

Análise de um programa Seis Sigma para aumento da produção de tarugos em uma empresa metalúrgica

Bárbara Cristina Mendanha Reis (UFMG) babi_mreis@hotmail.com

Magno Campos Silvério (UFOP) magno.sopmac@gmail.com

Beatriz Mendanha Reis (UFOP) bia_mreis@hotmail.com

Natália Fernanda Santos Pereira (UFMG) natsantos23@gmail.com

Resumo:

Atualmente existe a necessidade comum entre as organizações a fim de promover a qualidade e melhorar o desempenho geral continuamente, dado as restrições impostas pelo ambiente competitivo. Diante deste cenário está a metodologia Seis Sigma com uma abordagem que busca a melhoria contínua do desempenho do negócio e a valorização da satisfação dos clientes, por meio da aplicação de ferramentas estatísticas, da qualidade e de enfoque estratégico, estruturadas estas no método DMAIC. Partindo desse pressuposto, o objetivo deste trabalho é analisar os resultados alcançados com a implantação do programa Seis Sigma estruturado nas cinco fases do DMAIC em um setor crítico de uma empresa metalúrgica a fim de aumentar a produção de tarugos em 100 ton/mês, dado que mercado se encontrava aquecido economicamente. Após as ações de melhoria, por meio do uso sistemático do DMAIC e ferramentas tais como SIPOC, cartas de controle, FMEA, comparação de médias foi possível aumentar o mix de produção mensal em 210,44 toneladas, valor correspondente a 110,44% a mais que o estabelecido pela meta inicial do projeto. Por meio desse projeto foi possível a criação de valor, seja no aspecto financeiro, na saúde, segurança e meio ambiente. Por fim, verificou-se comprometimento da equipe para implantação do plano de ação ao constatar que na fase controlar 96% das ações previstas neste estavam concluídas.

Palavras chave: Seis Sigma, DMAIC, Metalúrgica, SIPOC, FMEA

Analysis of a Sigma Six program to increase the production of tarugos in a metallurgical company

Abstract

Currently there is a common need among organizations in order to promote quality and improve overall performance continuously, given the constraints imposed by the competitive environment. Facing this scenario is the Six Sigma methodology with an approach that seeks the continuous improvement of business performance and the valuation of customer satisfaction, through the application of statistical tools, quality and strategic approach, structured in the DMAIC method. Based on this assumption, the objective of this work is to analyze the results achieved with the implementation of the Six Sigma program structured in the five phases of the DMAIC in a critical sector of a metallurgical company in order to increase the production of billets in 100 ton / month, since market was economically heated. After the improvement actions, through the systematic use of DMAIC and tools such as SIPOC, control charts, FMEA, comparison of averages it was possible to increase the monthly production mix by 210,44 tons, corresponding to 110,44% a more than the initial project goal. Through this project it was possible to create value, be it in the financial aspect, in health, safety and environment. Finally, it was verified the commitment of the team to implement the action plan when finding that in the phase control 96% of the actions foreseen in this were concluded.

Key-words: Six Sigma, DMAIC, Metallurgical, SIPOC, FMEA

1. Introdução

Ao analisar as abordagens da qualidade, tem-se a necessidade de maior integração entre os processos de manufatura e a área de qualidade, a fim de se obter maior produtividade e lucratividade (CARVALHO; PALADINI, 2009). Portanto, para atender as especificações e satisfazer o cliente, eliminar os desperdícios, gerir recursos eficientemente, desenvolver produtos com maior qualidade, prover a melhoria contínua, bem como aumentar as vantagens competitivas, vários métodos, técnicas e ferramentas foram desenvolvidas nas organizações.

Nessas abordagens surge o Seis Sigma, uma estratégia gerencial, que alia possibilidades das áreas quantitativa e qualitativa, com objetivo de melhorar o desempenho empresarial e assim viabilizar a maximização dos lucros.

