



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

**A utilização da metodologia Seis Sigma para
aumentar a taxa de perfuração das
perfuratrizes Atlas Copco DM 30 em uma mina
de minério de ferro**

Kariny Faria Silva

João Monlevade, MG
2019

Kariny Faria Silva

**A utilização da metodologia Seis Sigma para
aumentar a taxa de perfuração das
perfuratrizes Atlas Copco DM 30 em uma mina
de minério de ferro**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências
Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro
Preto.

Orientador: Prof^a Monica do Amaral

Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2019

S586u Silva, Kariny Faria.
A utilização da metodologia Seis Sigma para aumentar a taxa de perfuração das
perfuratrizes Atlas Copco DM 30 em uma mina de minério de ferro
[manuscrito] / Kariny Faria Silva. - 2019.

36f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Mônica Amaral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Six sigma (Padrão de controle de qualidade). 2. Ferro - Minas e mineração.
3. Minérios de ferro. I. Amaral, Mônica . II. Universidade Federal de Ouro
Preto. III. Título.

CDU: 658.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



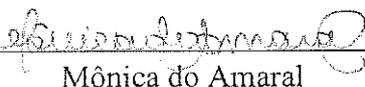
ATA DE DEFESA – ATV030

Aos 9 dias do mês de Julho de 2019, às 18 horas, na sala C204 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna **Kariny Faria Silva**, Matrícula **13.1.8225**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores Mônica do Amaral, Eduardo Sanches de Silva Filho e Thiago Geraldo dos Santos.

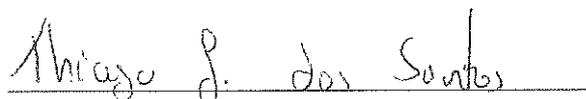
A aluna apresentou o trabalho intitulado:

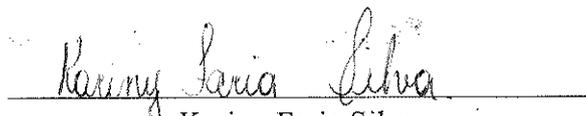
“**A utilização da metodologia 6 Sigma para aumentar a taxa de perfuração das perfuratrizes Atlas COPCO DM30 em uma mina de minério de ferro**”. A comissão examinadora deliberou, pela **Aprovação com Ressalva** - Prazo concedido para as correções: 30 dias, com a **nota 7,0**. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da Resolução COEP 05/2018 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 9 de Julho de 2019.


Mônica do Amaral


Eduardo Sanches da Silva Filho


Thiago Geraldo dos Santos


Kariny Faria Silva

Lista de Ressalvas: (i) incorporar informações e figuras da apresentação ao texto final; (ii) detalhar melhor a empresa, os equipamentos que foram objeto de estudo e a coleta de dados; (iii) detalhar o tratamento dos dados, incluindo número de amostras, retirada de outliers, separação por equipamento e a forma como os indicadores globais foram calculados; (iv) revisar a gramática e formatação de todo o texto.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me conduzir pelos melhores caminhos, me dando força e coragem para me erguer a cada queda.

À minha família, meus pais Jairo e Custódia e meu irmão Jairo Júnior que não mediram esforços em me apoiar.

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto, por me proporcionar uma experiência acadêmica memorável, que contribuiu para minha formação pessoal e profissional.

Aos professores da Universidade Federal de Ouro Preto, em especial, minha orientadora Prof^a. Mônica do Amaral, pela paciência e por enriquecer esse trabalho com seus conhecimentos.

A Luis Otávio, pela motivação e carinho.

À República Pink, pela parceria e amizade.

Aos amigos da Vale em especial Bruno Pereira que tanto me auxiliou.

Aos meus colegas André Franco, Ana Carla, Dalila Baesso, Thais Andrade, Ludmila Antunes e Sarah Fonseca, pelos momentos vividos.

Muito obrigada!

Resumo

Frente à concorrência do mercado, é imprescindível a redução dos custos de uma organização para a manutenção da sustentabilidade dos processos e para a criação de vantagem competitiva. Com base nessa premissa, ao analisar o cenário na mina de minério de ferro em Rio Piracicaba, MG, percebeu-se dois pontos de grande relevância. O primeiro ponto foi que a movimentação de minério de ferro orçada para o ano de 2019, teve um reajuste para cima bem considerável, e o segundo ponto foi que a mina começou a apresentar uma geologia com rochas mais compactas. A presença dessas rochas mostrava que a malha de perfuração já não estava atendendo, pois o minério não se fragmentava tão bem e a presença de blocos grandes acabava por prejudicar a performance da correia transportadora que por conta da má distribuição de peso dos blocos, permanecia quase sempre em manutenção. Desta forma era evidente a necessidade de estreitar a malha de furos para uma melhor fragmentação do minério, o que levaria a uma melhor performance da correia transportadora. Porém demandaria um número maior de furos, aumentando o tempo de trabalho das perfuratrizes. Com isso, percebeu-se que as perfuratrizes existentes na mina não seriam capazes de atender a demanda do plano de 2019 com o atual necessidade de estreitamento das malhas de perfuração. Assim, para que não fosse necessário investir em novos equipamentos decidiu-se melhorar a taxa de perfuração usando a metodologia Seis Sigma, que foi o objetivo deste trabalho. Buscou-se entender, por meio da revisão de literatura, o processo de desenvolvimento da metodologia, bem como a comprovação da sua eficiência na redução da variabilidade dos processos e diminuição dos custos. Para alcançar o objetivo do estudo, foram utilizadas, de forma fidedigna as ferramentas contidas na metodologia como PDCA, cartas de controle, Box Plot e outras. Como resultado, as metas foram superadas tanto da taxa de perfuração 16,33 m/ht alcançando 18,36 m/ht, quanto dos ganhos monetários R\$ 244.350,43, alcançando uma economia de R\$ 275.025,16

Palavras-chave: Seis Sigma, taxa de perfuração, perfuratrizes.

Abstract

In the face of market competition, it is essential to reduce the costs of an organization to maintain the sustainability of processes and to create competitive advantage. Based on this premise, when analyzing the scenario at the iron ore mine in Rio Piracicaba, MG, two points of great relevance were noticed. The first point was that the iron ore movement budgeted for 2019 had a very considerable upward readjustment, and the second point was that the mine began to have a geology with more compact rocks. The presence of these rocks showed that the drilling mesh was no longer meeting, as the ore did not fragment so well and the presence of large blocks eventually impaired the performance of the conveyor belt that, due to the poor weight distribution of the blocks, remained almost always under maintenance. This made clear the need to narrow the mesh of holes for better ore fragmentation, which would lead to better conveyor belt performance. But it would require a larger number of holes, increasing the working time of the drills. As a result, it was realized that the existing drills in the mine would not be able to meet the current demand of the 2019 plan with the current need for narrowing of the drilling meshes. Thus, in order not to have to invest in new equipment, it was decided to improve the drilling rate using the Six Sigma methodology, which was the objective of this work. We sought to understand, through literature review, the process of development of the methodology, as well as proving its efficiency in reducing process variability and reducing costs. To reach the objective of the study, the tools contained in the methodology were reliably used as PDCA, control charts, Box Plot and others. As a result, the targets were exceeded by both the 16.33 m / ht drilling rate reaching 18.36 m / ht and the monetary gains of R 244,350.43, *achieving savings of R 275,025.16*.

Keywords: Six Sigma, drilling rate, drill bits.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Custo de produção (em US\$/t) do minério de ferro	12
Figura 2 – Taxa de perfuração (m/ht)	15
Figura 3 – Ciclo de Deming ou Ciclo PDCA	18
Figura 4 – Detalhe do processo de operação de lavra	19
Figura 5 – Atlas Copco DM 30	20
Figura 6 – <i>Box Plot</i>	22
Figura 7 – Taxa de perfuração (Histórico)	23
Figura 8 – Evidência do P valor	23
Figura 9 – Carta de Controle	24
Figura 10 – Capabilidade do processo	25
Figura 11 – Desperdício intelectual	26
Figura 12 – Desperdício de movimentos desnecessários	26
Figura 13 – Matriz de priorização	27
Figura 14 – Perfuratriz em praça estreita e praça larga	28
Figura 15 – Gráfico de cubo	28
Figura 16 – Evidência de piso irregular	29
Figura 17 – Evidência de bit sem afiação	30
Figura 18 – Agarrando haste no furo não evidenciado	30
Figura 19 – Taxa de perfuração DM30	32
Figura 20 – Evolução da taxa de perfuração	33
Figura 21 – Parâmetros de troca de Bit	34

