus processos.

O Lean Seis Sigma é uma das mais utilizadas por se tratar de uma estratégia gerencial altamente quantitativa e de ótimos resultados. Esta, tem como objetivo aumentar essencialmente a performance e a lucratividade das empresas por intermédio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores. O Lean Seis Sigma fez a junção do método Seis Sigma que age reduzindo a variabilidade e os erros do processo com o método Lean que objetiva reduzir desperdícios e aumentar a velocidade de produção.

A mineração faz parte da chamada indústria de processo, sendo tipicamente um empreendimento de grande porte, com alocação de alto volume de investimento, equipamentos pesados e grandes plantas industriais (SACHS E NADER). Neste contexto de alta competitividade, o presente estudo aplicando a metodologia LSS foi desempenhado na Ferro+ Mineração; uma vez que a grande concorrência existente no mercado mundial exige cuidadoso e eficiente gerenciamento das operações para alcançar sucesso e lucratividade no empreendimento.

A sistemática em questão foi empregada de forma direta par a redução do custo de diesel nos equipamentos de carga da empresa (\$/l), o que impactou de forma indireta e positiva na produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME. O uso de ferramentas da metodologia como o DMAIC e Matriz Causa Efeito foram fundamentais para que houvesse uma verdadeira melhoria na produtividade.

O estudo teve duração de seis meses e foi realizado na gerência de Operação e Lavra, sua principal finalidade foi a otimização da produtividade das escavadeiras Liebherr R 954 SME, através da análises e acompanhamento das ações tomadas segundo o processo

de implementação da metodologia Lean Seis Sigma e sua real influência na produtividade, além de realização de testes práticos e análise do tempo de ciclo desses equipamentos através do levantamento em campo.

2OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi o de analisar como o projeto de melhoria Lean Seis Sigma para redução do consumo de diesel (\$/L) nos equipamentos de carga impactou positivamente na produtividade das escavadeiras Liebherr R 954 SME.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar ferramentas da metodologia Lean Seis Sigma de forma a impactar positivamente na produtividade dos equipamentos de carregamento;
- Fazer medições em campo do tempo de ciclo do equipamento para cálculos da produtividade a fim de confirmar os dados gerados pelo sistema de despacho Smart Mine;
- Analisar e acompanhar as ações tomadas e a sua influência real na produtividade da escavadeira;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO PELO MÉTODO LAVRA POR BANCADAS

A sequência geral das atividades envolvidas na mineração moderna pode ser expressa como estágios de vida da mina. Existem quatro: prospecção, exploração, desenvolvimento e lavra. Precusores da atual mineração, prospecção e exploração são estágios estreitamente ligados, transitórios e muitas vezes considerados uma atividade combinada. Da mesma forma, desenvolvimento e lavra, que constituem a mineração em si, estão inerentemente ligadas (HARTMAN, 1992). O trabalho a ser apresentado se concentra em estudos realizados na fase de exploração, que ainda segundo Hartman, representa a verdadeira recuperação em quantidade dos minerais.

O método de mineração selecionado para lavra é determinado por características do depósito mineral e pelos limites impostos pela segurança, tecnologia e economia. Condições geológicas, tais como mergulho do depósito e forma, força do minério e da parede da rocha, desempenham um papel fundamental na seleção do método. Tradicionais métodos de exploração dividem-se em duas grandes categorias baseadas no local: superfície ou subterrânea. (HARTMAN, 1992).

Os métodos de lavra a céu aberto são representados fundamentalmente por: Lavra por bancadas (“Open Pit Mining”), Lavra por Tiras (“Strip Mining”) e Lavra Aluvionar (“Placer Mining”) (SILVA, 2008). O método de lavra a céu aberto para o minério de ferro, geralmente é feito em lavra por bancadas (figura 1). Este, é empregado a áreas com extenso capeamento e aplicado a camadas horizontais próximas à superfície. Tipicamente o estéril é removido e transportado formando uma pilha de estéril adjacente (CURI, 2017).



Figura 1 Lavra de minério de ferro pelo método de bancadas em encosta

Fonte: acervo da autora

A lavra por bancadas, pode ser feita em duas formas: em encosta ou em cava (em alguns casos, os dois métodos são realizados na mesma mina). A decisão entre fazer a lavra por bancadas em encosta ou em cava, vai ser tomada segundo condições topográficas do terreno, onde a profundidade máxima dependerá diretamente do teor e da relação estéril/minério. Alguns elementos da lavra a céu aberto serão conceituados a seguir, para melhor entendimento do método (baseado em MINEROPAR).

- Talude: é um plano de terreno que possui uma determinada inclinação, pode ser originado por uma escavação (caso da mineração) ou ser de origem natural.
- Ângulo de talude: é o ângulo capaz de proporcionar estabilidade ao talude, e propiciar a realização das operações com segurança, e após a sua conclusão também.
- Berma: é a quebra de continuidade do talude, que possibilita as operações de carregamento e transporte nesses níveis. Também servindo de acesso aos diferentes níveis.
- Praça: é a maior área de manobra dos equipamentos, ou a área de cota inferior e que dá acesso a outras frentes de lavra.
- Ângulo geral de talude: tem por definição a reta que passa por todas as cristas dos taludes e encontra a horizontal no nível inferior.
- Canaleta: é posicionada longitudinalmente ao pé de cada banco, destinada a

coletar as águas acima referidas e direciona-las para fora da área de lavra.

- Largura da berma: dimensionada de maneira tal que permita o acesso dos equipamentos destinados à remoção dos materiais desmontados.
- Altura da bancada: parâmetro de grande importância na segurança e economicidade das operações. Deve ser tal que qualquer perturbação do equilíbrio dos níveis tenha efeito apenas locais, além de adequado ajuste entre a escala de produção desejada e os equipamentos de lavra disponíveis.

Existem outros parâmetros que estão presentes na lavra a céu aberto, mas não serão abordados neste estudo. A figura 2, representa alguns dos elementos acima citados.

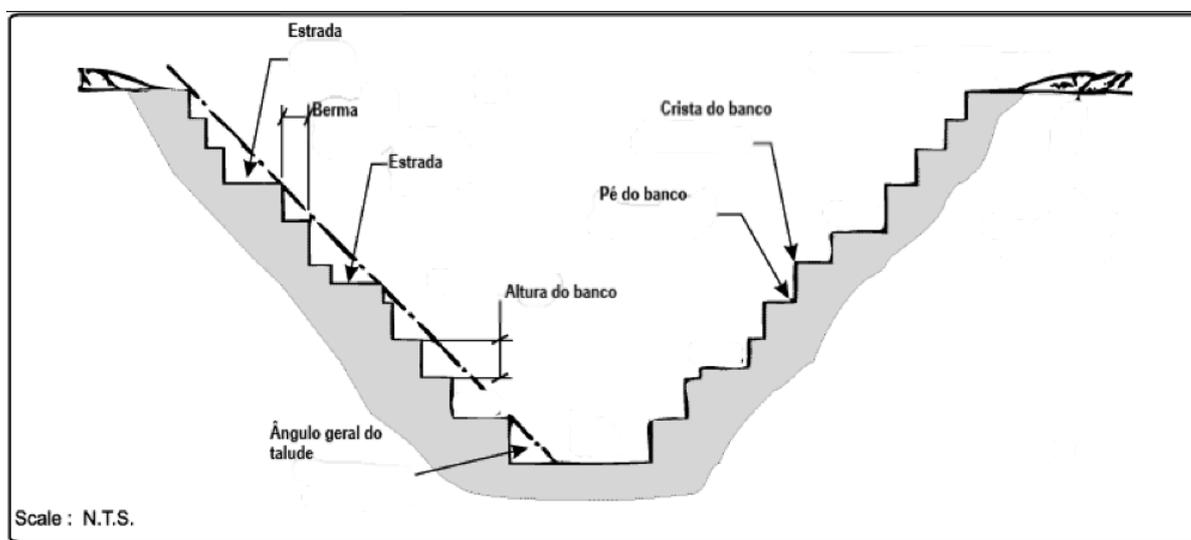


Figura 2 Elementos de uma lavra por bancadas.

Fonte: adaptado do livro Noções de prospecção e pesquisa mineral

3.2 OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS NA LAVRA POR BANCADAS

A lavra por bancadas é aplicada quando a jazida tem grandes dimensões verticais e horizontais, obrigando a retirada do minério em bancadas, bancos ou degraus (SOUZA, 1994). Tem como principais atividades unitárias a perfuração e o desmonte, carregamento e transporte.

Se tratando de perfuração e desmonte, o uso de explosivos e sua correta aplicabilidade é que vão proporcionar a fragmentação da rocha na granulometria desejada e permitir a conformação das bancadas e demais parâmetros inerentes a este método. A

definição do plano de fogo a ser utilizado dependerá de algumas variáveis como: o tamanho dos equipamentos utilizados na perfuração, no carregamento e transporte, que atenda a finalidade a ser britado e o tamanho da boca do britador primário que irá receber o material britado (RICARDO e CATALANI, 2007). Outros elementos como diâmetro das perfurações e a malha de perfuração também devem ser bem ponderados.

Quando se discute sobre um empreendimento mineral a céu aberto um dos grandes problemas é a falta de planejamento ou, em muitos casos, um planejamento inadequado, o que reflete na má escolha em relação aos equipamentos utilizados nas operações em geral dentro da mina, gerando desta forma, desperdícios, diminuição de produtividade, e conseqüentemente, custos elevados (SILVA, 2018). Este processo de carregamento e transporte de material minério e estéril pode ser realizado simultaneamente em diferentes frentes de lavra. A quantidade de equipamentos disponíveis em condições de operar pode variar por motivos de quebra, manutenção preventiva, corretiva, atrasos operacionais, entre outros. A alocação e determinação do número de equipamentos de carga e transporte em funcionamento são atividades complexas e de suma importância (KOPPE, 2008).

Estes equipamentos foram separados por Ricardo e Catalani (2007) em sete categorias, conforme as suas formas de operação:

- i. Unidades de escavo: empurradora (ex: trator de esteira);
- ii. Unidades de escavo: transportadoras (ex: scraper e motoscrapers);
- iii. Unidades de escavo: carregadoras (ex: carregadeiras e escavadeiras);
- iv. Unidades aplainadoras: (ex: motoniveladora);
- v. Unidades de transporte: (ex: caminhões);
- vi. Unidades compactadoras: (ex: rolo vibratório);
- vii. Unidades de perfuração: (ex: perfuratriz);

Segundo Costa e Silva (2011), na lavra, o custo de operação dos equipamentos de carregamento e transporte representam mais da metade do total do custo da operação. Para controlar os custos, a seleção correta dos equipamentos é vital. Nessa seleção deve ser levado em conta fatores como: capacidade manuseada, distância de transporte, topografia do terreno, infra- estrutura disponível, interferência com o meio ambiente e economicidade.

Tratando-se de equipamentos de carga, muitas são as opções de escolha para operar

nas atividades de lavra, onde a principal escolha gira em torno da melhor aplicação de uma carregadeira ou uma escavadeira.

3.2.1) CARREGADEIRAS

São equipamentos constituídos pelos tratores de rodas (figura 3) ou esteiras (figura 4), equipados com caçamba frontal à qual é acionada através de um sistema de braços articulados. A caçamba permite a elevação do material nela depositado para um posterior despejo em unidades de transporte. (RACIA, 2016). No carregamento, as carregadeiras é que se deslocam, movimentando-se entre o talude e o veículo (FERREIRA, 2011).

As carregadeiras são geralmente utilizadas para pequenos cortes de materiais que possuam pouca resistência, carregamento de material solto, limpeza de praças de trabalho e pequenos nivelamentos e espalhamentos.



Figura 3 Carregadeira sobre pneus Caterpillar 980L

Fonte: (Caterpillar, 2018)



Figura 4 Carregadeira sobre esteira Caterpillar 973D

Fonte: (Caterpillar, 2018)

3.2.2) ESCAVADEIRAS

A escavadeira, também conhecida como pá mecânica, é um equipamento que trabalha parado, isto é, a sua estrutura portante se destina apenas a lhe permitir o deslocamento sem, contudo, participar do ciclo de trabalho. Uma escavadeira pode ser montada sobre esteira, rodas e trilhos, sendo a escavadeira de esteira a mais utilizada no ambiente de mineração. As escavadeiras se dividem em diferentes grupos conforme o seu porte e a finalidade em que as mesmas são empregadas (RICARDO e CATALANI, 2007).