No Seis Sigma são estabelecidas métricas apropriadas para alinhar os objetivos e valores estratégicos de uma organização com as necessidades e expectativas dos clientes. Logo, deve-se buscar o controle dos desvios em todas as fases de desenvolvimento do produto ou serviço: no planejamento do projeto, nas formas de medição, nas especificações da matéria-prima, além de outras possíveis fontes de variabilidade como pessoas, máquinas, métodos e ambiente.

É importante ressaltar que o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método estruturado para a resolução de problemas, o DMAIC, que garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos e permite à organização implementar melhorias de negócio, seja interferindo em algumas partes de um processo ou estabelecendo um novo fluxo de atividades.

O objetivo deste trabalho é analisar a aplicação do método DMAIC em um projeto para o aumento da produção de tarugos em uma metalúrgica multinacional, neste trabalho denominada empresa A. Esse projeto pertencia ao Programa Seis Sigma da empresa A e para estudar seus efeitos foram levantados e analisados, além dos dados de desenvolvimento, os dados pré e pós-projeto.

Além dessa introdução ao trabalho desenvolvido, o artigo está organizado da seguinte forma: seções 2 e 3 apresentam o referencial teórico sobre os temas abordados, Seis Sigma e DMAIC; seção 4 apresenta a abordagem metodológica utilizada no trabalho; seção 5 contextualiza, apresenta e analisa os dados da Empresa A; e seção 6 apresenta as principais conclusões.

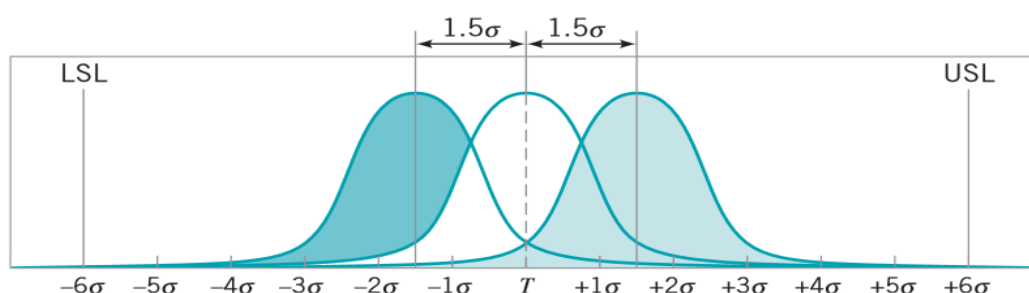
2. Seis Sigma

Os produtos que apresentam um grande número de componentes possuem maiores oportunidades para a ocorrência de falhas ou defeitos. O foco do Seis Sigma, metodologia criada pela Motorola no final da década de 80, é a redução da variabilidade nas características de qualidade chave do produto para o nível em que falhas ou defeitos sejam extremamente improvável, utilizando-se para isto ferramentas estatísticas difundidas por outros programas de melhoria contínua (MONTGOMERY, 2008).

De maneira mais ampla, pode-se definir Seis Sigma correlacionando a abordagem estatística e estratégica com temas elementares que auxiliam a compreender sua abrangência. Nesse sentido, o Seis Sigma por meio do gerenciamento estratégico, uso de estatística, indicadores de desempenho, integração de técnicas variadas para avaliar e otimizar processos, bem como da aprendizagem de todos envolvidos, promove a satisfação do cliente e o melhor desempenho do negócio (SANTOS, 2006).

De acordo com Montgomery (2008), o conceito Seis Sigma é reduzir a variabilidade no processo, de modo que, os limites de especificação sejam pelo menos seis desvios padrão da média. Em Qualidade seis sigma, a probabilidade de que qualquer unidade específica de um produto hipotético seja não danificada é 0.9999998, ou seja, 0,2 partes defeituosas por bilhão (ppb). Segundo o mesmo autor, na formulação inicial da metodologia, foi suposto que, quando o processo chegasse ao nível de qualidade seis sigma, a média do processo ainda poderia estar sujeita a perturbações que levariam em até 1,5 desvios-padrão fora do alvo, como mostra a Figura 1. Nessa perspectiva, um processo com qualidade seis sigma iria produzir cerca de 3,4 ppm defeituosos, conforme mostra a Tabela 1.