Lista de tabelas

Tabela 1 – Escala sigma	16
-----------------------------------	----

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivos gerais	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	Justificativa	12
1.3	Organização do trabalho	13
2	METODOLOGIA	14
2.1	Coleta dos dados	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	Seis sigma	16
3.2	<i>Lean Manufacturing</i> e <i>Lean seis sigma</i>	17
3.3	PDCA	17
3.4	Mineração	18
3.5	Perfuratriz Atlas Copco DM 30	19
3.6	Trabalhos correlatos	20
3.6.1	Uso da metodologia para atingir ganhos na mineração	20
4	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	21
5	PLANEJAMENTO	22
5.1	Análise dos dados	22
5.1.1	Nível sigma do projeto:	24
5.1.2	Ganho estimado	25
5.1.3	Identificação de oportunidades	25
5.2	Conclusão das análises	25
5.3	Identificação das causas específicas	26
5.3.1	Detalhamento do processo	26
5.4	Validação das causas levantadas	27
6	EXECUÇÃO	31
6.1	Plano de ação	31
7	VERIFICAÇÃO	32
8	AÇÃO	34

9	CONCLUSÃO	35
9.1	Lições aprendidas	35
9.2	trabalhos futuros	35
	REFERÊNCIAS	36

1 Introdução

Produzir cada vez mais, gastando cada vez menos, e garantir que o produto final seja produzido com segurança, qualidade e respeito ao meio ambiente, são características que contribuem muito para liderança de mercado. Assim, pautadas nesses princípios, muitas empresas buscam na metodologia seis sigma uma forma de garantir sua competitividade. Prova disso é o fato do método ser considerado a filosofia mais popular em busca de aperfeiçoamento de processos (FEITOR et al., 2005)

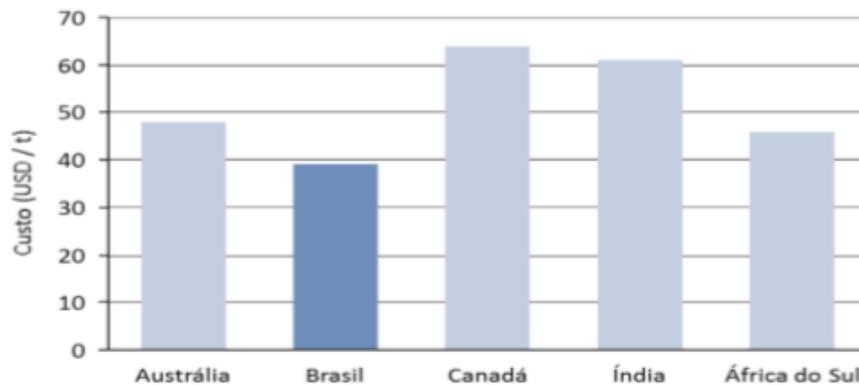
O seis sigma é estruturado para gerenciar os processos por diretrizes orientando a produção para a maximização da satisfação do cliente, juntamente com a evolução qualitativa dos processos críticos. Somado a estes pontos tem-se os objetivos de redução de desperdícios e da variabilidade dos processos que suportam os demais (SANTOS; MARTINS, 2010)

Nesse contexto, a filosofia tem se mostrado ideal principalmente para mineradoras que além de produzirem em alta escala possuem um custo operacional elevado. (COUTINHO, 2017). Além disso com o fim do "boom" das commodities e com aumento da inflação da mão-de-obra, energia e fornecedores a tendência é que as mineradoras voltem seus olhares para oportunidades de melhorias internas buscando reduzir custos e aumentar a eficiência, buscando uma maior lucratividade. (KPMG, 2013).

Segundo (CARVALHO et al., 2014) em seu estudo realizado ao Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Brasil mostra-se bastante competitivo em relação aos custos de produção do minério de ferro. Isso deve-se a eficiência do processo produtivo das grandes mineradoras que têm como estratégia a aplicação de metodologias voltadas para melhoria contínua. A figura 1 apresenta uma comparação do custo total de produção de minério de ferro desde a extração na mina até a entrega no cliente final (em US\$/t) praticado nos principais países produtores em 2012.

A extração do minério de ferro ocorre através da perfuração da rocha. Explosivos são colocados nos furos feitos nas rochas para que seja realizada a fragmentação do minério que é transportado por meio de correia transportadoras ou caminhões fora de estrada até as usinas de beneficiamento. Dessa forma é notório que a taxa de perfuração, número de equipamentos, distância percorrida, metros perfurados, o dimensionamento da malha e muitos outros pontos impactam diretamente na movimentação de minério. Deste modo, tendo em vista que a movimentação de minério orçada para 2019 aumentou, para que não houvesse necessidade de investir em novos equipamentos decidiu-se melhorar a taxa de perfuração, além disso pelo fato da mina em questão apresentar uma geologia com rochas mais compactas, percebeu-se a necessidade de estreitar a malha para uma maior fragmentação do minério levando a uma melhor performance da correia transportadora. Isso também demandaria um número maior de furos.

Figura 1 – Custo de produção (em US\$/t) do minério de ferro



Fonte: Adaptado de (CARVALHO et al., 2014)

Tendo em vista o cenário da mina viu-se a necessidade de elaborar um projeto seis sigma para aumentar a taxa de perfuração das perfuratrizes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho, tem como proposta o desenvolvimento de um projeto seis sigma para aumentar a taxa de perfuração das duas perfuratrizes Atlas Copco DM 30 da mina de minério de ferro em Rio Piracicaba, MG.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Levantar o histórico da taxa de perfuração;
- ✓ Levantamento das causas da variabilidade do processo;
- ✓ Redução da variabilidade do processo;
- ✓ Aumentar a taxa de perfuração das perfuratrizes;

1.2 Justificativa

Ao analisar a massa de minério orçada para 2019 percebeu-se que as duas perfuratrizes existentes na mina não seriam suficientes para atender tal demanda, e além disso as constantes manutenções da correia transportadora exigiu que a malha de perfuração fosse estreitada para uma maior fragmentação do minério. O material melhor fragmentado, garante uma melhor performance da correia, reduzindo as manutenções. Porém, o

estreitamento da malha aumentaria o número de furos e conseqüentemente o tempo de operação das máquinas, o que pioraria o cenário para o ano de 2019.

Diante dessa situação, para que não fosse necessário investir em uma quantidade maior de equipamentos resolveu realizar uma análise da taxa de perfuração das perfuratrizes a fim de maximizá-la.

Deste modo, tendo como base que as empresas dominadoras de mercado, para executarem bem as estratégias de redução de custos e aumento de produtividade utilizam de forma cada vez mais frequente a metodologia seis sigma Feitor, Vivacqua e Pinho (2005), resolveu-se fazer o uso desta ferramenta.

Além do ganho financeiro esperado com o aumento da taxa de perfuração para a organização, o trabalho também se justifica como forma de contribuição para evidenciar a eficiência da metodologia seis sigma.

1.3 Organização do trabalho

A estrutura deste trabalho está dividida em nove seções. A primeira parte apresenta uma introdução a respeito do assunto a ser abordado, em que são ressaltados os objetivos, a justificativa do estudo. A segunda seção disserta sobre os aspectos metodológicos e sobre o processo de coleta dos dados. A terceira seção traz estudos relacionados ao tema e definições de conceitos fundamentais para a compreensão e suporte do trabalho. A quarta seção, traz uma breve contextualização do problema. Na quinta seção são realizadas as análises dos dados levantados na fase de planejamento do trabalho. Na sexta apresenta-se a execução do plano de ação. Na sétima, apresenta-se a etapa de verificação dos dados. Na seção oito tem-se algumas ações estabelecidas ao final do projeto e por fim, na nona seção é feito um fechamento dos assuntos discorridos no trabalho.

2 Metodologia

Segundo (VIANNA, 2013), a pesquisa científica pode ser classificada quanto à natureza, objetivos, abordagem e seus procedimentos. A classificação quanto à natureza pode ser dividida em duas partes a básica e a aplicada. Denomina-se uma pesquisa básica quando nela, não é apresentado finalidades imediatas e gera conhecimento para outras pesquisas. No entanto quando a pesquisa gera produtos e/ou processos e possui finalidade imediata é denominada como aplicada.