Podem ser de operação cíclica ou contínua. Como exemplo de equipamentos de operação cíclica temos a escavadeira hidráulica (figura 5), escavadeira a cabo (figura 6), a Dragline (figura 7) e a retroescavadeira (figura 8); de operação contínua temos a Bucket Whell (figura 9).

Segundo Lacerda, Neto e Silva (2015), são máquinas comumente utilizadas para efetuar mecanicamente as operações de desmonte e/ou carga de estéril e minério. São destinadas ao desmonte e carga de rochas brandas; ou à carga de produtos que foram desmontados por explosivos, no caso de maciços formados por rochas mais duras.



Figura 5 Escavadeira Hidráulica Shovel Caterpillar 6060B

Fonte: Caterpillar 2018



Figura 6 Escavadeira a cabo 7495 Caterpillar

Fonte: Caterpillar 2018



Figura 7 Dragline Caterpillar 8750

Fonte: Caterpillar 2018



Figura 8 Retroescavadeira 420F Caterpillar

Fonte: Caterpillar, 2018



Figura 9 Bucket Wheel TAKRAF

Fonte: TAKRAF, 2018

3.3 ESCAVADEIRA LIEBHERR R 954 SME

3.3.1) VISÃO GERAL

A escavadeira Liebherr R 954 SME é uma escavadeira do tipo hidráulica sobre esteira. Estas, são conhecida por oferecer potência no levantamento para escavação em massa, e principalmente, tem grande capacidade de manter um consumo extremamente baixo de óleo diesel, se comparado a outros modelos de mesmo porte.

A R954SME (“Super Mass Excavation”), de 60 toneladas foi lançada em junho de 2015 pela Liebherr Ltda, coma proposta de melhorar a relação custo/produção na operação. A máquina é equipada com um motor diesel de seis cilindros fabricados pela própria Liebherr. O equipamento de escavação está configurado para atingir a produção mais elevada possível, para escavação direta: o braço SME de 6,70 metros e o braço

SME de 2,35 metros permitem uma conchada de 3,7m³ (LIEBHERR, 2016).

Ainda segundo a Liebherr, esta possui duas versões da R 954 C, a versão padrão com um peso operacional de aproximadamente 50 toneladas e a R 954 C SME com um peso operacional de aproximadamente 60 toneladas. O peso adicional da SME deve-se principalmente ao material rodante mais robusto, ao contrapeso HD e aos acessórios SME de serviço pesado. As figuras 10 e 11 trazem algumas informações técnicas referentes ao equipamento, os dados completos encontram-se no Anexo.

 Motor	
Potência conforme ISO 9249	240 kW (326 HP) a 1.800 RPM
Modelo	conforme padrão de emissões brasileiro Proconvel/MAR-I. Para operações com altitude superior a 3.000 m, contatar a Liebherr
Tipo	6 cilindros em linha
Diâmetro/Curso	122/150 mm
Deslocamento	10,5 l
Motor	diesel 4 tempos sistema com bomba injetora unitária turbo-alimentado e after cooler emissões reduzidas
Arrefecimento	resfriado a água, com refrigeração do combustível e do óleo do motor integrado
Filtro de ar	tipo seco com pré-filtro, elementos primário e de segurança, descarga automática de poeira
Tanque de combustível	700 l
Padrão	controle eletrônico de rotação do motor
Sistema elétrico	
Tensão	24 V
Baterias	2 x 170 Ah/12 V
Motor de arranque	24 V/7,8 kW
Alternador	trifásico 28 V/80 A

Figura 10 Dados técnicos do motor Liebherr R 954 C SME

Fonte: LIEBHERR, 2015



Sistema hidráulico

Bombas hidráulicas para o implemento e translação	duas bombas Liebherr de vazão variável, e pistões axiais
Vazão máxima	2 x 350 l/min.
Pressão máxima	350 bar
Regulagem da bomba	eletro-hidráulica com regulagem eletrônica do motor Diesel, compensação de pressão, compensação de vazão, otimizador automático da vazão de óleo
Bomba hidráulica para o giro	reversível, vazão variável, pistões axiais e circuito fechado
Vazão máxima	211 l/min.
Pressão máxima	384 bar
Tanque hidráulico	440 l
Sistema hidráulico	790 l
Filtro de óleo hidráulico	2 filtros de fluxo total na linha de retorno com filtro integrado de 5 µm
Radiador de óleo hidráulico	compacto, composto de radiador de água em paralelo com radiador hidráulico e after cooler e ventilador controlado hidrostáticamente
Modo de trabalho	ajuste do desempenho da máquina e da hidráulica através do seletor no display em função da aplicação
ECO	para aplicação econômica e baixa emissão de gases e de ruídos
POWER	para força máxima de escavação e serviços severos
LIFT	para levantamento de carga
FINE	para trabalhos de alta precisão e levantamento através de movimentos precisos
Ajuste da RPM	ajuste contínuo da potência do motor via rpm para cada modo selecionado
Tool Control	dez pré-ajustes de vazão e pressão para ferramentas extras

Figura 11 Dados técnicos sistema hidráulico Liebherr R 954 C SME

Fonte: LIEBHERR, 2015

3.3.2) DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A escavadeira hidráulica é uma máquina que escava e retira o material, seja ele em arás de aterros ou de mineração. A força para escavar vem do sistema hidráulico localizado em seu interior, o óleo que é encontrado dentro do equipamento é bombeado para diferentes pistões da máquina, e um outro pistão é acionado aumento assim a força da escavadeira. O funcionamento desta máquina pesada leva a combinação de centenas de componentes, entre os principais temos o chassi, esteira, lança e caçamba (ALMEIDA, 2016). As figuras 12 e 13, ilustram estes componentes localizando-os no equipamento, assim como as dimensões deste.

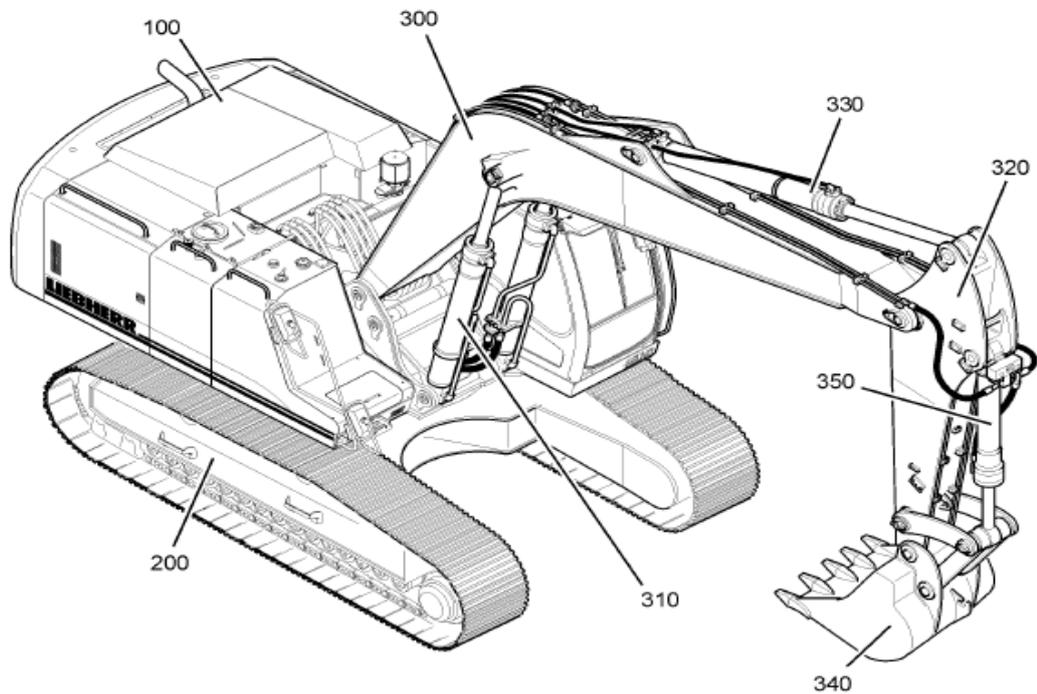


Figura 12 Principais componentes da escavadeira R 954 C SME Liebherr

Fonte: LIEBHERR, 2016

100: Chassi superior	310: Cilindro de elevação	340: Caçamba de elevação
200: Chassi inferior	320: Haste	350: Cilindro da caçamba de elevação
300: Lança	330: Cilindro da haste	

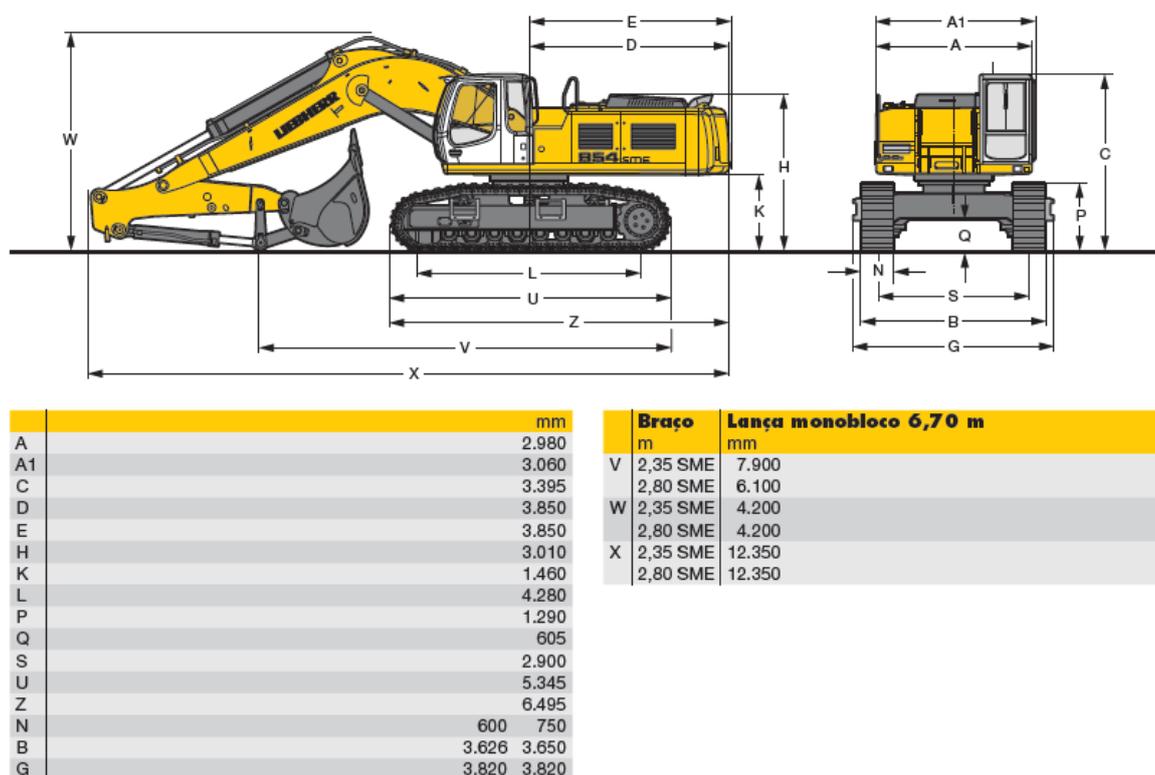


Figura 13 Dimensões do equipamento

Fonte: LIEBHERR, 2015

3.4 CALCULO DA PRODUTIVIDADE

A produtividade das frotas de carregamento e transporte na mineração a céu aberto, depende de que o projeto e o planejamento de lavra sejam adequados à jazida e de que os equipamentos selecionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. (SILVA, 2011). Ainda segundo Silva, os fatores apresentados a seguir são os conceitos fundamentais da produtividade para os equipamentos de carga, como a escavadeira Liebherr R 954 C SME.