Porém, há uma inconsistência lógica nisso. Para Montgomery (2009) o desempenho de um processo não estável, não é previsível. Para o caso específico o autor explica que a média pode flutuar mais do que 1,5 desvio padrão “permitido”, sendo assim, uma predição de 3,4 ppm de defeituosos não é muito confiável.



Fonte: Montgomery (2008)

Figura 1- Distribuição normal com a média desviado por $\pm 1,5$ do alvo

Limite de Especificação	Porcentagem dentro da especificação	Defeitos (ppm)
± 1 Sigma	30.23	697700
± 2 Sigma	69.13	608700
± 3 Sigma	93.32	66810
± 4 Sigma	99.3790	6210
± 5 Sigma	99.67670	233
± 6 Sigma	99.999660	3.4

Fonte: Adaptado de Montgomery (2008, p.28)

Tabela 1-Significado da escala sigma

Por meio da leitura da Tabela 1 é possível verificar que um dos elementos fundamentais do Seis Sigma é a busca contínua da redução da variabilidade, ou seja, a redução do número de defeitos. Quando a variabilidade de um processo é controlada e reduzida, ocorre a melhoria do processo, ou seja, a capacidade do processo diz respeito a sua uniformidade.

É importante ressaltar que o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas, organizadas em um método estruturado para a resolução de problemas, o DMAIC. Esse método garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos, que se baseia em dados e métodos estatísticos para atingir o resultado desejado, garantindo assim, melhorias de negócio, seja por apenas mudar algumas partes de um processo ou estabelecendo um novo fluxo de atividades (CARVALHO, 2012).

3. DMAIC

A metodologia DMAIC é utilizada ao longo de todo o processo de construção da qualidade de uma empresa, processo este que tem três grandes fases: planejamento da qualidade, melhoria da qualidade e o controle da qualidade (JURAN, 1988). Em um projeto Seis Sigma, a metodologia utilizada é denominada DMAIC, que é baseada nas seguintes etapas: definir, mensurar, analisar, aperfeiçoar e controlar (do inglês *define, measure, analyze, improve, control*). Estes passos estão representados na Figura 2, a qual relaciona cada etapa do DMAIC com seu respectivo objetivo.

Definir Oportunidades	Mensurar Performance	Analisar Oportunidades	Implantar Performance	Controlar Performance
Identificar, validar a oportunidade de melhoria do negócio; Definir requisitos críticos do cliente; Mapear processos; Estabelecer abertura do projeto e definir equipe;	Determinar o que medir; Gerir a coleta de dados; Desenvolver e validar sistemas de medição; Determinar nível de desempenho sigma;	Analisar dados para compreender as razões para a variação e identificar potenciais causas; Determinar capacidade do processo, rendimento e tempo de ciclo;	Gerar alternativas para possíveis soluções; Selecionar solução final; Verificar e obter aprovação para solução final.	Acompanhar as saídas dos processos; Desenvolver gestão de processos; Estabelecer planos de ação de controle; Monitorar características críticas do processo;

Fonte: adaptado de Montgomery (2008)

Figura 2- O processo DMAIC

Diversas ferramentas são utilizadas de maneira integrada às etapas do DMAIC, tornando-o um método estruturado baseado em coleta de dados e uso de ferramentas estatísticas e da qualidade para se alcançar os resultados estratégicos à empresa (WERKEMA, 2004).

Entre essas ferramentas, podem-se citar o diagrama de processo SIPOC (do inglês *Supplier, Input, Process, Output e Customers*) e a metodologia análise do modo e efeito de falha, conhecida como FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*).

Montgomery (2008) classifica o SIPOC como um mapa de processo de alto nível sendo útil para a compreensão e visualização de elementos básicos do processo. Yamanaka (2013) complementa que o seu principal objetivo é detectar os responsáveis por cada subprocesso e estabelecer de que maneira eles se interagem para que o processo seja realizado, além de, determinar as interfaces que podem existir entre diferentes áreas.