Já quanto aos objetivos, estes podem levar a classificar a pesquisa como exploratória, que corresponde a fase de obtenção de informações sobre determinado assunto, e que orienta objetivos, métodos e formulação das hipóteses, ou descritiva, que têm como intuito descrever as características de uma determinada população, fenômeno ou relações entre variáveis. A pesquisa explicativa, preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Referente à abordagem, existe as pesquisas qualitativas e quantitativas. A pesquisa qualitativa apresenta informações que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais. Quanto a pesquisa quantitativa, esta, utiliza a linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc além disso as amostras são, geralmente, grandes e representativas da população, sendo essa abordagem centrada na objetividade. Porém, existem muitas pesquisas que apresentam ambas as características o que as tornam mais completas (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

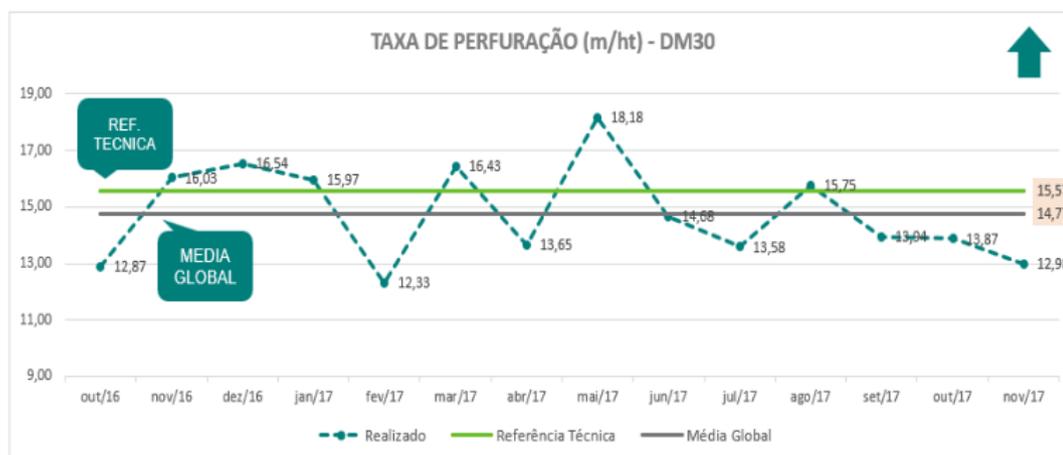
Dessa forma seguindo a denominação e atribuição da literatura pode-se classificar o seguinte trabalho como uma pesquisa aplicada, exploratória e quantitativa uma vez que desenvolvemos o trabalho em prol de resultados consolidados, buscando informações com base em históricos e além de tudo utilizando e gerando dados estatísticos.

2.1 Coleta dos dados

Para coleta dos dados como horas trabalhadas, foi utilizado o (*software Smart Mine*) que é o (*software*) responsável pelo monitoramento e armazenamento de todos os dados dos equipamentos de operação de mina da empresa e para coleta de dados como metros perfurados foi utilizado o relatório oficial de Plano de Fogo exigido pelo ministério do exército através da Norma Regulamentadora R105 (Port. 42 COLOG). Assim, foi feito um levantamento dos dados para analisar a taxa de perfuração no período de outubro de 2016 à novembro de 2017 e observou-se que a média global do período se encontrava abaixo da referência técnica de performance da perfuratriz, como podemos ver na figura 2.

Em cada perfuratriz existe um computador de bordo, e todas as “atividades” por elas desempenhadas são computadas. Por exemplo: no momento em que o equipamento está deslocando é apropriado no computador de bordo deslocando, e quando inicia-se a perfuração apropria-se perfurando e os tempos de cada atividade são enviados para o banco de dados do (*software*). Sendo assim foi levantado um histórico da taxa entre os períodos de outubro de 2016 a novembro de 2017 e notou-se que o indicador estava abaixo do dito pela referência técnica como “suficiente”. A média global entre 2016 e 2017 foi de 14,77 m/h sendo que a referência técnica é de 15,57 m/h (valor de performance estimado pelo fabricante). Dessa forma iniciou-se os estudos que veremos de forma mais aprofundada na seção 5.

Figura 2 – Taxa de perfuração (m/ht)



Fonte: O Autor 2018

3 Revisão de literatura

3.1 Seis sigma

Segundo (PIRASTEH; FOX, 2011) a metodologia seis sigma foi desenvolvida na década de 80 dentro da empresa Motorola pelo seu presidente Bob Galvin, e Bill Smith, um engenheiro. O intuito na época, era criar algo que fosse capaz de afastar a organização das ameaças da indústria eletrônica. Desta forma, partindo do princípio de qualidade e “zero defeitos” exigido pelos clientes, aos poucos a técnica foi criando a forma que hoje conhecemos.

Dentre os anos de 1987 e 1992 a motorola passou de uma produtividade nas vendas por funcionário de US\$ 68,9 para US\$ 110. As melhorias implementadas geraram economias que chegaram até US\$ 2,2 bilhões. A lucratividade alcançada fez despertar o interesse de empresas como Honeywell (1991), General Eletric (1995) e Kodak (1999), que também alcançaram excelentes resultados com a implementação da metodologia.

O termo seis sigma significa 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), sendo que o termo “sigma” representa a variação do processo em relação à média. (Banuelas et al., 2005).

Com relação a segmentação da equipe de um projeto seis sigma verificamos na literatura duas variações a primeira constando Champions, Master Black Belts (MBB), Black Belts (BB) e Green Belts (GB) (Hahn, 2005; Buch Tolentino, 2006; Gutiérrez et al., 2012). E a segunda com a seguinte formação: Champions, Black Belts (BB) e Green Belts (GB) (Schroeder et al., 2008; Calia et al., 2009; Laux et al., 2014). Com a não utilização do MBBs. Cada membro possui dentro da sua função responsabilidades e níveis de atuações diferentes.

Tabela 1 – Escala sigma

Nível sigma	Nível de qualidade (%)	Taxa de erro (%)
1σ	30,90	69,10
2σ	69,10	30,90
3σ	93,30	6,70
4σ	99,38	0,62
5σ	99,977	0,023
6σ	99,99966	0,00034

Fonte: O autor (2018)

Nas últimas décadas, o programa Seis Sigma tem sido considerado a metodologia mais popular em busca de aperfeiçoamento de processos, segundo afirmações de (FEITOR

et al., 2005). O estudo de (SANTOS, 2006) comprova que as organizações que optam por alinhar as diretrizes estratégicas à projetos Seis Sigma possuem melhor desempenho em relação às que não o fazem.

3.2 *Lean Manufacturing* e *Lean seis sigma*

A incorporação dos conceitos de *Lean Manufacturing* ou Produção Enxuta ao Seis Sigma de forma integrada originou o *Lean Seis Sigma* (SALAH, 2010) . Com isso pôde-se aprimorar o processo de negócio que possibilita a obtenção de resultados relevantes em custo, qualidade e tempo, que são derivados do foco no desempenho do processo e na satisfação do cliente. Com isso, a gestão da qualidade é favorecida por técnicas e procedimentos como: o Mapeamento do Fluxo de Valor; programa 5S; Produção Puxada (*Kanban*), times de melhoria (*Kaizen*), *just in time* entre outros, que quando aplicados viabilizam a otimização do produto ou produção, tornando-o mais enxuto e, conseqüentemente, mais ágil e de menor custo.

3.3 PDCA

Um dos procedimentos mais bem conhecidos na gestão da qualidade total (TQM) para resolução de problemas é o uso do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). O PDCA, ou métodos similares como o DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) são utilizados em projetos de melhorias segundo a abordagem Seis Sigma em diversas organizações e resultam em ganhos significativos (FONSECA; MIYAKE, 2006).

Para resolver problemas é necessário fazer um levantamento e estudo das chamadas causas raízes que dentre as várias definições utilizadas por Rooney; Hewel (2004) podem ser vistas como causas fundamentais específicas. Quanto mais específicas forem, mais fácil fica para chegar a recomendações que prevenirão ocorrências.

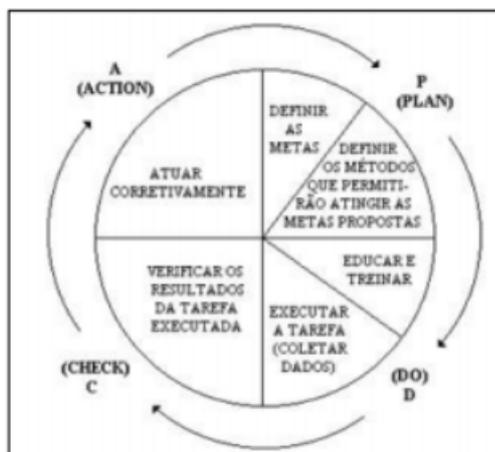
Como pode ser observado na própria nomenclatura e também na Figura 3, o Ciclo PDCA está dividido em 4 fases bem definidas e distintas.

Primeira Fase: P (*Plan* = Planejar) Nesta fase deve se estabelecer um plano de ação no qual deverá consistir de duas etapas: a) Definição de objetivos, estratégias e metas; b) Consiste em definir quais os métodos serão utilizados para se atingir os objetivos traçados.

Segunda Fase: D (*Do*= Executar) Caracteriza-se pela execução do que foi planejado e, da mesma forma que a primeira fase, está dividida em duas etapas: a) Capacitar a empresa para que a implementação do que foi planejado possa ocorrer. Envolve, portanto, aprendizagem individual e organizacional; b) Implementar o que foi planejado.