I Volume da Caçamba

Deve representar a capacidade operacional, rasa ou coroadada, conforme o caso, dos equipamentos. Pode ser calculado segundo a expressão a seguir:

$$V_c = \frac{C_{max}}{P_{esp}}$$

V_c = volume da caçamba

C_{max} = carga máxima admissível na caçamba

P_{esp} = peso específico do material solto

A imagem a seguir (figura 14) exemplifica os tipos de volume da caçamba, rasa e coroadada.

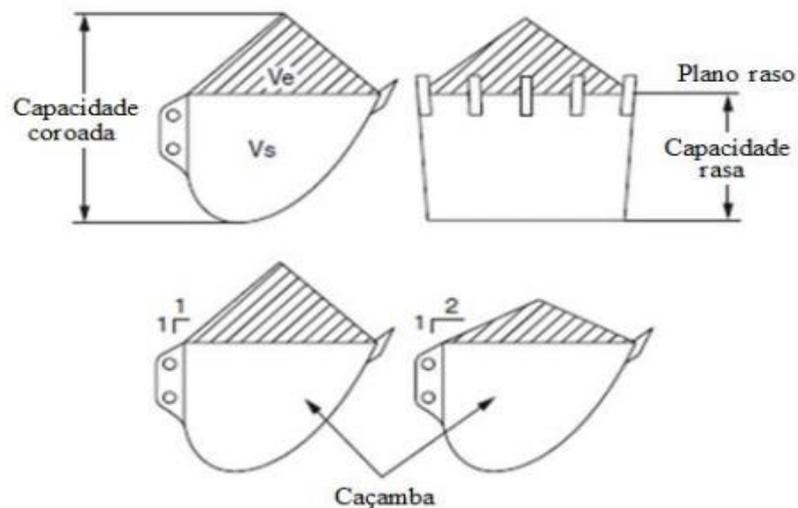


Figura 14 Volume da caçamba

Fonte: KOMATSU (2008)

II Fator de enchimento da caçamba (Fill Factor)

Fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba que será função das características do material, e ou das condições de desmonte, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento. A figura 15 traz alguns fatores de enchimento de acordo com o material carregado.

Bucket Fill Factor

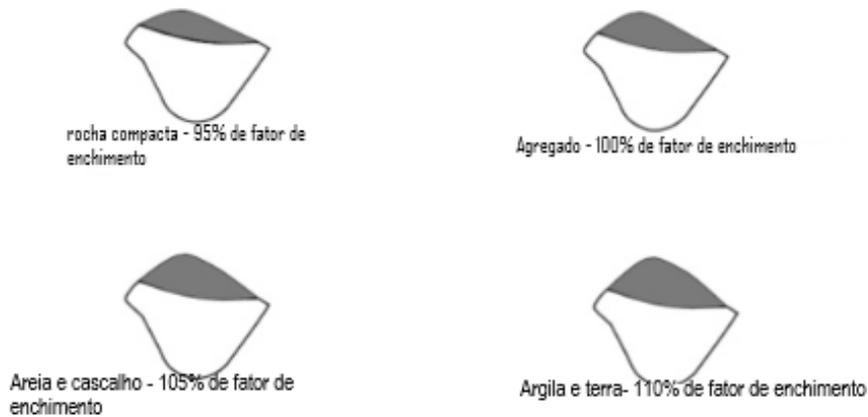


Figura 15 Fator de enchimento segundo material de carregamento

Fonte: adaptado de VOLVO (2012)

III Empolamento

É o aumento aparente do volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento aparente de volume em relação a um estado anterior de compactação (figura 16). As expressões a seguir, deduzem o cálculo do fator de empolamento, relacionando com o peso específico e com o volume, respectivamente.

$$\gamma = \gamma_c / \gamma_s$$

Onde:

γ = fator de empolamento;

γ_c = peso específico do material no corte;

γ_s = peso específico do material empolado ou solto;

$$e = (\gamma - 1) \times 100$$

Onde:

e = empolamento;

$$V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\gamma_s} = V_c \times \gamma$$

Onde:

V_c = volume original do corpo, ou volume in situ;

V_s = volume do material após a fragmentação;

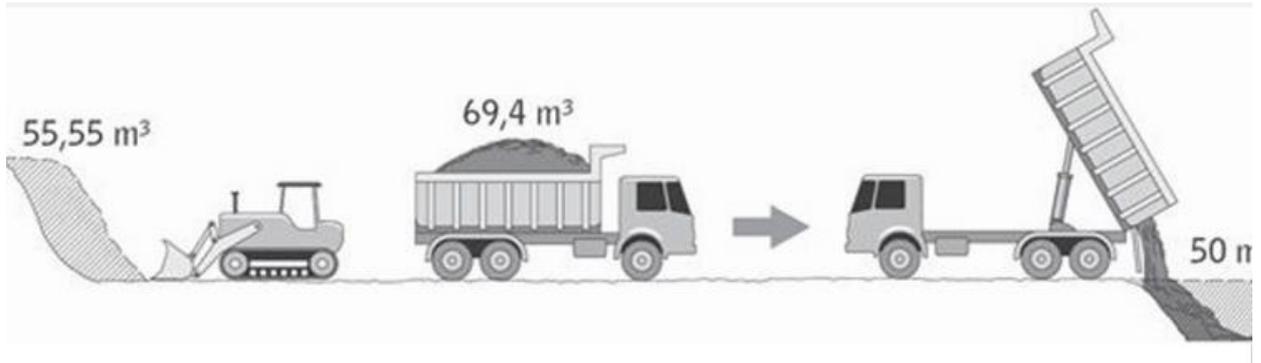


Figura 16 exemplificação do empolamento

Fonte: GBC engenharia

IV Carga de tombamento (Tipping load)

É a carga que faz com que uma escavadeira hidráulica equipada para determinada finalidade e, considerando a posição em que a sustentação é mais desfavorável, perca o equilíbrio e tombe.

V Carga útil (Pay- Load)

É a carga que não ultrapassa 80% da carga de tombamento (fator de segurança de $100/80 = 25\%$). Por exemplo, se você tem uma carga de tombamento de 16,55t para o alcance máximo da lança, a carga útil será com o fator de segurança será $16,55/1,25$, que é igual a 13,22t.

VI Fator de operação conjugada

Compreende o tempo não produtivo de um equipamento em decorrência das esperas do equipamento que com ele opera dependentemente.

VII Fator de disponibilidade do equipamento

A palavra disponibilidade é altamente flexível e a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento a longo prazo. Fatores tais como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. Esta se divide em: disponibilidade mecânica e disponibilidade física.

Disponibilidade mecânica:

$$DM = \frac{HT - MP + MC + MT}{HT} \times 100$$

Onde:

DM= disponibilidade mecânica;

HT= corresponde às horas teóricas disponíveis por ano;

MP= manutenção preventiva;

MC= manutenção corretiva;

Disponibilidade física:

$$DF = \frac{HP - HO}{HP}$$

Onde:

DF= disponibilidade física, que representa a percentagem do tempo em que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a operação;

HP= horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica;

HO= horas de reparo na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares;

VIII Fator de utilização do equipamento

Fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento está em operação. Alguns fatores que influem na utilização dos equipamentos são:

- Número de unidades ou porte maior/menor que o requerido;
- Paralisação de outros equipamentos;
- Falta de operador;
- Deficiência do operador;
- Condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos;
- Desmonte de rocha na mina;
- Preparação das frentes de lavra;

$$U = \frac{HT}{HP - HO}$$

Onde:

HT= total de horas efetivamente trabalhadas;

HP=horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica;

HO= horas de reparo na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares;

IX Rendimento

É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, o rendimento é o produto da disponibilidade física (DF) pela utilização (U).

X Eficiência de operação

A eficiência de trabalho é o que resulta em maior lucratividade. Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento deve-se, entre outros, aos seguintes motivos:

- Características do material;

- Supervisão no trabalho;
- Falta de caminhão;
- Maior/menor habilidade do operador;
- Interrupções para a limpeza da frente de lavra;
- Desmonte de rochas;
- Capacidade da caçamba;
- Pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na manutenção;

XI Operação conjugada

A produção máxima possível das frotas em operação conjugada, pode ser obtida pela análise da disponibilidade das frotas. A disponibilidade binomial é aplicável ao cálculo de dimensionamento de frotas dos equipamentos.

XI Resistência e coeficiente de rolamento

A manutenção da superfície das estradas é muito importante para garantir a velocidade de trabalho e reduzir os custos com pneus.

A resistência ao rolamento é uma medida de força necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e, em unidades montadas sobre rodas pneumáticas, para superar o efeito do retardamento entre os pneus e o solo. Isto inclui a resistência causada pela penetração dos pneus ao chão e pelo flexionamento do pneu sob carga.

$$Rr = K.PBV$$

Onde:

Rr = resistência ao rolamento;

K= coeficiente de rolamento (kgf/t);

PBV= peso bruto do veículo (kgf);

XII Resistência de rampa

É uma medida de força, devido à gravidade, que é preciso superar para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis (aclives). A resistência da rampa é uma medida de força, devido à gravidade, que ajuda a movimentação da máquina em rampas favoráveis

(declives). Via de regra as rampas são medidas em percentagem de inclinação, que é a relação entre a ascensão ou queda vertical e a distância horizontal em que ocorre a ascensão ou queda.

O fator de resistência da rampa (FRR) é medido em kgf/t, e é calculado pela multiplicação do kgf/t pela percentagem de inclinação da rampa.

$$\text{Resistência da rampa} = FRR \times PBV$$

Onde:

FRR= fator de resistência da rampa;

PBV= peso da máquina (t);

3.5 LEAN SEIS SIGMA

A metodologia Seis Sigma foi criada pela Motorola (Estados Unidos) em meados dos anos 80 em conjunto com empresas técnicas em consultoria; apoiado pelo então chairman Bob Galvin. A metodologia foca na redução dos defeitos da manufatura, o que impacta positivamente nos custos das áreas.

O uso da ferramenta gerou ruptura de paradigmas clássicos de qualidade, em que 99% era sinônimo do melhor processo existente. O Seis Sigma é voltado para resolução estruturada do problema, fazendo uso de ferramentas clássicas da qualidade, e também métodos quantitativos e estatísticos para definição e análise de um problema. A figura 17 exemplifica a essência da metodologia Seis Sigma.

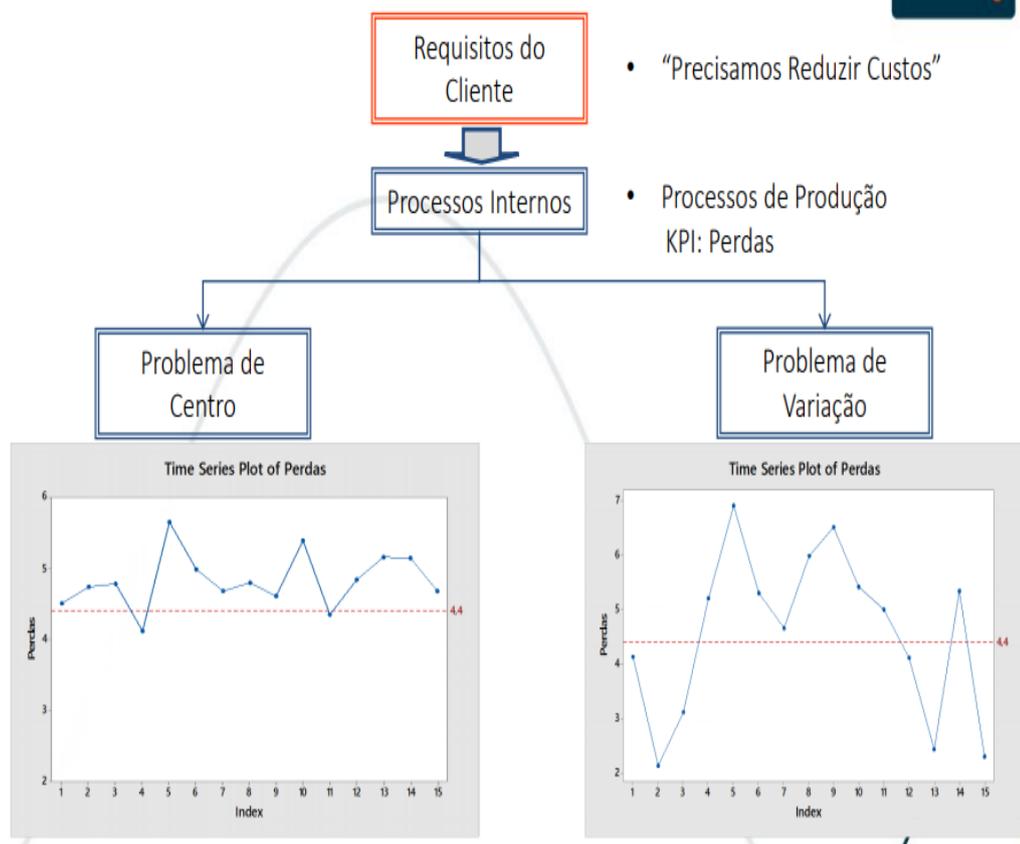


Figura 17 Essência da ferramenta Seis Sigma

Fonte: NT desenvolvimento gerencial

A implementação da metodologia Seis Sigma envolve uso de etapas focadas na melhoria contínua, e um dos modelos adotados é o DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve e Control), que foi concebido e aperfeiçoado para aplicações em processos já existentes. Este modelo é constituído de 5 etapas que dividem o estudo em fases e facilitam a estruturação das atividades, sugerindo uma sequência lógica para a resolução de problemas (LACERDA, 2018). A imagem a seguir (figura 18), dá uma breve explicação das etapas.