A FMEA é usada para priorizar as diferentes fontes potenciais de variabilidade, falhas, erros ou defeitos de um produto ou processo em relação a três critérios: probabilidade de que algo vai dar errado, capacidade de detectar uma falha, erro ou defeito e gravidade de uma falha, defeito ou erro (MONTGOMERY, 2008).

Ao longo da implementação do DMAIC, o grande diferencial do Seis Sigma é transformar a utilização desse método em parte da cultura da empresa e assim contribuir para o aumento da eficiência do método (AGUIAR, 2006). O autor ainda ressalta que esse aumento de eficiência é alcançado com a integração das ferramentas da qualidade e do conhecimento técnico ao método de solução de problemas.

4. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa científica é a busca de conhecimentos com base em procedimentos capazes de dar confiabilidade aos resultados (PRODANOV; FREITAS, 2013). Os mesmos autores afirmam que as classificações possíveis para a pesquisa científica baseiam-se nos critérios de abordagem, natureza, objetivo e procedimento.

A pesquisa realizada neste trabalho, no que se refere à abordagem, pode ser classificada como qualitativa e abordou tema Seis Sigma em uma indústria do setor metalúrgico descrevendo um problema de baixa produção que a empresa enfrentava em 2009, bem como o projeto Seis Sigma que foi utilizado para a solução do problema.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser considerada aplicada, pois com base nos dados coletados, procurou produzir conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, uma vez que neste artigo buscou-se expor as características da produção de tarugos, demandando técnicas padronizadas de coleta de dados.

O procedimento adotado para a pesquisa foi o estudo de caso. De acordo com Yin (2001), o estudo de caso é uma forma de pesquisa empírica, que visa investigar fenômenos contemporâneos. A empresa escolhida para o estudo de caso foi selecionada de forma intencional devido à familiaridade de um dos pesquisadores com o caso e acesso a seus documentos internos.

A observação direta cotidiana, não estruturada, foi utilizada na coleta de dados a fim de identificar a realidade dos fatos observados na empresa. Para detalhar a pesquisa, utilizou-se a análise de documentos internos e formulários disponibilizados pela empresa.

A empresa A é uma organização multinacional, com unidades distribuídas em 11 países, sendo que no Brasil sua sede está instalada em São Paulo. Por meio de suas subsidiárias e associadas desenvolve atividades de mineração de bauxita, refino de alumina, produção de alumínio primário, laminação de alumínio e reciclagem. A próxima seção caracteriza o processo produtivo de tarugos, no qual foi desenvolvido o projeto Seis Sigma em análise.

5. Estudo de Caso

5.1 Processo produtivo de tarugos

O estudo focou na etapa final da produção de alumínio primário, no setor responsável pela produção de tarugos, denominado Refusão. Um diagrama simplificado, elaborado pelos autores, das etapas de produção da Refusão está apresentado na Figura 3:

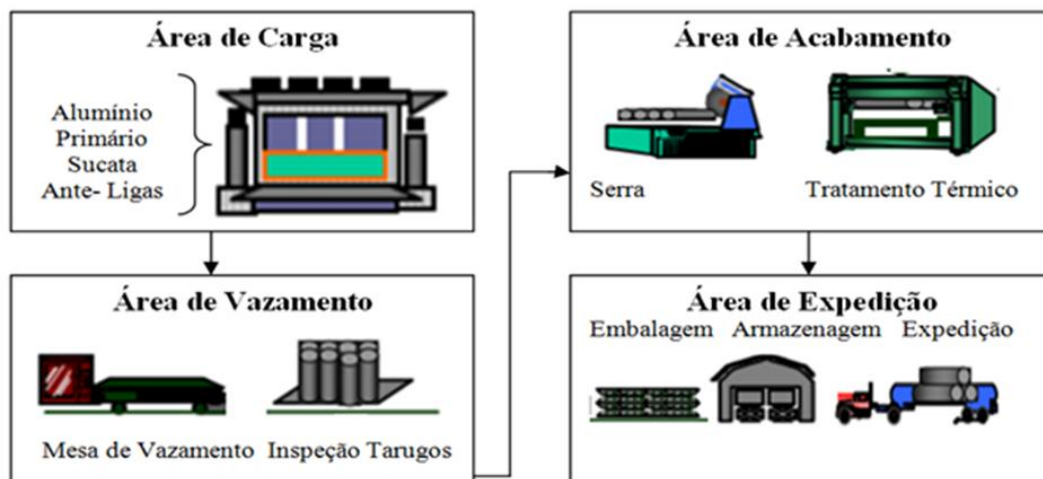


Figura 3-Ciclo de produção de tarugos na Refusão

Considerando a Figura 3, na área de carga, o forno pode ser carregado com até 75% de carga sólida e 25% de metal líquido ou totalmente com o metal líquido. O material é encaminhado para área de vazamento, onde se dará a forma sólida ao metal líquido por meio de um processo semicontínuo de vazar metal, por moldes de alumínio refrigerado por água e lubrificado com graxa especial. Em seguida, os tarugos passam por uma inspeção que objetiva assegurar a qualidade do produto. Na fase de acabamento, o produto é serrado e tratado termicamente, a fim de alcançar as propriedades mecânicas e especificações dimensionais. Posterior tratamento térmico, os tarugos são identificados, armazenados e enviados para o cliente.

Na área de vazamento é importante destacar as mesas que contêm os moldes nos quais o metal líquido será vazado. Existem dois tipos de mesas, sendo eles de 152 mm e 178 mm. A primeira mesa possui 40 moldes de 152 mm de diâmetro (cada), de forma análoga, na outra mesa são 40 moldes, porém de 178 mm. As duas mesas apresentam canais nos quais circulam água e fluidos continuamente, a fim de refrigerar e lubrificar o sistema. A quantidade de material que circula pelo sistema é constante e afeta diretamente a quantidade de tarugos vazados. Caso um número inferior a 30 moldes seja preenchido, os tarugos produzidos deverão ser descartados, pois apresentarão problemas de qualidade e defeitos como trincas, arraste e impurezas. Esse número mínimo foi estabelecido de acordo com o equilíbrio do sistema, ou seja, a quantidade de peças vazadas estará consonante ao sistema caso três variáveis sejam atendidas: temperatura, velocidade e vazão de água.

5.2 Detecção de oportunidade de melhoria no processo produtivo de tarugos

Em 2009, baseado no consumo de alumínio, a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL), estabeleceu uma perspectiva de crescimento, entre 8,9% e 11,3% ao ano (a.a) do consumo de alumínio no país nos 15 anos subsequentes.

Entre os meses de outubro/2008 a outubro/2009, a empresa A verificou que a sua produção estava limitada a 3000 toneladas ao mês (t/mês). Considerando essa limitação e o aumento da demanda previsto pela ABAL, a equipe detectou a necessidade de aumentar sua produção em 30% considerando o metal líquido disponível para a empresa. Para tanto, buscou-se desenvolver um projeto de melhoria Seis Sigma no processo produtivo de tarugos.

Detalhados o processo produtivo de tarugos e o problema enfrentado, a seção seguinte descreve esse projeto Seis Sigma para o aumento da produção na Refusão.

5.3 Apresentação e análise dos dados

Em outubro de 2009, a capacidade de produção de tarugos da unidade estava restrita diante a previsão de alto volume de sólidos a ser refundido nos meses subsequentes. A partir de tal justificativa, surgiu o projeto para aumentar em 100 ton/mês a produção total de tarugos, com o objetivo de atender o mercado que se encontrava aquecido economicamente.

Justificada a necessidade de atendimento de demanda do mercado, quantificado a geração de capital para a organização e avaliados os riscos de saúde e segurança com o ganho de desempenho operacional, a empresa prosseguiu com um projeto Seis Sigma, portanto, utilizando o método estruturado DMAIC.