Terceira Fase: C (*Check* = Verificar) Nesta fase deve-se verificar se todas as etapas executadas foram realizadas como planejadas, analisando se os resultados estão sendo

Figura 3 – Ciclo de Deming ou Ciclo PDCA



Fonte: (FONSECA; MIYAKE, 2006)

atingidos conforme previsto. A diferença entre o desejável (planejado) e o resultado real alcançado constitui um problema a ser resolvido. Dessa forma, esta etapa envolve a coleta de dados do processo e a comparação destes com os do padrão e a análise dos dados do processo fornece subsídios relevantes à próxima etapa.

Quarta Fase: A (*Action*= Agir) Esta fase consiste em fazer as correções necessárias para extinguir os problemas e impedir que eles ocorram novamente. Podem ser ações corretivas ou de melhorias que tenham sido constatadas como necessárias na fase anterior. Envolve a busca por melhoria contínua até se atingir o padrão, sendo que essa busca da solução dos problemas, por sua vez, orienta para: a necessidade de capacitação; o preenchimento das lacunas de conhecimento (CHOO; ROCHA, 2003) necessário à solução do problema, propiciando a criação de novos conhecimentos e a atualizações do padrão.

3.4 Mineração

A indústria da mineração do ferro tem grande importância econômica na economia mineral brasileira. O Brasil possui grandes reservas e se tratando de qualidade, possui o minério de melhor qualidade do mundo. Sendo assim ele se destaca no mercado exterior.

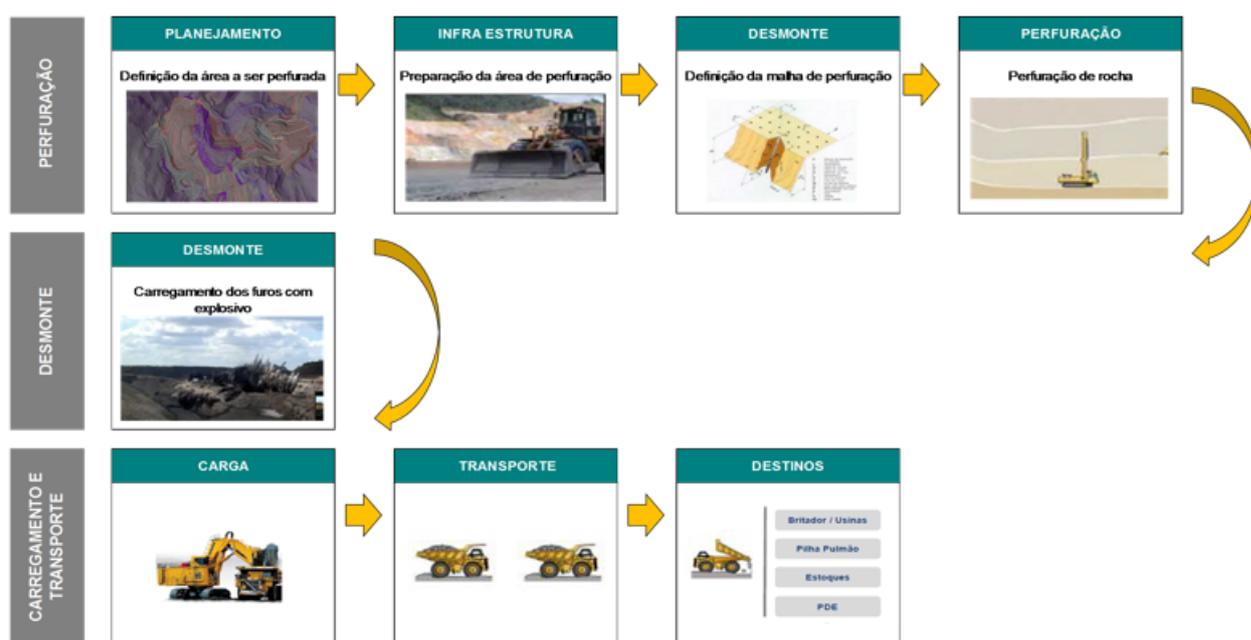
O processo de extração de minério de ferro representa a mais importante atividade mineral do país pelos recursos financeiros envolvidos, desde a prospecção mineral para definir os jazimentos minerais até a comercialização dos produtos comerciais de minério de ferro, participando com destaque dos investimentos prospectivos, na mão de obra envolvida, na arrecadação de impostos e na arrecadação da compensação financeira pela exploração de recursos minerais (CFEM), assim como no comércio exterior gerando importantes divisas, e envolvendo a atividade com uma logística de transporte rodoviário, ferroviário e marítimo (QUARESMA, 2009).

A extração do minério de ferro consiste na retirada do minério do solo e possui diferentes etapas. O processo de retirada do mineral pode ser feito a partir de minas subterrâneas ou minas a céu aberto, dependendo da localização e forma do depósito.

De modo geral, as operações de lavra podem ser apontadas e descritas da seguinte forma:

- ✓ Perfuração: são utilizadas máquinas perfuratrizes para estabelecer furos sobre as rochas;
- ✓ Desmonte: os furos são preenchidos com explosivos, seguidos da detonação e consequente fragmentação do minério;
- ✓ Remoção: o minério fragmentado é transportado, através de correias transportadoras de longa distância, carregadeiras ou caminhões fora de estrada, até as instalações de Beneficiamento (VISION, 2018).

Figura 4 – Detalhe do processo de operação de lavra



Fonte: A empresa 2018

3.5 Perfuratriz Atlas Copco DM 30

A perfuratriz DM 30, é o modelo da série da linha (*Drillmaster*) da empresa Atlas Copco, perfuratriz rotativa ou de martelo de fundo de furo, ideal para perfurações de 12m a 18m de profundidade. Pode ser observada na figura 5.

Figura 5 – Atlas Copco DM 30



Fonte: O Autor 2018

3.6 Trabalhos correlatos

Nesta seção, serão apresentados alguns trabalhos que seguiram em sua linha de abordagem estudos utilizando a metodologia seis sigma para aperfeiçoar os processos na área a mineração reduzindo gastos.

3.6.1 Uso da metodologia para atingir ganhos na mineração

No trabalho de (COELHO et al., 2016) foi implementado o seis sigma para reduzir os custos com materiais de desgaste e rodante para equipamentos móveis e semimóveis de uma mineradora, era esperado uma redução de 10% em relação ao orçamento do ano de 2014 para estes tipos de materiais, que corresponde a uma economia de R\$ 684.768,30. Porém no final do projeto teve-se uma redução de 45,85%, ou R\$3.139.468,82 sobre o valor orçado para o mesmo ano.

Nos estudos de (CUTRIM et al., 2016) analisa-se a utilização do método do seis sigma aplicado na gestão do sistema de embarque de minério, se restringindo à aplicação do indicador de parada operacional no processo de operação de embarque do Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM) da Vale, localizado em São Luís MA a meta era reduzir a média de horas por milhão de toneladas movimentadas de 8,15 para 6,19. No entanto os resultados obtidos mostraram ganhos pelo deslocamento da média de 8,15 h/mt para 2,53 h/mt

4 Contextualização do problema

Para realização deste trabalho utilizou-se principalmente das metodologias seis sigma e PDCA. O projeto foi realizado em uma mina de minério de ferro em Rio Piracicaba MG e a iniciativa de trabalhar com o aumento da taxa de perfuração das perfuratrizes DM 30 na mina ocorreu devido às características geológicas atuais e a necessidade de fragmentar o minério para melhor rendimento da TCLD, Correia Transportadora de Longa Distância. Além disso a massa de minério detonada orçada para 2019 aumentou em 220.879 toneladas em relação a 2018 o que seria impossível de cumprir devido ao número e a performance atual dos equipamentos.

A taxa de perfuração é um importante indicador operacional da frota de perfuratrizes. Mede a quantidade de metros perfurados em um intervalo de tempo. Este indicador é dependente principalmente da frota, do método de perfuração do diâmetro da ferramenta de perfuração e da litologia a ser perfurada. A taxa de perfuração pode ser calculada através das horas trabalhadas totais (considerando as locomoções entre os furos, chamadas de atrasos operacionais) ou apenas com as horas trabalhadas perfurando e este indicador é do tipo que quanto maior melhor.