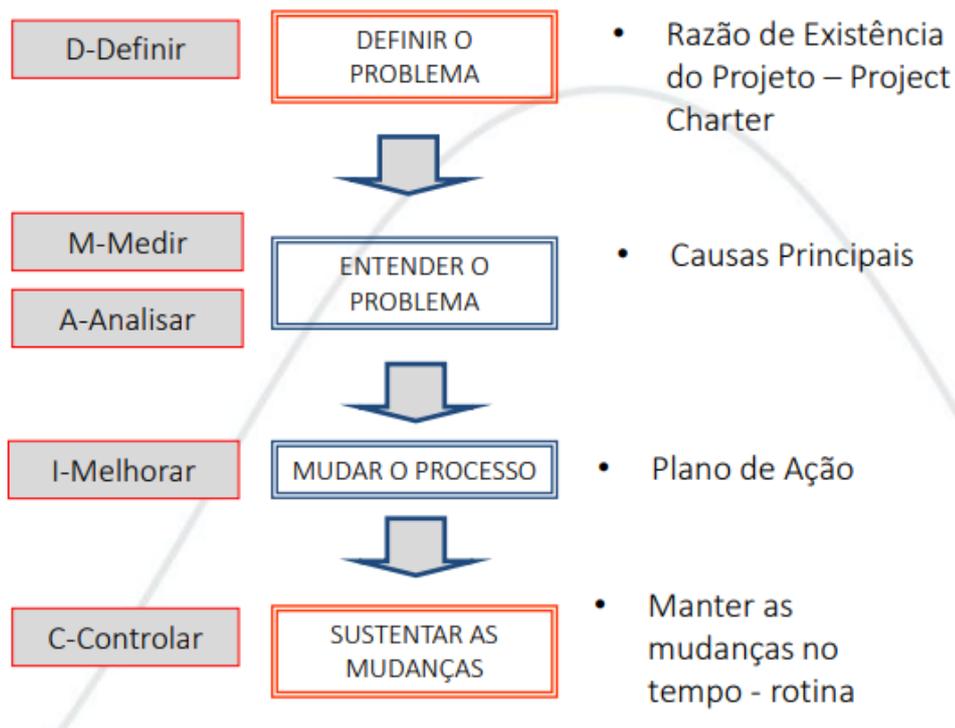


Figura 18 Metodologia seis Sigma, etapas DMAIC

Fonte: NT desenvolvimento gerencial

De forma mais abrangente, temos que a fase *Define* é a responsável por identificar os problemas e aspectos críticos da qualidade (CTQs), por definir a meta a ser atingida, escolher a equipe responsável do projeto, além dos benefícios financeiros deste.

Na fase *Measure* é feito o levantamento geral das prováveis causas, mapeamento do processo e medição do problema. É nesta fase que são quantificados os KPIs. A análise do problema e dos processos é realizada na etapa *Analyse*, na qual é feita a identificação das fontes de variação responsáveis por gerar o problema a ser solucionado. O uso de testes estatísticos é indispensável nesta fase.

O *Improve* consiste na melhoria do processo com base nas análises realizadas, atacando as causas vitais do problema. Nesta fase é aplicado o 5W2H juntamente com os planos de ação. Por fim, é aplicada a fase *Control*, na qual é fundamental o controle do processo para garantir a sustentabilidade dos resultados.

Diferente do Seis Sigma, o Lean Thinking ou mentalidade enxuta é uma filosofia gerencial baseada nas práticas e resultados do Sistema Toyota de produção (TPS – Toyota Production System). Esta ferramenta procura especificar valor a partir da ótica do cliente, alinhando na melhor sequencias as atividades que criam valor, procurando realiza-las sem interrupção sempre que alguém as solicita – de forma cada vez mais eficaz. Em palavras

resumidas, Lean é um conjunto de princípios que acelera a velocidade de todos os processos da empresa pela eliminação de desperdícios.

Em seu livro *Lean Thinking*, Womack e Jones (1996) reúnem a essência do Lean Manufacturing em cinco princípios fundamentais:

- Especificação de valor;
- Identificação da cadeia de valor;
- Evitar interrupção no fluxo de valor;
- Produção puxada pelo cliente;
- Perfeição;

De acordo com Marchwinski e Shook (2007), as definições das principais ferramentas do LM são as seguintes apresentadas (tabela 1):

Tabela 1 Ferramentas do Lean Manufacturing

Ferramenta	Descrição
5S	Sigla que corresponde a 5 expressões japonesas que começam com a letra S e que descrevem as práticas do ambiente de trabalho. São usualmente traduzidas como Senso de Utilização (Seiri), Senso de organização (Seiton), Senso de Limpeza (Seiso), senso de padronização (Seiketsu) e senso de autodisciplina (Shitsuke)
Kanban	Termo que significa “quadro de sinais” em japonês. Possui duas funções em uma operação de produção: instruir os processos para que fabriquem produtos e instruir abastecedores para que manuseiem materiais. São responsáveis pela manutenção de estoques
Fluxo contínuo	Produção e movimentação de um item por vez, ao longo de uma série de processos contínuos. Cada etapa deve ser realizada somente quando for solicitada pela etapa seguinte.
Andon	Ferramenta de gerenciamento visual que mostra o estado das operações em uma área em um único local, além de avisar quando algo anormal ocorre
Poka- yoke	Ferramenta que ajuda os operadores a evitarem erros em seus trabalhos, tais como escolha da peça errada, montagem incorreta, esquecimento de componente, etc.
Manufatura Celular	Organização das etapas de processamento de um item em células, geralmente em forma de U, de modo que todos os componentes, informações, documentos, etc., possam mover-se em um fluxo contínuo na correta sequência de processamento.
SEMD (Single Minute Exchange of Dies)	Significa troca rápida de ferramentas ou <i>setup</i> rápido. Trata-se de uma ferramenta que auxilia o processo de preparação de um equipamento no menor tempo possível
Heijunka	Nivelamento do tipo e da quantidade de produção

	durante um período fixo de tempo, de modo que a produção atenda de forma eficaz as especificações do cliente, garantindo a estabilidade do processo.
TPM (Total Productive Maintenance)	Abordagem para garantir que todas máquinas do processo produtivo estejam sempre disponíveis para realizar as suas tarefas.
Gestão visual	Disponibilização sobre as informações dos produtos, atividades, produção, indicadores de desempenhos, etc, de modo que seja possível a todos os interessados entenderem rapidamente a situação real.
TQC	Baseado no ciclo PDCA é uma metodologia gerencial onde todos os departamentos, empregados e gestores são responsáveis por melhorar continuamente a qualidade dos produtos e serviços
Kaizen	Melhoria contínua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de se criar mais valor com menos desperdício, eliminando-se atividades que não agregam valor e focando nas atividades que agregam valor.
Trabalho padronizado	Definição minuciosa de procedimentos de trabalho de cada um dos operadores em um processo de produção, levando em conta o tempo e a sequência exata de trabalho.
Mapeamento de fluxo de valor	É um diagrama simples que compila todas as etapas envolvidas nos fluxos de material e informação, necessária para atender os clientes, do pedido à entrega. São mapas que buscam compreender o fluxo de valor sob a ótica do cliente.

Fonte: adaptado de Marchwisnki e Shook (2007)

Ao juntar as metodologias Seis Sigma e Lean Thinkig, temos o Lean Seis Sigma. Essa junção traz a utilização de conceitos analíticos, conceito de projetos de melhoria e compromisso com apuração financeira da ferramenta Seis Sigma. É voltado para o pensamento de mudanças rápidas no processo, simplificando e reduzindo ciclos de tempo e geração de defeitos da ferramenta Lean. A figura 19, mostra um pouco da combinação e atuação destas ferramentas trabalhadas em conjunto.

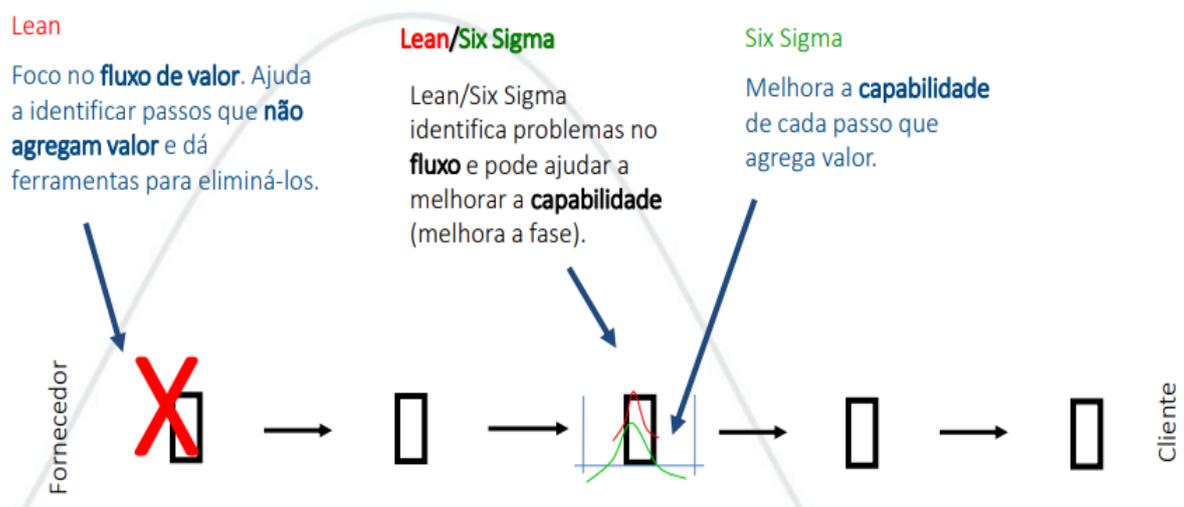


Figura 19 Lean Seis Sigma

Fonte: NT desenvolvimento gerencial

3.5.1) PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA

1. SIPOC

O SIPOC abreviação em inglês para: Suppliers (Fornecedores), Inputs (Entradas), Process (Processo), Outputs (Saídas) e Costumers (Clientes) é um formulário que ajuda a definir o processo antes de dar início ao mapeamento. Esta ferramenta é uma das principais da fase *Define*. Por meio do SIPOC é possível a padronização entre os membros da equipe Lean Seis Sigma, champions e demais gestores, do escopo do projeto e da forma de visualização do principal processo envolvido. Esta ferramenta é sobretudo útil quando não está claro:

- Suppliers: quem fornece insumos para o processo?
- Inputs: que especificações são colocadas nas entradas?
- Process: quais processos estão envolvidos?
- Outputs: quais são os requisitos dos clientes?
- Costumers: quem são os verdadeiros clientes do processo?