Na fase Definir, do método estruturado DMAIC, a ferramenta SIPOC, caracterizado na Figura 4, permitiu mapear o processo. Neste trabalho, os relacionamentos do diagrama foram expressos através de índices, a fim de facilitar o estudo. Assim, ao ligar a entrada 'metal líquido' com o processo 'carregar forno', por exemplo, representa-se da seguinte forma: I1P1. Quanto aos fornecedores e clientes, estes apresentam intermediários em suas relações com os processos: entradas para fornecedores e saídas para clientes e, para finalizar, cada processo e cliente possuem requisitos.

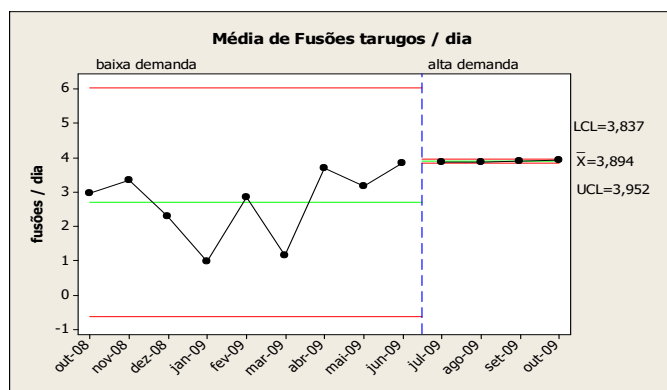
Supplier		Input		Process			Output		Customer	
S ₁ , I ₁	Redução	I ₁ , P ₁	Metal Líquido	R ₁ , P ₁ , P ₂	R1: Comp. Química	P ₁	Carregar Forno	O ₁ , P ₃	Tarugos	R ₄ , C ₁ , C ₂
S ₂ , I ₂	Mercado de Sucata	I ₂ , P ₁	Sucata	R ₂ , P ₁ , P ₂ , P ₃	R2: Temperatura	P ₂	Tratar Metal	R ₃ , C ₁ , C ₂	R5: Especificações do produto	C ₁ , O ₁
S ₃ , I ₃	Refusão	I ₃ , P ₁	Lingotes	R ₃ , P ₁ , P ₂ , P ₃	R3: Tempo	P ₃	Vazar Metal			
S ₄ , I ₄	Distribuidora de Anti-liga	I ₄ , P ₁ , P ₂	Anti-Ligas							
S ₅ , I ₅	Concessionária	I ₅ , P ₂ , P ₃	Energia Elétrica							
S ₆ , I ₆	Empresa A	I ₆ , P ₁ , P ₂ , P ₃	Recursos Humanos							
S ₇ , I ₇	Empresa A	I ₇ , P ₃	Mesas Vazamento							

Figura 4- Diagrama SIPOC

Detalhado o processo por meio do SIPOC, fez-se necessário mensurar o desempenho vivenciado pela área. Sendo assim, na fase Medir, pontuou-se que a área de carga e tratamento de tarugos sendo composta por dois fornos (3R e 4R), em que cada um tinha a capacidade de produção de 24 toneladas. O conjunto de vazamento possuía 2 mesas com 40 moldes cada. A primeira mesa tinha moldes de 152 mm e a cada batelada de carga do forno seria capaz de realizar 3 vazamentos produzindo assim 120 tarugos. A segunda mesa possuía moldes de 178 mm e a cada batelada de carga do forno seria capaz de realizar 2 vazamentos produzindo 80 tarugos.

A produção de tarugos possui sazonalidade devido a períodos de baixa e alta demanda. No período de alta demanda é possível encontrar grande quantidade de metal a baixos preços no mercado de sucata nacional, já no outro período a oferta de sucata é limitada devido ao preço elevado.

Entre os meses outubro de 2008 a outubro de 2009, foi estudada a média de produção de tarugos por dia. Sendo assim, pode-se perceber que, no período de alta demanda, a média de fornos carregados e material vazado, doravante denominado batelada, era de 3,89/dia, conforme Figura 5. A baixa da variabilidade da média de produção/dia em períodos de alta demanda deve-se ao volume constante de sucata o qual implica em uma estabilidade de produção.