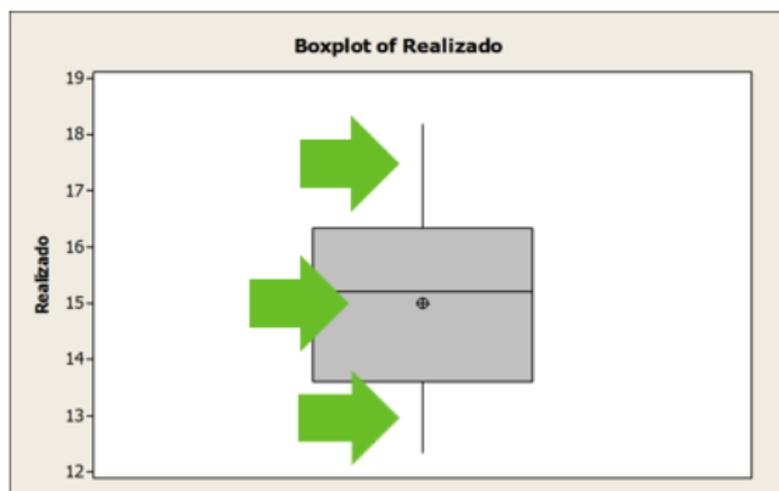
$$Taxa \ de \ Perfuração = \frac{Metros \ perfurados \ (m)}{Hora \ trabalhada \ (ht)} \quad (4.1)$$

5 Planejamento

5.1 Análise dos dados

Inicialmente na fase de planejamento do PDCA, foi realizada a identificação do problema e o entendimento do seu impacto, o que mostrou a real necessidade da implementação de melhorias. Ponto explicitado por meio do levantamento do histórico mostrado na figura 2 e na contextualização do problema na seção anterior. Nesta primeira fase também se estabeleceu a meta do projeto. Para isso foi realizada uma análise da variabilidade dos dados coletados, onde construiu-se o gráfico *box plot* tendo como limite inferior 12,33 m/ht, a menor taxa de perfuração encontrado no histórico, primeiro quartil $Q1 = 13,598\text{m/ht}$ segundo quartil que é a Média dos dados $Q2 = \text{Média} = 15,215\text{m/ht}$ terceiro quartil $Q3 = 16,330\text{m/ht}$, limite superior = 18,18 m/ht, a maior taxa de perfuração encontrada no histórico e Mediana = 14,996m/ht (dados encontrados na figura 2). Desta forma ao observarmos esses dados na (figura 6) podemos ver como a média e a mediana estão próximas. Além disso, o intervalo interpartido revela uma simetria que pode ser comprovada pelo histograma da (figura 7) que varia de 12 a 18 m/ht e possui um desvio padrão de 1,75 e 3º quartil que representa 25% dos dados estão acima da referência técnica.

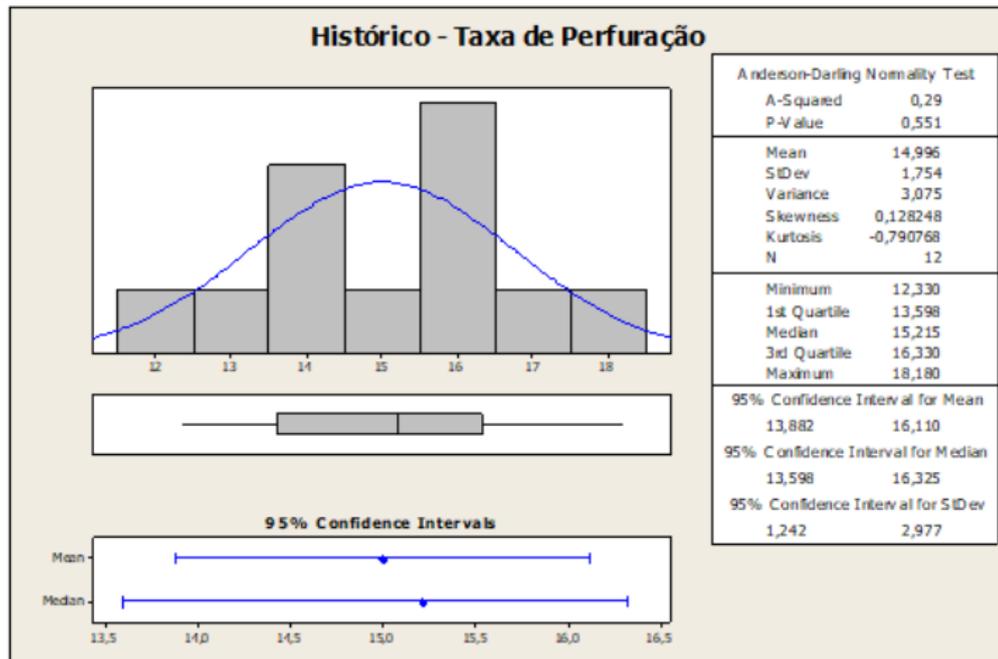
Figura 6 – *Box Plot*



Fonte: O Autor 2018

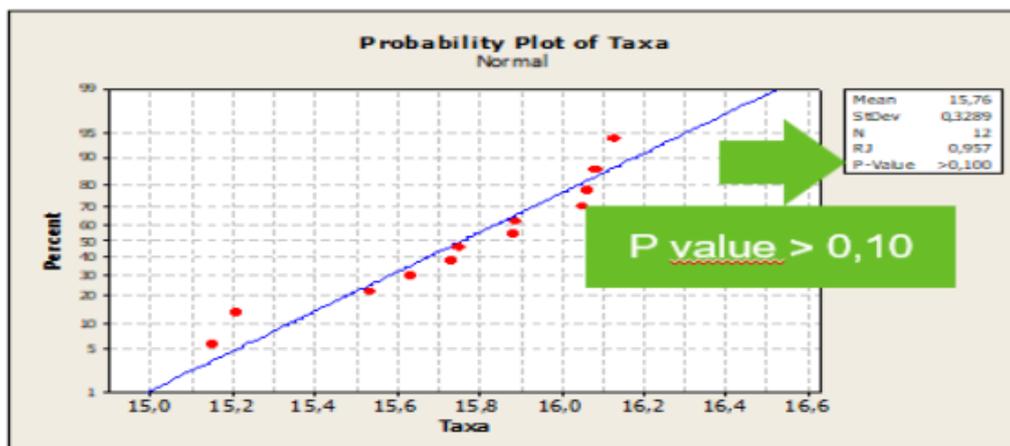
Para realizar a análise da variabilidade foi aplicado o teste de normalidade onde P valor apresentou maior que 0,1, mostrando que os dados seguem uma distribuição normal evidenciado pelas cartas de controle que não possuem nenhum ponto fora dos limites, (figuras 8 e 9).

Figura 7 – Taxa de perfuração (Histórico)



Fonte: O Autor 2018

Figura 8 – Evidência do P valor



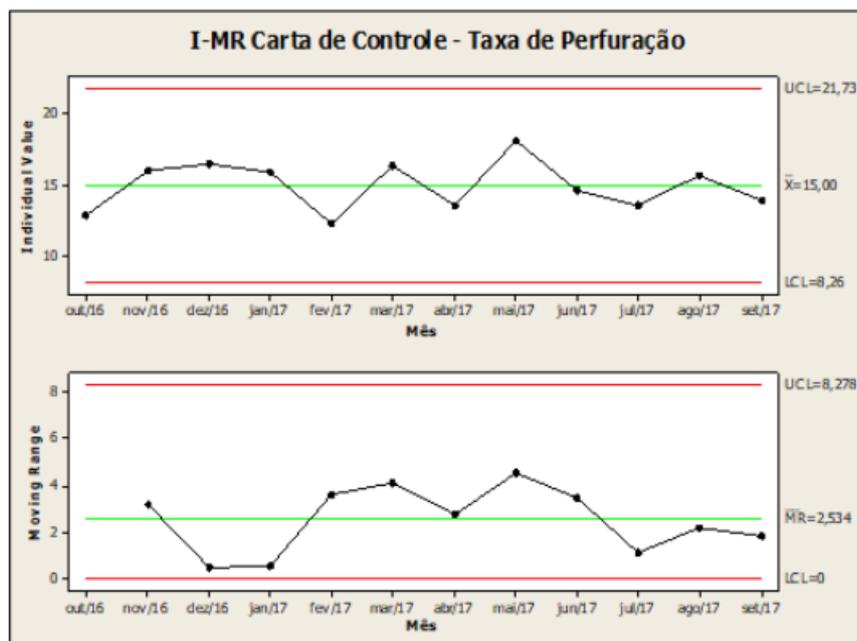
Fonte: O Autor 2018

Como não há frequência, sequência ou sazonalidade pode-se notar que os problemas se caracterizam como sistêmicos e de causas comuns.

Com isso pôde-se estabelecer uma meta geral de 16,33 m/ht que foi estimada com base no 3º quartil, já que é o primeiro maior valor acima da referência técnica de 15,57 m/ht. Com isso a meta geral representa um aumento de 8% em relação à média histórica de 15 m/ ht.