2. Carta controle

Carta controle é um tipo de gráfico utilizado para acompanhar um processo. Este gráfico define estatisticamente uma faixa denominada limites de controle que é limitada pela linha superior (limite superior de controle) e uma linha inferior (limite inferior de controle), além de uma linha média. O objetivo é averiguar se o processo está sob controle, isto é, isento de causas especiais.

3. Mapa de processo e VSM (Value Steam Mapping)

Um mapa de processo é uma ferramenta de planejamento e gestão que descreve visualmente o fluxo de trabalho. Ele mostra quem e o que está envolvido em um processo, identifica gargalos, repetições e atrasos, revelando áreas onde um determinado processo deve ser melhorado.

Um VSM mapeia o fluxo de material e informações, além do tempo de execução associado (lead time), por meio de múltiplos processos. Ao entender como o valor flui pela cadeia inteira é possível propor a aplicação das ferramentas do Lean no local onde elas geram maior impacto. O ótimo local é substituído pelo ótimo global, permitindo que os clientes tenham o que quiserem, quando necessitarem, sem atrasos e sem desperdícios.

O VSM é diferente dos tradicionais mapas de processo, apesar de ambos serem fundamentais em um projeto LSS. Comumente, os mapas de processo focalizam processos individuais e não fluxos de materiais.

4. Matriz causa efeito

A matriz causa e efeito, segundo Domenech (2015), é uma ferramenta que leva em consideração a importância dos requisitos estabelecidos pelos clientes, relacionando as entradas chaves às saídas chaves. Em conjunto com a matriz causa efeito é utilizado o gráfico de Pareto que enfatiza as entradas mais importantes para posterior estudo.

Para a elaboração da matriz de causa e efeito toda a equipe do projeto Lean Seis Sigma deve ser reunida a fim de que todo o processo possa ser discutido e avaliado por todos. As principais variáveis de impacto apontadas pelos gráficos de Pareto são então

quantificadas individualmente por todos os membros. Cada participante avalia as variáveis, segundo a sua concepção de julgamento, em escalas de maior ou menor influência.

5. Matriz de esforço impacto

Segundo D'Avillar (2018), a matriz esforço impacto é uma ferramenta de gestão que serve para priorização de atividades e problemas. Ela é uma espécie de grade composta por quatro áreas para a categorização das tarefas e ações, identificadas após uma análise da situação em questão. A ordenação ocorre de acordo com o esforço gasto em cada ação e o impacto que ela representa no projeto.

Ainda segundo D'Avillar, o eixo esforço leva em consideração o volume de trabalho necessário para que o problema seja solucionado. Já o eixo impacto é entendido como ganho obtido para o projeto com a resolução do problema.

A grande vantagem dessa matriz é a possibilidade de identificar os ganhos rápidos, maximizando a produtividade, e assim poder priorizar as ações que trazem maiores resultados com menor esforço.

6. 5W2H

O método 5W2H consiste em uma série de perguntas direcionadas ao processo produtivo e permite identificar as rotinas mais importantes, detectando seus problemas e apontando soluções (LISBOA e GODOY, 2012). É aplicado dentro das ferramentas de gestão da qualidade como um plano de ação, por exemplo, na ferramenta do ciclo PDCA. A tabela 2 explana o que cada sigla representa na ferramenta.

Tabela 2: 5W2H

5W	<i>What</i>	O quê	Que ação será executada?
	<i>Who</i>	Quem	Quem irá executar/participar da ação?
	<i>Where</i>	Onde	Onde será executada a ação?
	<i>Why</i>	Por que	Quando a ação será executada?
	<i>When</i>	Quando	Por que a ação será executada?
2H	<i>How</i>	Como	Como será executada a ação?
	<i>How much</i>	Quanto	Qual o custo de executar a ação?

Fonte: LACERDA (2018)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo de produtividade da escavadeira hidráulica Liebherr R 954 C SME foi fundamentado em um projeto de melhoria Lean Seis Sigma da equipe de Operação de Mina da empresa Ferro + Mineração. A meta do projeto é a redução em 6% do consumo de óleo diesel (\$/t) dos equipamentos móveis de carga. Esse projeto impactou de forma positiva e significativa na melhoria da produtividade do equipamento em estudo. Neste capítulo, serão explicitadas algumas das etapas mais importantes do projeto Lean Seis Sigma, e como estas impactaram na produtividade da escavadeira Liebherr.

O projeto de melhoria foi estruturado na metodologia DMAIC. Durante os 5 meses o processo foi dividido em fases lógicas de realização das atividades. Como procedimento inicial, foi calculado o nível sigma, que apresentou um valor de 0,93 em uma escala de 0 a 6, o que demonstra que existiam muitas perdas nas operações de carregamento da mina. Também neste momento de definição foi realizado o SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Costumers), que nada mais é que um formulário utilizado de forma macro para auxiliar no posterior mapeamento das atividades em estudo. A carta controle (figura 20), outra ferramenta da fase *Define*, apresentada a seguir, mostra como o KPI variou ao longo dos meses antecedentes ao início do projeto.

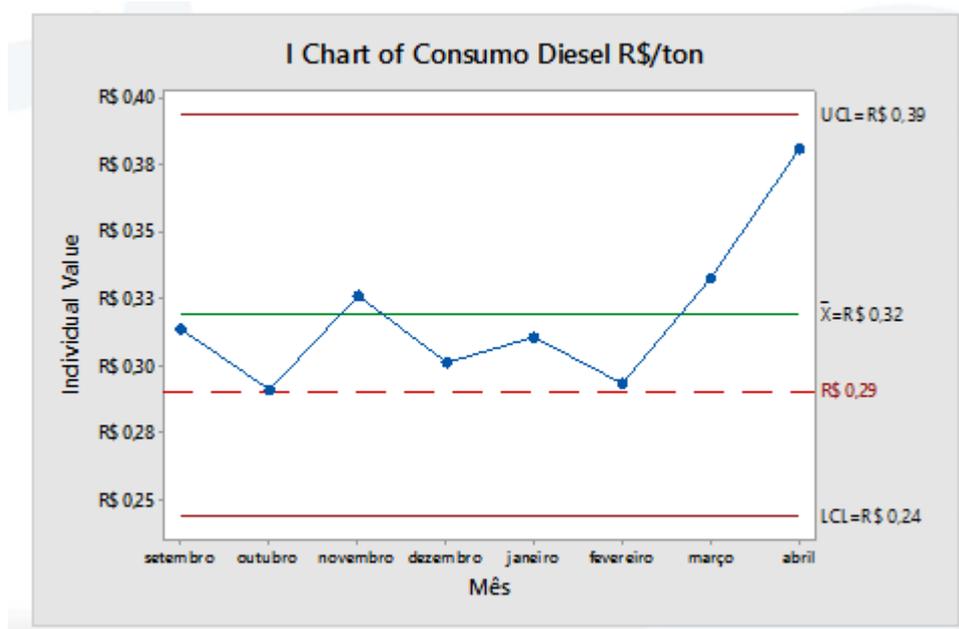


Figura 20 Carta controle inicial do KPI

Fonte: adaptado de PINTO

Após a definição das causas prováveis, foi iniciado o mapeamento do processo. Neste mapeamento gráficos de Pareto foram construídos para auxiliar na identificação dos equipamentos de carga em operação que mais consumiam óleo diesel. Os Paretos de $\$/\text{ton}$ (figura 21) e L/h (figura 22) apontaram a escavadeira hidráulica Liebherr R 954 C SME como o equipamento que mais consumia óleo diesel por hora, e o que apresentava maior custo de abastecimento.

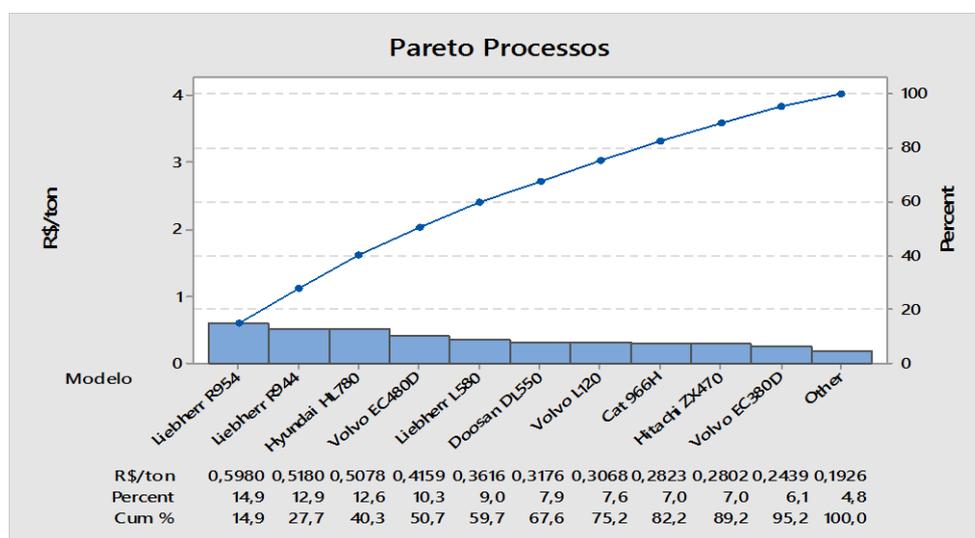


Figura 21 Pareto $\$/\text{ton}$

Fonte: adaptado de PINTO

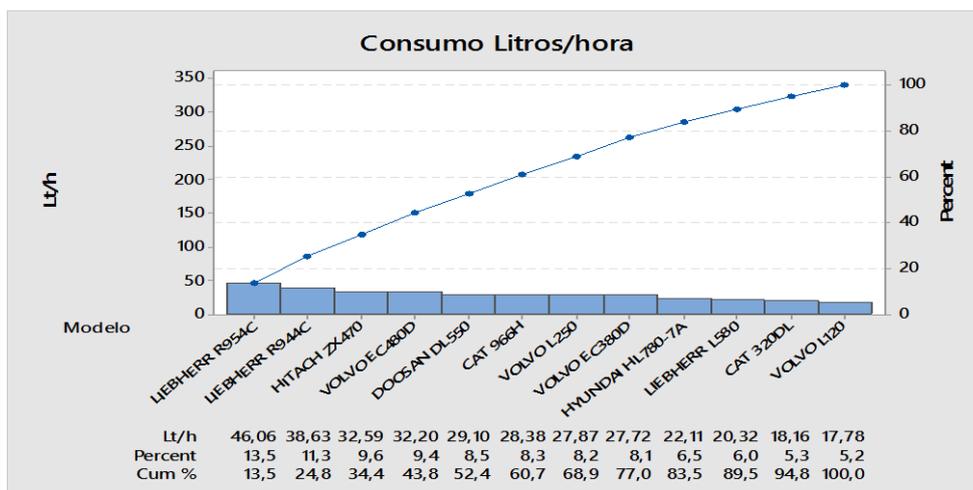


Figura 22 Pareto l/h

Fonte: adaptado de PINTO

O mapa de processo completo dos equipamentos de carga, carregadeiras e escavadeiras, encontra-se em anexo; assim como o mapeamento de processo VSM da R 954C SME. O mapeamento VSM, que visa apontar oportunidades de melhoria, foi feito com base nas horas expendidas em cada atividade identificada no mapeamento de processos.

Com objetivo de identificar as fontes de variação responsáveis pelo problema, na fase *Analyse* a matriz de causa e efeito foi uma ferramenta de grande importância. Esta é uma das mais importantes ferramentas de qualidade, e está principalmente ligada à análise de falhas ou dispersão de resultados, seja em equipamentos, sistemas e processos. Neste caso específico, o processo de carregamento e o seu consumo de diesel. Sua principal função foi a de identificar quais as causas que mais influenciavam no consumo. Cada um dos participantes da equipe deram uma nota de 1 a 5, sendo 1 pouco relevante no processo e 5 muito relevante. Como o total de membros da equipa é 7, a nota mínima é 7 e a máxima 35. Foram constatados 5 atividades com a nota máxima de 35:

- Eliminação de serviços auxiliares com a escavadeira hidráulica Liebherr R 954 C SME;
- Redução de ociosidade das escavadeiras;
- Padronização das operações;
- Utilização do motor e marcha lenta;
- Locação de rompedor para quebra de blocos ou material mais resistente;

Destas cinco ações, três estão diretamente ligadas ao nosso equipamento em estudo. Estas encontram-se evidenciadas na figura 23.

Nº	Saída(s) do processo (Y): Nome do(s) participante(s) da votação: Possíveis Xs do processo (causas)	PROBLEMA PRIORITÁRIO Redução R\$/ton Consumo Óleo Diesel							TOTAL
		Sidnei	Jessica	Zaquel	Fernando	Luiz	Rodrigo	Keila	
		Pontuações atribuídas a cada Xs							
1	Proibição operação em módulo P	5	5	5	3	5	5	5	32
2	Priorização de serviço Auxiliar com carregadeiras	3	5	3	3	3	3	3	24
3	Priorização das escavadeiras maior porte na carga	3	1	3	3	5	3	3	21
4	Eliminação de serviço auxiliar com R954	5	5	5	5	5	5	5	35
5	Redução Ociosidade das escavadeiras	5	5	5	5	5	5	5	35
6	Priorização das escavadeiras menor consumo no S.A.	4	3	5	5	5	3	4	29
7	Priorização UD dos equipamentos de menor consumo	4	5	3	5	3	3	4	27
8	Setorização da operação das carregadeiras	3	3	3	3	3	1	3	18
9	Utilização de Prancha para deslocamento de escavadeiras	2	1	3	3	1	3	2	15
10	Padronização das operações	5	5	5	5	5	5	5	35
11	Escavadeira operar somente em máximo 90°	4	5	3	5	3	3	4	27
12	Não utilização de equipamentos em carga resistente	4	3	5	5	5	3	4	29
13	Regulagem do motor nos equipamento	5	5	5	3	5	5	5	32
14	Drenagem dos filtros Racor maior frequência	3	3	3	3	3	1	3	18
15	Utilização de motor na marcha lenta	5	5	5	5	5	5	5	35
16	Setorização de escavadeiras	4	5	3	5	3	3	4	27
17	Parada do equipamento em ociosidade	3	4	3	4	3	3	4	24
18	Dimensionamento de equipamento por atividade	3	3	3	3	3	1	3	18
19	Locação de Rompedor para quebra de blocos	5	5	5	5	5	5	5	35
20	Locação de Trator para serviços de infra	3	1	3	3	5	3	3	21
21	Alteração da caçamba da CR073	4	5	3	5	3	3	4	27
22	Modificação POP calibragem pneu das carregadeiras executando em intervalo menor	4	4	3	4	3	3	4	25
23	Não operar em piso irregular, forçando giro	3	3	3	3	3	1	3	18
24	Parada carregadeira em atendimento a setor lavra parte alta em praça de carregamento	3	3	3	3	3	3	3	21
25	Atendimento manutenção preventiva a escavadeira na praça quando possível	3	4	3	4	3	3	4	24
26	Redução de variabilidade de operação	4	4	3	4	3	3	4	25
27	Alteração caçamba de duas CR Liebherr L580 de 4m3 para 3,2m3	3	4	3	4	3	3	3	23
28									0
29									0

Figura 23 Matriz de causa efeito

Fonte: adaptado de PINTO

Estas mesmas atividades listadas na matriz de causa efeito foram analisadas segundo a sua dificuldade de realização e a sua influência na atividade. Esta análise

Tabela 3 Plano de ação 5W2H

Ação	Variável	Responsável
Utilizar Escavadeira Liebherr R954 somente para o carregamento	Eliminação de serviço auxiliar com R954	Parreira/Reinaldo/Thiago/Vanilton
Criar planilha por turno de controle utilização escavadeira R954 em serviço auxiliar	Eliminação de serviço auxiliar com R954	Luiz Otávio
Dimensionar porte do equipamento de carga de acordo com frente de maior necessidade de transporte	Priorização das escavadeiras maior porte na carga	Parreira/Reinaldo/Thiago/Vanilton
Criação de um Pareto com as horas efetivas de cada escavadeira	Priorização das escavadeiras maior porte na carga	Rodrigo
Criar um controle buscando as horas em operação em módulo P em todas as máquinas s por turno/operador	Proibição operação em módulo P	Rodrigo
Coletar dados em campo sobre utilização do módulo de operação P pelos operadores	Proibição operação em módulo P	Zaqueu/Fernando
Fixar máquinas por setor para diminuir deslocamento	Setorização de escavadeiras	Parreira
Criar uma carta controle para verificar se a calibragem dos pneus das carregadeiras está sendo feita corretamente	Aplicação POP calibragem pneu das carregadeiras executando-o em intervalo menor	Jéssica
Aplicar FEMEA	Regulagem do motor nos equipamento	Rodrigo/Jéssica/Luíz
Criar solicitação para locação de rompedor	Locação de Rompedor para quebra de blocos/canga	Rodrigo
Fixar caminhões nos equipamentos de carga evitar mudanças frequentes no fluxo de trabalho	Redução de variabilidade de operação	Natã/Wislen/Sirlene
Avaliar com supervisão e instrução escavadeira operar com ângulo de giro no máximo 90° e os motivos de não realizar	Escavadeira operar somente em máximo 90°	Rodrigo
Monitorar os fluxos de trabalhos atuando quando houver ociosidade das máquinas	Redução Ociosidade das escavadeiras	Natã/Wislen/Sirlene
Treinar controladores de tráfego para aplicação das ações de redução de ociosidade	Redução Ociosidade das escavadeiras	Rodrigo

das máquinas			
Monitoramento ociosidade das máquinas para avaliar se as ações estão sendo aplicada corretamente e gerando efeito	Redução	Ociosidade	das escavadeiras
			Jéssica

5 ESTUDO DE CASO

A mina Ouro Preto pertencente à empresa Ferro+ Mineração, grupo JMendes, está em operação desde 2007. Localizada nos municípios de Congonhas e Ouro Preto a 68km da capital do estado, Belo Horizonte, em meio ao quadrilátero ferrífero (figura 25), região centro sul do estado de Minas Gerais, que é a maior produtora nacional de minério de ferro; cerca de 60% do minério de ferro brasileiro são extraídos nesta região.



Figura 25: Localização da Mina Ouro Preto- Ferro + Mineração

Fonte: site da Ferro+ Mineração

A mina está inserida em um contexto geológico (figura 26) cuja estrutura se assemelha a um quadrado, perfazendo uma área de aproximadamente 7000m².

Segundo Roeser e Roeser (2010), a região do quadrilátero ferrífero é composta por três unidades de rochas metassedimentares: O Supergrupo Arqueano Rio das Velhas, o Supergrupo Proterozóico Minas e o Grupo Proterozóico Itacolomy. O supergrupo Rio das Velhas é considerado um cinturão de rochas verde (*greenstone belt*), é nele que ocorrem as jazidas de ouro em sua paragênese clássica de sulfetos..O grupo Itacolomy é basicamente composto de quartzitos. Por fim, o supergrupo Minas, que possui até 6000m de espessura; dentre os seus 4 grupos o de Itabira é o mais significativo em termos econômicos, contendo os minérios de ferro. Localmente, são denominados itabiritos, internacionalmente como *Banded Iron Formations (BIF's)*.



Figura 26: Quadrilátero ferrífero

Fonte : Roeser e Roeser

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OPERAÇÃO

O estudo da produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME aplicando a

metodologia Lean Seis Sigma foi realizado na gerência de Operação e Lavra da mina, com objetivo de obter ganhos operacionais. A mina em questão, tem capacidade produtiva de 2,5Mta ao ano, e tem sua área dividida em cava central, cava leste, cava norte e cava sul. Atualmente está em operação apenas a cava sul e cava central, tanto para frentes de minério como de estéril. O material do ROM é em sua grande maioria proveniente de uma, no máximo duas frentes; o que facilita o controle da qualidade do minério que está alimentando a usina de beneficiamento. A imagem a seguir (figura 27) é uma foto computacional da mina que ilustra a sua geometria.

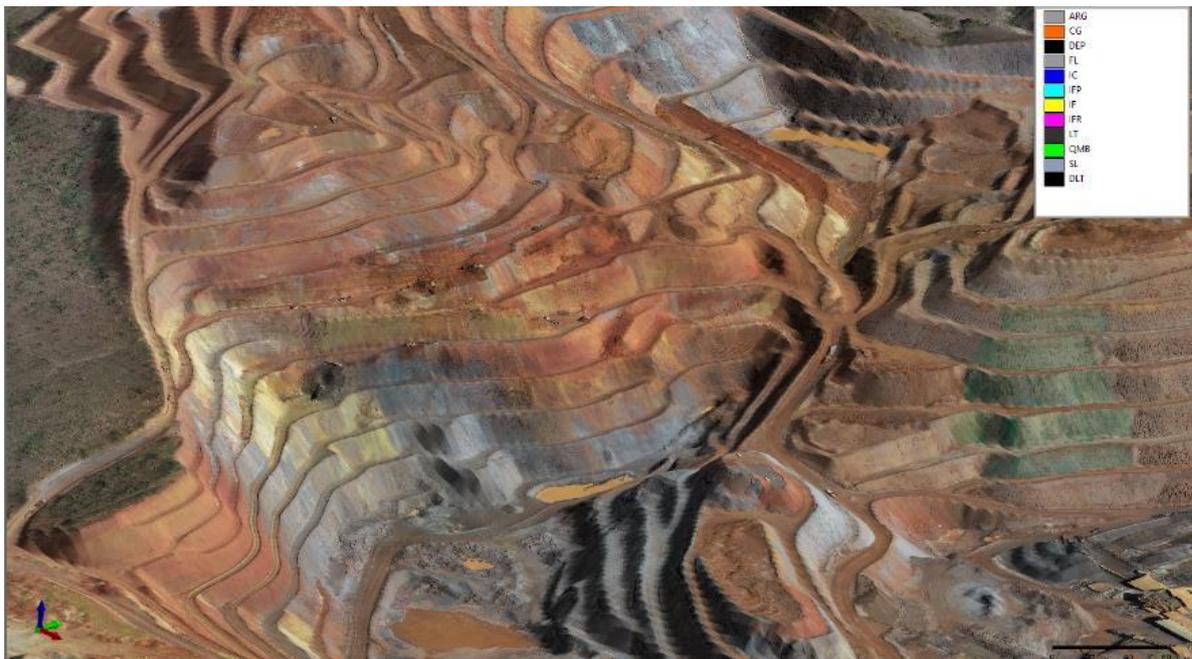


Figura 27: Imagem computacional da mina

Fonte: arquivo pessoal

Uma vez disposto na praça do ROM o minério de ferro alimenta a usina. Lá ele é fragmentado em um britador primário e classificado por peneiras em 4 produtos: Lump Ore, Granulado, Hematitinha e Sínter (em ordem de classificação mais grossa para a mais fina). O passante fino destas peneiras alimenta a concentração magnética que é a responsável pela produção do Pellet Feed.

Os produtos saem dos seus respectivos silos e são transportados por caminhões rodoviários para o pátio de vendas. Eles são dispostos em pilhas distintas segundo a granulometria e a qualidade, caso haja necessidade de *blend*. Uma vez no pátio, os produtos são destinados aos clientes, este transporte é feito através de via rodoviária.

Por apresentar material em prevalência friável, as operações de perfuração e

desmante por explosivo não são rotineiras. Ocorrem em torno de uma vez por mês para fragmentação de blocos de itabirito compacto. O desmante do material é feito de forma mecânica por escavadeiras e rompedores. As demais operações são equivalentes às tradicionais de uma lavra a céu aberto como carregamento e transporte.

Uma vez que a mina é de pequena dimensão, os equipamentos possuem porte equivalente. A frota é composta por escavadeiras hidráulicas, pás carregadeiras sobre rodas, caminhões rodoviários e articulados. As tabelas a seguir (tabela 4 e tabela 5) fazem uma relação dos equipamentos em operação na mina atualmente; sejam ele de carregamento e transporte ou auxiliares.