Para entender se o processo era ou não capaz de atender à meta, realizou-se

Figura 9 – Carta de Controle



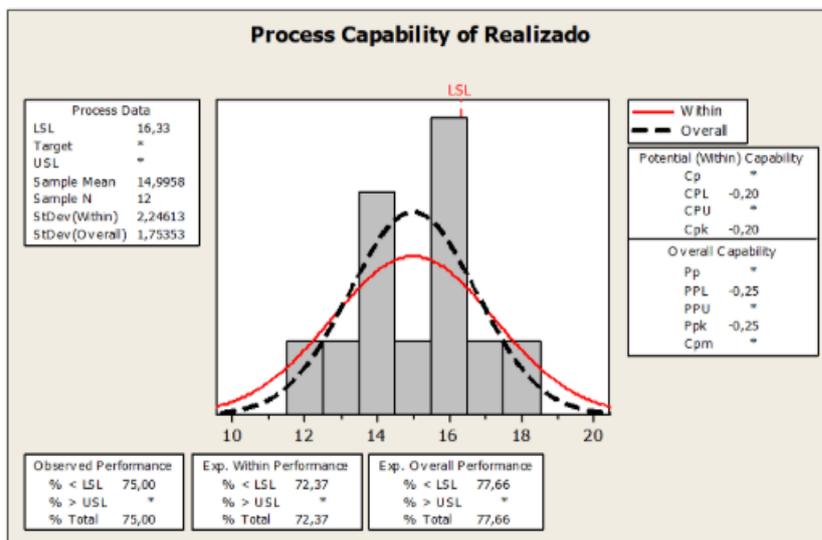
Fonte: O Autor 2018

o processo de capacidade, definindo como limite superior de especificação a meta de 16,33m/ht. Com a análise percebeu-se que 77,66% dos dados se encontraram abaixo do limite de especificação o que revelou ser essa parcela de dados que deveria ser trabalhada. Com isso ficou evidente que existia a necessidade deslocar a média e reduzir a variabilidade do processo. Ao encontrar os dados $CPK = -0,20$ e $PPK = -0,25$, notou-se que estavam baixos e próximos o que indica que não há causas especiais (figura 10). Além disso como 77,66% dos dados estão abaixo do limite estabelecido isso mostra que nosso processo atual não é capaz de atender a especificação.

5.1.1 Nível sigma do projeto:

Após a coleta dos dados e estabelecimento da meta percebeu-se que dentre os 12 meses analisados no levantamento do histórico, 9 estavam com a taxa de perfuração abaixo da meta de 16,33 m/ht (ver figura 2). Sendo assim, ao calcular o nível sigma inicial do projeto onde se divide o número total de defeitos ou não conformidades que são 9 pelo número de unidades processadas que são 12 obtemos o nível sigma de 0,75, aproximadamente 1, que é o nível mais baixo da escala, correspondendo a 691.462 defeitos por milhão.

Figura 10 – Capabilidade do processo



Fonte: O Autor 2018

5.1.2 Ganho estimado

Ainda na etapa de planejamento com estabelecimento da meta de 16,33 m/ht, um aumento de 8% sobre a média histórica de 15 m/ht, foi solicitado ao departamento administrativo para que fizesse uma estimativa de ganho financeiro com a nova meta, e o resultado foi que poderia-se chegar a uma economia de até R\$ 244.350,43 em 2018.

5.1.3 Identificação de oportunidades

Encontrou-se oportunidades relacionadas ao desperdício intelectual de funcionários que possuíam conhecimento em perfuração e não foram designados à função relacionada a esta área.(figura 11)

Foram encontrados também, desperdícios de movimentos com relação ao acople e desacople de haste nas perfuratrizes (figura 12). O tipo de rosca utilizada na troca da haste era do tipo API. Esta rosca era utilizada para perfurações de poços de petróleo, perfurações mais profundas e demandava mais tempo no processo de acople/desacople. No caso da mineração utiliza-se uma profundidade menor, de 12 até 18 m. Sendo assim procurou-se com fornecedores uma rosca que fosse mais adequada.

5.2 Conclusão das análises

É possível obter maior ganho na produtividade da mina de Água Limpa e para isso sugere-se aumentar a taxa de avanço sempre que necessário de acordo com a formação rochosa que se encontra perfurando para obter aumento da pressão de trabalho e aumento

da taxa de produtividade. Para reduzir o tempo operacional também é necessário utilizar a rosca de 3 1/2 "BECO.

Figura 11 – Desperdício intelectual



Fonte: O Autor 2018

Figura 12 – Desperdício de movimentos desnecessários



Fonte: O Autor 2018

5.3 Identificação das causas específicas

5.3.1 Detalhamento do processo

Após a realização do mapa de processos e do diagrama de Ishikawa encontrou-se 21 causas relacionada ao problema. Sendo assim, foi realizado uma priorização de 11 causas

onde o pré requisito foi impacto no problema, custo, facilidade de correção e autonomia como pode ser visto na matriz de priorização da figura 13.

Figura 13 – Matriz de priorização

Etapa	Origem	Parâmetro crítico	Controlável ou Ruído					
				Impacto no problema	Custo para eliminação	Facilidade de correção	Autonomia	Total
PLANEJAMENTO	Mapa de Processo	Plano de perfuração (área)	R	1	10	10	1	22
	Mapa de Processo	Praça de perfuração estreita	C	10	10	5	5	30
	Mapa de Processo	Profundidade da coluna de perfuração	C	10	10	5	5	30
INFRA ESTRUTURA	Mapa de Processo	Disponibilidade de equipamento	R	1	5	5	5	16
	Mapa de Processo	Piso irregular	R	5	10	5	10	30
	Ishikwa	Operação em frente de lava no período noturno		1	1	1	5	8
	Mapa de Processo	Leira	R	1	10	10	10	31
DESMONTE	Mapa de Processo	Malha de perfuração	R	1	5	10	10	26
PERFURAÇÃO	Mapa de Processo	Bit sem afiação	C	10	5	10	10	35
	Ishikwa	Rosca da haste incompatível com o método de perfuração		10	5	10	10	35
	Ishikwa	Falta de percepção do operador		10	10	1	10	31
	Mapa de Processo	Pressão de ar no martelo de perfuração	C	10	10	10	10	40
	Ishikwa	Tempo de experiência na função		5	5	5	10	25
	Mapa de Processo	Afiação do bit (disciplina do operador)	R	10	5	10	10	35
	Ishikwa	Devido desmonte com explosivos em áreas próximas à área a ser perfurada		5	10	1	1	17
	Ishikwa	Litologia do material e profundidade do furo		5	10	1	1	17
	Ishikwa	1 - Característica do equipamento		10	1	1	5	17
	Ishikwa	2 - Esquecimento de apontamento da metragem perfurada		10	10	1	10	31
	Ishikwa	Mudança de prioridade de perfuração		1	10	1	1	13
	Ishikwa	O afiador de bits agrega outras atividades		5	5	1	10	21
	Ishikwa	Múltiplas variáveis não controladas inerentes aos processos		5	1	1	1	8

Fonte: A empresa 2018

5.4 Validação das causas levantadas

Para a causa: praça de perfuração estreita foi evidenciado (figura 14) e alocado funcionários capacitados para monitorar os locais deixando-os em perfeitas condições de operações (largura mínima de 20 M e piso nivelado.)

No caso das causas profundidade da coluna de perfuração (parâmetro) e pressão de ar no martelo de perfuração (parâmetro) foi utilizado o Design of experiments, DOE, onde foi realizado um planejamento fatorial onde utilizou-se 4 fatores e 2 níveis. Os fatores foram: Fornecedor, litologia, altura e Pressão do compressor. E seus níveis foram, Atlas, Drillco que são os dois fornecedores de componentes, friável e compacto, 10 e 5 metros, >220 psi e <220 psi. O resultado da combinação desses fatores e níveis nos levaram a 16

Figura 14 – Perfuratriz em praça estreita e praça larga

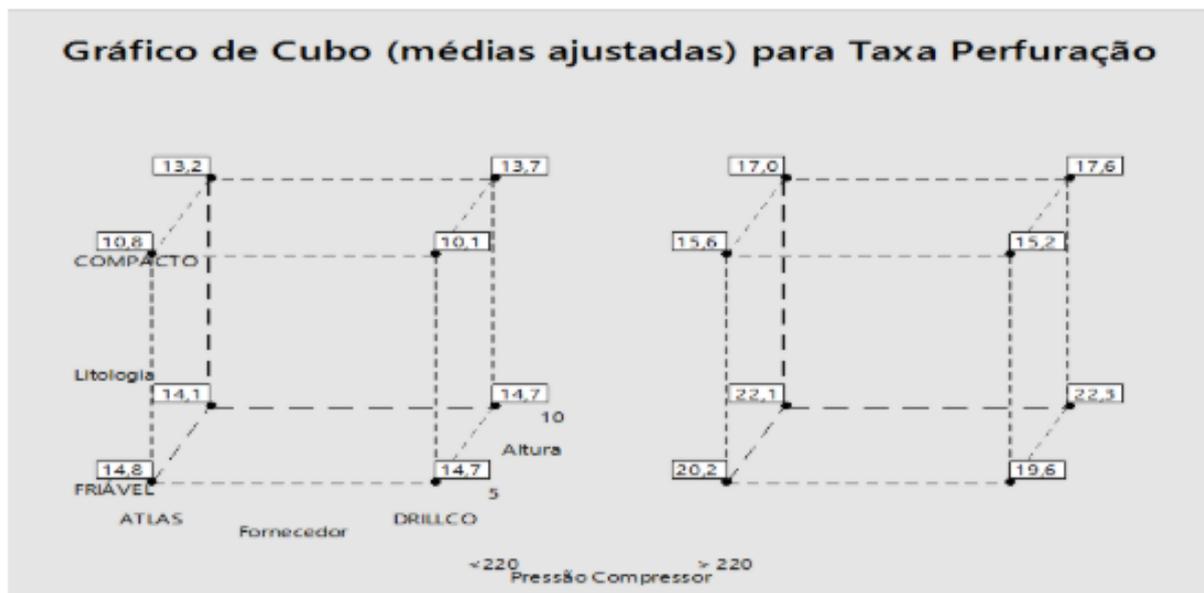


Fonte: O Autor 2018

experimentos que foram realizados em campo e foi coletado a taxa de perfuração para cada caso. Assim constatou-se que pressão, litologia e altura influenciam significativamente a taxa de perfuração. Os fatores e níveis escolhidos foram os supracitados por serem os pontos de maior impacto na taxa de perfuração.