Tabela 4 Equipamentos de transporte e carga em operação na mina

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE E CARGA					
Caminhões		Escavadeiras		Carregadeiras	
Actros 8x4	12	Volvo C480	2	Liebherr 580	5
Volvo A40F	7	Hitachi ZX470	2	Caterpillar 972	4
Scania G480	11	Caterpillar 320	1	Volvo 120	2
		Doosan 250	1	Volvo 250G	1
		Doosan 340	1		
		Liebherr C 944	2		
		Liebherr C 954 SME	2		

Tabela 5 Equipamentos auxiliares em operação na mina

EQUIPAMENTOS AUXILIARES											
Trator		Moto Niveladora		Pipa		Rolo Compactador		Perfuratriz		Rompedor	
Liebherr 754	2	Jonh Deere	1	Pipa 4140	1	Dinapac 250	1	Perfuratriz	1	Doosan 250	1
John Deere 850	3			Pipa 3130	1						

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medições de produtividade feitas em campo no início do projeto Lean Seis Sigma em abril, e no final do projeto em agosto, tem seus resultados apresentados nas tabelas a seguir (tabela 6 e tabela 7).

Tabela 6 Produtividade Liebherr R 954 SME- Abril

20/abr					
	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo
Nº de caçambadas	5	5	5	5	5
Giro predominante	180º	180º	180º	180º	180º
Tempo de carregamento	00:01:48	00:02:11	00:02:00	00:02:09	00:02:16
Aguardando caminhão	00:03:27	00:03:37	00:02:08	00:02:44	00:01:30
Manobra de caminhão	00:01:46	00:01:42	00:01:30	00:01:42	00:01:20
Marcha ré	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Arrumando praça	00:01:22	00:01:45	00:00:54	00:02:54	00:01:10
Outras paradas	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Pesagem	46,25	46,25	46,25	46,25	46,25
Tempo de ciclo	00:08:23	00:09:15	00:06:32	00:09:29	00:06:16
Produtividade	331,01	300,00	424,74	292,62	442,82
PRODUTIVIDADE MÉDIA	358,24				

Tabela 7 Produtividade Liebherr R954 SME - agosto

20/ago					
	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo
Nº de caçambadas	5	5	5	5	5
Giro predominante	180º	180º	180º	180º	180º
Tempo de carregamento	00:02:04	00:01:49	00:01:58	00:02:00	00:01:45
Aguardando caminhão	00:02:34	00:00:00	00:02:42	00:01:50	00:00:00
Manobra de caminhão	00:01:23	00:01:30	00:01:44	00:01:36	00:01:21
Marcha ré	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Arrumando praça	00:00:00	00:00:00	00:01:25	00:00:35	00:00:24
Outras paradas	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00

Pesagem	46,25	46,25	46,25	46,25	46,25
Tempo de ciclo	00:06:01	00:03:19	00:07:49	00:06:01	00:03:30
Produtividade	461,22	836,68	355,01	461,22	792,86
PRODUTIVIDADE MÉDIA	581,40				

Para a medição da produtividade, foram coletados os tempos de carregamento, tempo de espera de caminhão, tempo de manobra, tempo do caminhão realizando marcha ré e tempo da escavadeira arrumando praça. Foi realizado uma única pesagem, e esta massa foi atribuída a todos os ciclos de carregamento; uma vez que em todos, o número de caçambadas realizadas pelo equipamento foi o mesmo.

Tanto no data de amostragem do início do projeto quanto na data final, foram feitas 3 medições de 30 minutos em momentos distintos do dia, com as mesmas condições de operação. O resultado que segue apresentado neste trabalho é referente à medição que sofreu menos interferência como por exemplo: parada para abastecimento, parada para eventual manutenção corretiva, substituição de caminhão na frente de operação, entre outros.

Segundo os dados coletados, é possível observar um aumento de produtividade de aproximadamente 60% ao longo do projeto.

O gráfico a seguir (figura 28) mostra a variação positiva da produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME registrada pelo sistema de despacho Smart Mine durante o período de março a outubro.

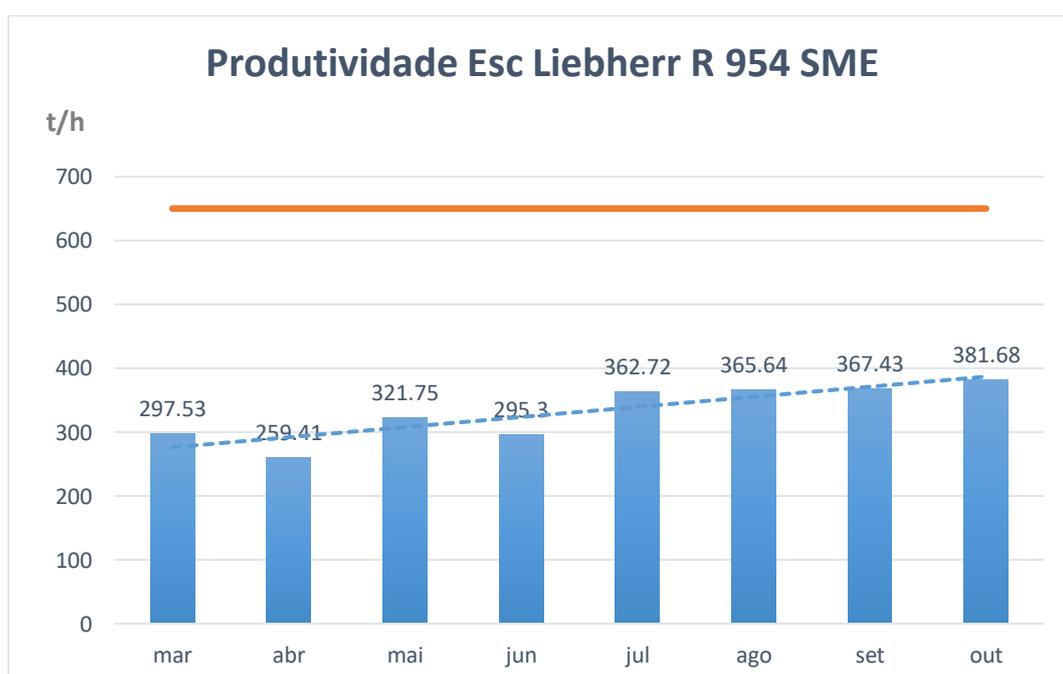


Figura 28 Produtividade Liebherr R 954 SME

Fonte: dados da autora

Se comparado, os dados coletados em campo e os obtidos pelo sistema de despacho, há uma divergência. Esta, é explicada principalmente pelo tempo de amostragem em campo que foi de aproximadamente 30 minutos, tempo relativamente pequeno se comparado ao espaço amostrado pelo Smart Mine.

É possível também observar a estabilidade obtida após o fim do projeto em agosto. Este resultado é consequência da aplicação da fase *Control*, que prevê que as melhorias obtidas ao longo do estudo permaneça ao longo do tempo.

A produtividade dos dois exemplares da escavadeira Liebherr R 954 SME, TAG34 e TAG 35, podem ser constatada nas figuras 29 e 30 respectivamente. Estas estão indicados individualmente.

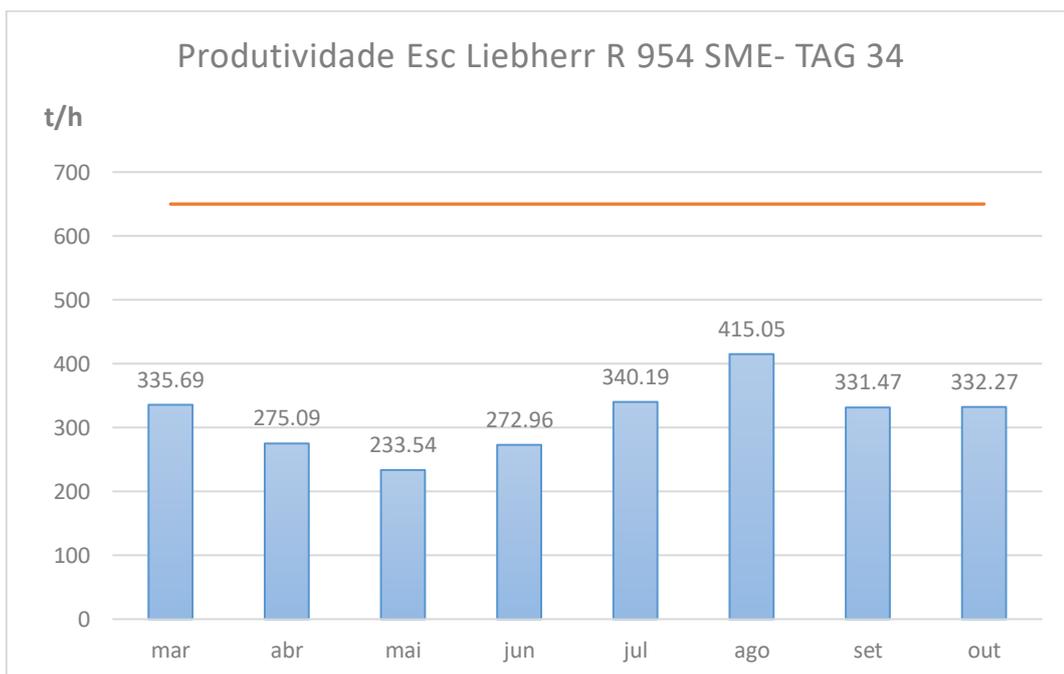


Figura 29 Produtividade escavadeira TAG 34

Fonte: dados da autora

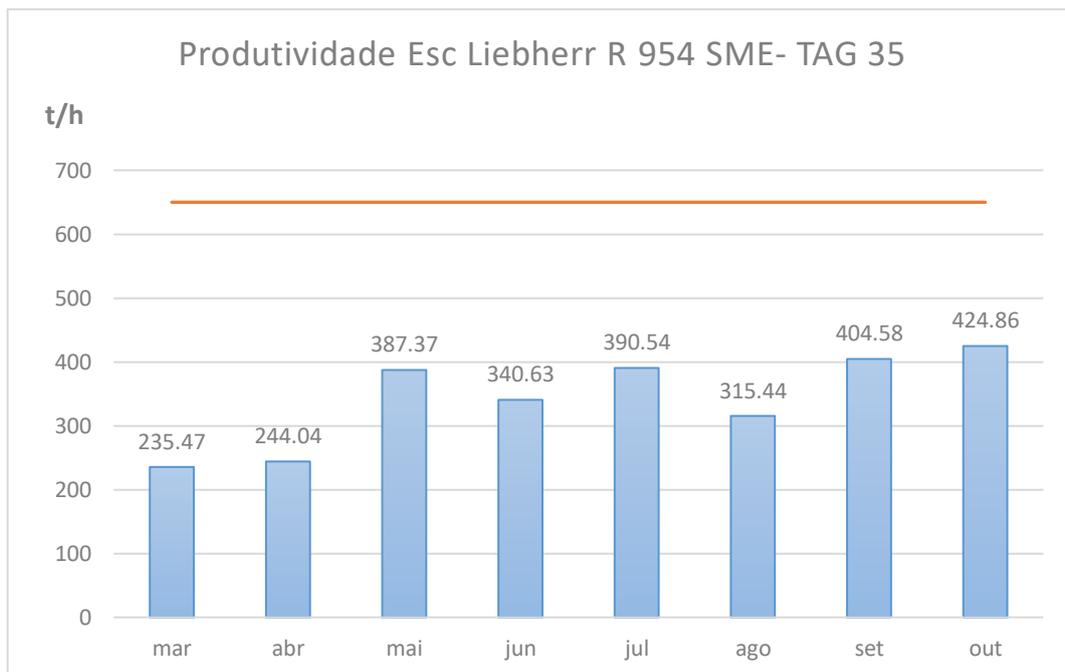


Figura 30 Produtividade escavadeira TAG 35

Fonte: dados da autora

Os dados foram obtidos a partir do sistema de despacho vigente na mina, o SmartMine, que coleta também de forma individual a produtividade dos equipamentos. É possível observar que os dois exemplares da escavadeira Liebherr não apresentam os mesmo valores de produtividade, nem o mesmo aumento. Essa diferença se deve principalmente à disponibilidade física e às diferentes frentes de operação em que atuam. Apesar de ter finalizado o projeto no mês de agosto com uma baixa na produtividade, o equipamento de TAG 35 apresentou uma melhor aderências as mudanças feitas pelo projeto, apresentando um aumento mais significativo se comparado ao equipamento de TAG 34.