Interagiu-se os fatores e os níveis relevantes para identificar a melhor configuração e constatou-se que a melhor taxa de perfuração a uma pressão menor que 220 psi acontece a uma altura de 5 m e com material friável e a uma pressão de trabalho maior que 220 psi a melhor taxa de perfuração acontece a uma altura de 10 m e material friável, (figura 15).

Figura 15 – Gráfico de cubo



Fonte: O Autor 2018

A causa piso irregular também foi evidenciada (figura 16).

Figura 16 – Evidência de piso irregular



Fonte: O Autor 2018

A ausência de leira não foi evidenciado em nenhum acesso ou praça.

Os bits sem afiação foram encontrados por meio de inspeções. Isso inviabiliza a performance da operação (figura 17).

Foram realizados testes com as duas roscas API e a BECO 3 ” e foi comprovado a eficiência desta última assim como previsto. Já a causa falta de percepção do operador - agarrando haste no furo foi considerado irrelevante devido ao curtíssimo período de tempo encontrado (figura 18).

O esquecimento de apontamento de metragem perfurada também foi evidenciado via sistema de despacho. Dessa forma, das 9 possíveis causas 7 foram evidenciadas, e assim foram listadas 20 possíveis soluções para elaboração do plano de ação.

Figura 17 – Evidência de bit sem afiação



Fonte: O Autor 2018

Figura 18 – Agarrando haste no furo não evidenciado

Relatório de Controle de Horas dos Equipamentos			
Auxiliar			
Atlas Copco DM30			
Primeiro Nível	Segundo Nível	Terceiro Nível	Horas (h)
HORA ATRASO OPERACIONAL	DESARRAR HASTE		00:32:21
	DESLOCA ENTRE FURIOS		50:20:03
	LOCOMOVE ENTRE ATEND		17:43:08
		Total	68:35:32

Fonte: Smart mine 2018

6 Execução

6.1 Plano de ação

As possíveis soluções foram classificadas de acordo com a área de impacto e causa e foi realizado a priorização segundo matriz de priorização considerando complexidade, custo, impacto e prazo. Após esta etapa foi estabelecido um cronograma para execução para atendimento ao prazo dos pontos abaixo:

Bit sem afiação: Definir parâmetros de afiação de bit, (de desgaste do botão de 6,5 mm). Treinar operadores na identificação de necessidade de afiação de bit. Adquirir ferramentas para medir diâmetro do botão do bit

Profundidade da coluna de perfuração: Solicitar a equipe de planejamento de lavra, planos de perfuração com profundidade de 10 a 16 m.

Pressão de ar no martelo de perfuração: Definir parâmetros de perfuração de acordo com a litologia da rocha. Treinar operadores. Disponibilizar no equipamento os parâmetros definidos

Estabelecer parâmetros para utilização do bit de acordo com litologia da rocha: Bit verde = novo, destinado a rochas mais resistentes; Bit amarelo = vida útil, destinados a rochas com resistência intermediária. Bit vermelho = descarte, destinados a rochas friáveis.

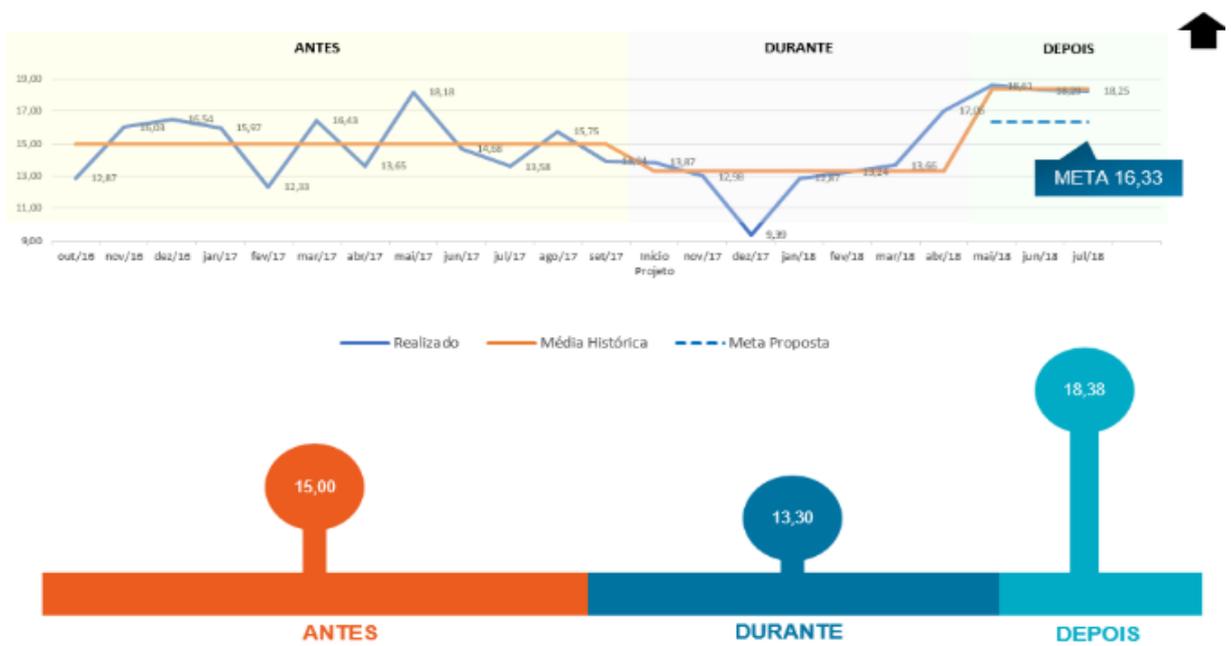
Treinar operadores na identificação do bit aplicável: Realizado pelo engenheiro Bruno.

7 Verificação

Durante o período de confecção do projeto, nos meses de Outubro de 2017 a março de 2018 a taxa de perfuração se apresentou mais baixa que a média histórica coletada e no final, depois do período de implementação como resultado alcançou-se uma taxa 13% maior que a meta estabelecida no início do projeto chegando a uma média de 18,38m/ht, (figura 19).

Figura 19 – Taxa de perfuração DM30

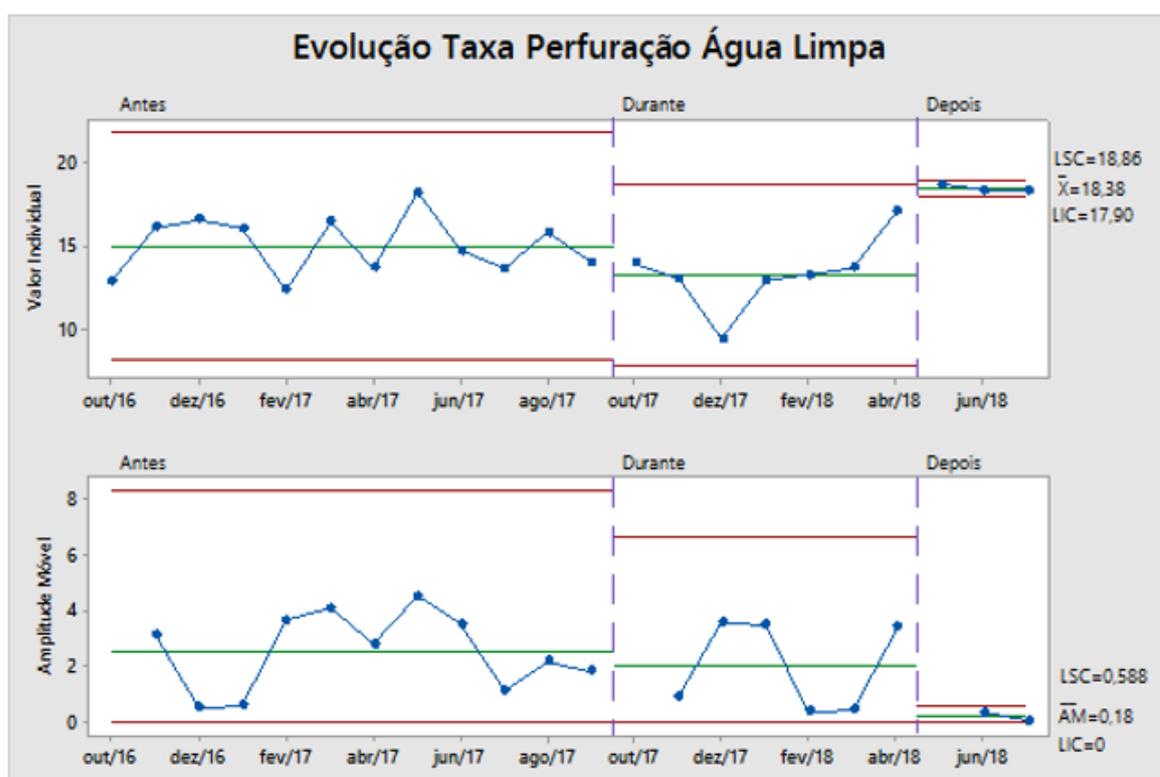
TAXA DE PERFURAÇÃO (m/ht) - DM30



Fonte: O Autor 2018

Além do aumento da média da taxa de perfuração, com o projeto desempenhado também houve uma redução da variabilidade dos dados do processo (figura 20) e uma redução dos gastos de R\$ 275.025,16, valor calculado pelo departamento de administrativo financeiro.

Figura 20 – Evolução da taxa de perfuração

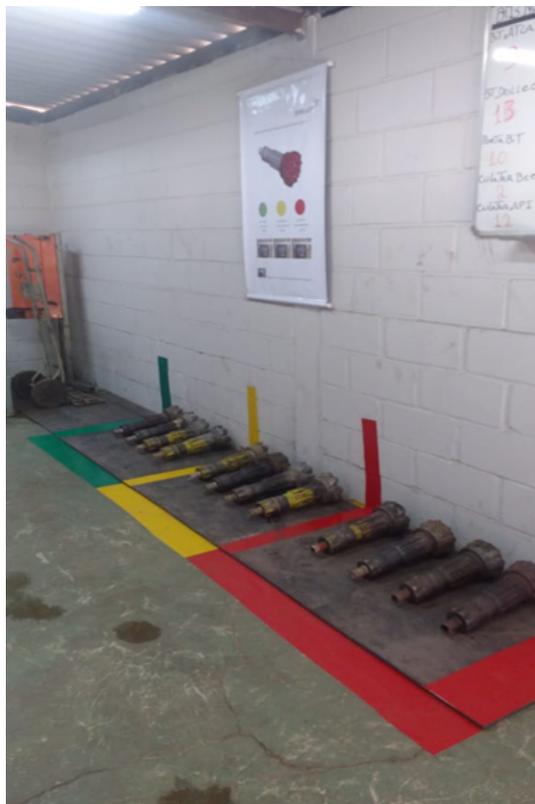


Fonte: O Autor 2018

8 Ação

Como ação ao final do projeto permaneceu a apresentação para toda equipe da operação de lavra, criação de procedimentos operacionais padrões com os novos aprendizados e monitoramento do processo de troca de bit de acordo com litologia da rocha: bit verde = novo, destinado a rochas mais resistentes, bit amarelo = vida útil, destinados a rochas com resistência intermediária e bit vermelho = descarte, destinados a rochas friáveis

Figura 21 – Parâmetros de troca de Bit



Fonte: O Autor 2018

9 Conclusão

Com base no estudo desenvolvido, foi aprofundado o entendimento acerca da metodologia Seis Sigma, principalmente no que tange o impacto da taxa de perfuração das perfuratrizes DM 30 na produtividade da Mina de Água Limpa. Por meio de levantamento histórico, elaboração de cartas de controle análises gráficas e outros métodos foi possível, dentre outras atividades, levantar as causas e soluções que foram validadas gerando informações confiáveis.

Ao fim do projeto pôde-se observar que a metodologia Seis Sigma realmente é uma grande aliada para redução da variabilidade dos processos e redução de custos.

Além de conseguir atingir os objetivos do trabalho, conseguiu-se superar as metas estabelecidas tanto da taxa de perfuração 16,33 m/ht alcançando 18,36 m/ht, quanto dos ganhos monetários R\$ 244.350,43 alcançando uma economia de R\$ 275.025,16. Porém é um desafio muito grande fazer com que os resultados permaneçam pois a construção de um novo hábito de operação requer tempo. Por isso é imprescindível que haja um acompanhamento rigoroso das atividades pelo menos nos primeiros 5 meses pós projeto.

9.1 Lições aprendidas

- ✓ O comprometimento e engajamento da equipe foi importante para o sucesso do projeto;
- ✓ O resultado do indicador demonstra estabilidade e confiança na qualidade das decisões tomadas.
- ✓ Para o sucesso do projeto é importante enfrentar os mitos e definir novas formas de trabalho;
- ✓ A aplicação correta da metodologia permite atuar nas causas de um problema;
- ✓ A disciplina para o cumprimento do plano de ação foi importante para os resultados imediatos;
- ✓ A quebra de paradigma relacionado a ativação do modo econômico do equipamento;
- ✓ A importância de um bom relacionamento com a equipe;

9.2 trabalhos futuros

Algumas propostas para trabalhos subsequentes seriam a realização de um projeto a nível Black Belt e trabalhos que monitorem os resultados para análise de pontos átipicos.

Referências

- CARVALHO, P. S. Landim de; SILVA, M. M. da; ROCIO, M. A. R.; MOSZKOWICZ, J. Minerio de ferro. BNDES, 2014.
- CHOO, C. W.; ROCHA, E. *Organização Do Conhecimento Como as Organizações Usam a Informação Para Criar Significado, Construir Conhecimento e Tomar Decisões*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1. 421 p.
- COELHO, A. F.; SILVA, G. L.; SOUZA, C. J. d. A.; LAGE, B. d. C. F.; GUERRA, M. d. O. L. Aplicação da metodologia seis sigma para redução de custos com materiais de desgaste e rodante para equipamentos moveis e semimoveis de uma mineradora. VIII SIMPOSIO DE ENGEHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 2016.
- COUTINHO, H. L. *Melhoria continua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a ceu aberto*. 94 f. Monografia (Especialização) — UFOP, Ouro Preto, 2017.
- CUTRIM, S. S.; NUNES, L. C. C.; ROBLES, L. T.; FILHO, W. C. P.; PEREIRA, N. N.; SAMPAIO, R. D. B. Seis sigma na operação e logistica portuaria da vale: Estudo de caso no terminal maritimo ponta da madeira. Revista Eletrônica de Estrategia e Negocios, 2016.
- FEITOR, C. D. C.; VIVACQUA, C. A.; PINHO, A. L. Santos de. A produção científica sobre a metodologia seis sigma. XXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2005.
- FONSECA, A. V. M. da; MIYAKE, D. I. Uma analise sobre o ciclo pdca como um metodo para solução de problemas da qualidade. XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2006.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. *Métodos de pesquisa*. [S.l.]: Plageder, 2009.
- PIRASTEH, R. M.; FOX, R. E. *Profitability with No Boundaries: Optimizing Toc and Lean-Six Sigma*. [S.l.]: Focus, 2011.
- QUARESMA, L. F. Relatório tecnico 18 – perfil da minera de ferro. Ministerio de Minas e Energia, Brasília, DF, 2009.
- SALAH, S. The integration of six sigma and lean management. International Journal of Lean Six Sigma, v. 1, n. 3, p. 249–274, 2010.
- SANTOS, A. B. *Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade Seis Sigma – proposta e avaliação*. Tese (Doutorado) — UFSCAR, 2006.
- SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Contribuições do seis sigma: estudos de caso em multinacionais. Scielo, 2010.
- VIANNA, C. T. *Classificação das Pesquisas Científicas-Notas para os alunos*. [S.l.]: Florianópolis, 2013.
- VISION. Extração do minerio de ferro. Grupo VISION, 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto –UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “A UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA SEI SIGMA PARA AUMENTAR A TAXA DE PERFURAÇÃO DAS PERFURATRIZES ATLAS COPCO DM 30 EM UMA MINA DE MINÉRIO DE FERRO” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 07 de agosto de 2019.

Kariny Faria Silva



TERMO DE CONFORMIDADE

Certifico que a aluna Kariny Faria Silva, matrícula 13.1.8225, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado “A utilização da metodologia 6 Sigma para aumentar a taxa de perfuração das perfuratrizes Atlas COPCO DM30 em uma mina de minério de ferro”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

João Monlevade, 7 de Agosto de 2019.


Mônica do Amaral