7 CONCLUSÃO

Como evidenciado ao longo do trabalho, a escavadeira hidráulica Liebherr R 954 SME foi apontada como o equipamento de maior consumo L/h de óleo diesel e de maior custo de abastecimento \$/ton entre os equipamentos móveis de carga no período que antecedeu ao início do projeto de melhoria Lean Seis Sigma.

Por se tratar do maior equipamento de carga em operação, era realmente esperado altos valores atrelados a ele. Todavia, a produtividade esperada, segundo a fabricante Liebherr em condições plenas de operação, era de 650 ton/h e os dados gerados pelo sistema de despacho vigente na mina SmartMine, apontavam uma produtividade média aproximada de 260 ton/h.

Esta baixa na produtividade é atribuída, principalmente, a má alocação do equipamento nas frentes de trabalho. Muitas vezes a escavadeira realizava atividades que não condiziam com o seu porte, como arrumação de praças e leiras, e operava em frentes de menor prioridade, como por exemplo carregando blocos e matacões no fundo da cava.

Ao realizar o mapeamento do processo no início do projeto LSS, todas estas irregularidades de operação foram identificadas. As tratativas para estes problemas foram de baixo esforço e alto impacto o que explica a significativa melhora na produtividade do equipamento ao longo do projeto. Ações como proibição deste de atuar em operações auxiliares, e de aloca-lo sempre em frente com alta prioridade são as responsáveis por estes ganhos. Essas ações aparentemente são muito intuitivas quando abordadas em meio acadêmico, entretanto a realidade na operação é um pouco mais complexa, principalmente por se tratar de uma mina de pequeno porte onde o quadro de funcionários é enxuto e com poucos profissionais capazes de aplicar projetos de melhoria.

O equipamento atualmente, apresenta produtividade média em torno de 400 ton/h. Este número ainda está muito abaixo do calculado pelo fabricante. Não obstante, algumas dificuldades atreladas a operação dificultam esta melhora.

Outra dificuldade encontrada para a melhoria da produtividade, são os acessos que muitas vezes não permitem manobras adequadas, sendo necessário aos caminhões darem longas ré e/ou realizar difíceis manobras para se posicionar para o carregamento, o que implica no aumento do tempo de espera da escavadeira para carregar.

O gráfico apresentando o resultado referente à melhoria de redução no consumo de diesel encontram-se em anexo. Este projeto teve um ganho financeiro de quase meio milhão de reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. O que é uma escavadeira hidráulica?. Indústria Hoje, 2016. Disponível em: < <https://industria hoje.com.br/o-que-e-uma-escavadeira-hidraulica> > Acesso em: 10 de Dezembro de 2018.

CURI, A. Lavra de Minas. 1ª Edição. São Paulo, 2014.

D'AVILLAR, Priscila. O que a matriz esforço x impacto pode fazer por você e pelo seu trabalho?. Disponível em: < <https://dinamicatreinamentos.com/blog/conheca-a-matriz-de-esforco-e-impacto/>> Acesso em: 28 de Outubro de 2018.

DOMENECH, C. Estratégia Lean Seis Sigma. 1ª Edição. São Paulo: M. I. Domenech, 2015.

HARTMAN, H. *et al.* *SME Mining Engineering Handbook*. 2ª ed – Vol. 1 e 2. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Inc.: Ann Arbor, MI, USA, 1992.

LACERDA, A. L. S. Análise da integridade de dados gerados no sistema de despacho da Mina do Sossego. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. 2018.

LACERDA, D. O. T.; NETO, C. B. A.; SILVA, R. A.P. Critérios de seleção e principais equipamentos utilizados na lavra a céu aberto. Revista pensar, 2015. Disponível em: http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a179.pdf. Acesso em: 21 de novembro de 2018.

LISBÔA, M. G. P. e GODOY, L. P. Aplicação do método 5W2H no processo produtivo. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, v.4, n.7, p. 32-47, 2012

MINEROPAR. Planejamento na Mineração. Capítulo 4. Curitiba.

NOVAS Escavadeiras hidráulicas Liebherr R 954 C SME operando com sucesso no Brasil. Liebherr, 2018. Disponível em: < <https://www.liebherr.com/en/gbr/latest-news/news-press-releases/detail/new-liebherr-r-954-sme-hydraulic-excavators-operating-successfully-in-brazil.html>> Acesso em 02 de setembro de 2018.

RACIA, M. I. Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2016.

RICARDO, H. S; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007. 656 p.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O quadrilátero ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre a sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. Revista Geonomos Instituto de Geociências UFMG, v. 18, n. 1, p. 33-37, 2010.

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

SILVA, A. M. P. Sustentabilidade Operacional no contexto da indústria Mineral: Caso da Lavra de Caulim no Município de Cabo do Santo Agostinho. Recife, 2008. 70 p.

SOUZA, Henrique Capper Alves de; PINTO, Mário Abrantes da Silva. Minério de ferro: seus reflexos na economia nacional e internacional: CACEX, 1994

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster, 1996.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

ANEXO



Controles hidráulicos

Distribuição de potência _____	através da válvula de controle do monobloco com válvulas de segurança integrados
Somatório de fluxo _____	para a lança e braço
Circuito fechado _____	para o giro do carro superior
Circuito servo-assistido	
Implemento e giro _____	proporcional através do joystick
Translação _____	– proporcional através de pedais ou de alavancas removíveis
	– pré-seleção de velocidades
Funções adicionais _____	através de pedais ou de botões na manete

Figura 31 Dados técnicos escavadeira Liebherr R954 SME



Giro

Acionamento	motor hidráulico Liebherr com válvula de frenagem integrada
Redutor	reductor planetário compacto Liebherr
Coroa giratória	Liebherr, anel selado com rolamento de esferas e dentes internos
Velocidade do giro	0 – 5,6 RPM contínuo
Torque do giro	165 kNm
Freio de estacionamento	discos múltiplos banhados a óleo (acionado por molas e liberados hidráulicamente)
Opção	freio controlado por pedal



Cabine do operador

Cabine	montada sobre coxins elásticos, isolamento acústico, vidros verdes, pára-brisa frontal basculante, porta com janela deslizante
Assento do operador	suspensão pneumática com absorção de impactos, ajustável ao peso do operador, encosto de cabeça e 6 posições de ajuste
Joysticks	integradas aos consoles do assento
Monitoramento	condições operacionais visualizadas no display de cristal líquido (LCD). Monitoramento automático, alarme sonoro e visual no display, armazenamento de falhas de funcionamento como por exemplo, superaquecimento do motor, baixa pressão de óleo do motor ou baixo nível de óleo hidráulico
Ar condicionado	ar condicionado de série, aquecedor/resfriador combinados, com filtro adicional de poeira na opção ar fresco/recirculado
Nível de ruído	
ISO 6396	L_{PA} (dentro da cabine) = 77 dB(A)
2000/14/EC	L_{WA} (ao redor da máquina) = 105 dB(A)



Carro inferior

S-HD	heavy duty para operações severas
Acionamento	motores hidráulicos Liebherr com válvulas de frenagem integradas em ambos os lados
Redutor	reductor planetário Liebherr
Velocidade de translação	baixa – 2,6 km/h alta – 3,6 km/h
Tração máxima	478 kN
Material rodante	D 8 K, livre de manutenção
Roletes inferiores/superiores	8/3
Correntes	vedadas e lubrificadas a graxa
Sapatas	chanfradas
Freio de estacionamento	discos múltiplos banhados a óleo (acionado por molas e liberados hidráulicamente)



Implemento

Tipo	combinação de placas de aço de alta resistência e componentes de aço fundido
Cilindros hidráulicos	cilindros Liebherr com sistema especial de vedação e absorção de impacto
Mancais	vedados, baixa manutenção
Lubrificação	sistema centralizado de lubrificação automática (exceto os pontos de articulação da ponta do braço e caçamba)
Conexões hidráulicas	tubos e mangueiras equipadas com flanges e conexões SAE
Caçamba	configuração padrão com sistema de dentes Liebherr

Figura 32 Dados técnicos escavadeira Liebherr R954 SME

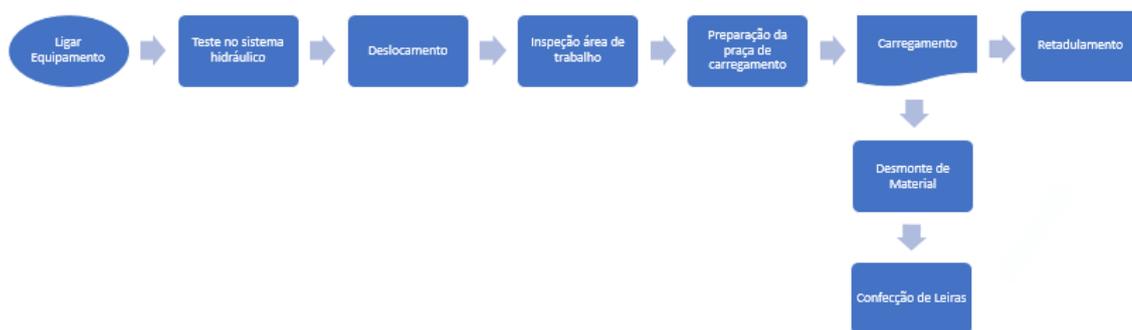


Figura 33 Mapa de processo Escavadeiras

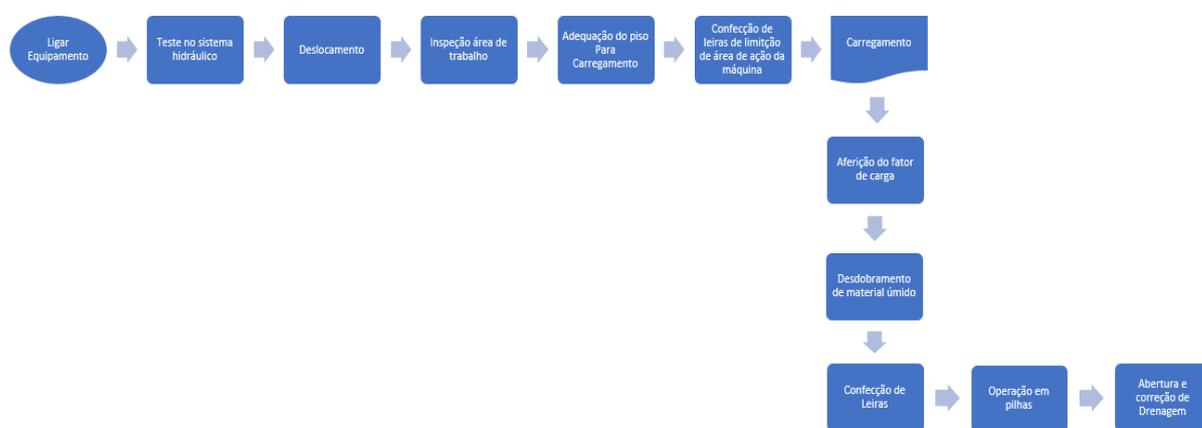
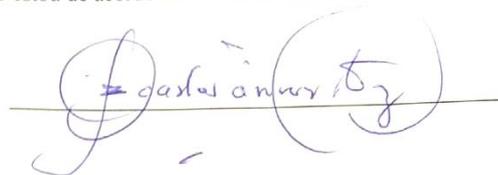


Figura 34: Mapa de processos carregadeira

Certifico que o aluno Jéssica Dias Rodrigues, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “Proposta de Melhoria da Produtividade da Escavadeira Liebherr R954SME aAtravés da Metodologia Lean Seis Sigma ”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

A handwritten signature in blue ink, reading "Carlos Arroyo Ortiz", is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Prof.Dr. Carlos Arroyo Ortiz

Orientador