Fonte: empresa A (2009)

Figura 5 - Média diária de batelada

Na fase seguinte, Analisar, para recolher o maior número possível de causas para explicar as possíveis fontes de baixa produção a equipe realizou um *brainstorming*. As principais ideias relatadas foram estruturadas como entradas em uma matriz de causa e efeito. Os efeitos do processo Carregar Forno (P1 do SIPOC) e Tratar Metal (P2 do SIPOC) foram caracterizados pelas saídas ciclo de fusão, sistema de combustão e produção. O relacionamento entre cada entrada e cada saída seguiu o seguinte critério de correlação: (1) fraca, (3) moderada, (9) forte.

Para estabelecer os relacionamentos da matriz de causa e efeito, reuniu-se uma equipe multidisciplinar com conhecimento técnico e prático das atividades da área, a fim de evitar a subjetividade das relações. Preenchida a matriz, foi possível destacar os aspectos que deveriam ser priorizados para alcançar o objetivo do projeto. A partir do Quadro 1 é possível observar uma adaptação da matriz, organizada de acordo com as etapas do processo.

Processo	Entrada do Processo	Correlação de entrada com saída do processo			Prioridade
		Ciclo da fusão	Ciclo de Combustão	Produção	
Combustão do óleo	Temperatura do óleo	9	9	9	Alta
Carga e tratamento	Maçarico	9	9	3	Alta
Vazamento	Mix de Produção	9	3	9	Alta
9: correlação forte		3: correlação moderada		1: correlação fraca	

Fonte: adaptado da Empresa A (2009)

Quadro 1-Exemplo de relacionamento entre entradas e saídas do processo de vazamento de tarugos

A metodologia FMEA também foi uma ferramenta utilizada nesta etapa. Realizou-se análise das falhas potenciais e foram propostas ações de melhoria para diminuir as chances do processo falhar durante sua operação com base no número de prioridade de risco (NPR) e os fatores severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Por meio do Quadro 2 é possível observar de forma sintetizada a FMEA do processo Carga e Tratamento com aquelas funções

de processo que foram priorizadas devido maior impacto na média de produção de tarugos.

Função do Processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Causa e Mecanismo potencial da falha	NPR (SxOxD)	Ação Recomendada	Ação Tomada
Carregar Forno	Falta de Empilhadeira	Atraso do ciclo da fusão	Parar atividade	210	Rever procedimento com empresa terceirizada.	Disponibilizar máquina reserva na área.
Carregar Forno	Atomização do óleo inadequada	Atraso do ciclo da fusão	Falta de manutenção	324	Rever sistema pré-aquecedores do óleo	Troca de fusíveis e resistências
Carregar Forno	Temperatura baixa do óleo e falha durante a medição	Atraso do ciclo da fusão	Falta na definição da temperatura de atomização	324	Estabelecer temperatura ideal e rever sistema de medição	Procedimento estabelecendo temperatura do óleo e troca de medidores de temperatura
Carregar Forno	Maçarico ruim	Atraso do ciclo de fusão	Limpeza e troca não é programada	210	Definir periodicidade de troca e limpeza	Troca e limpeza de 2 em 2 dias
Limpeza do Poço	Tempo excessivo de tarefa	Atraso do ciclo de fusão	Falta de dispositivo para transporte da mesa	210	Aquisição de equipamento para manuseio	Aquisição de macaco
Mix de Produção	Tempo excessivo no número de setups	Gera mais ciclos de fusão	Falta aumentar a capacidade de vazamento	280	Ajustar batente e calço de fornos	Aumentar batente em 5 cm e reduzir calço em 6 cm.
1ª na Prioridade 		2ª na Prioridade 		3ª na Prioridade 		

Fonte: adaptado da Empresa A (2009)

Quadro 2-FMEA do processo Carga e Tratamento

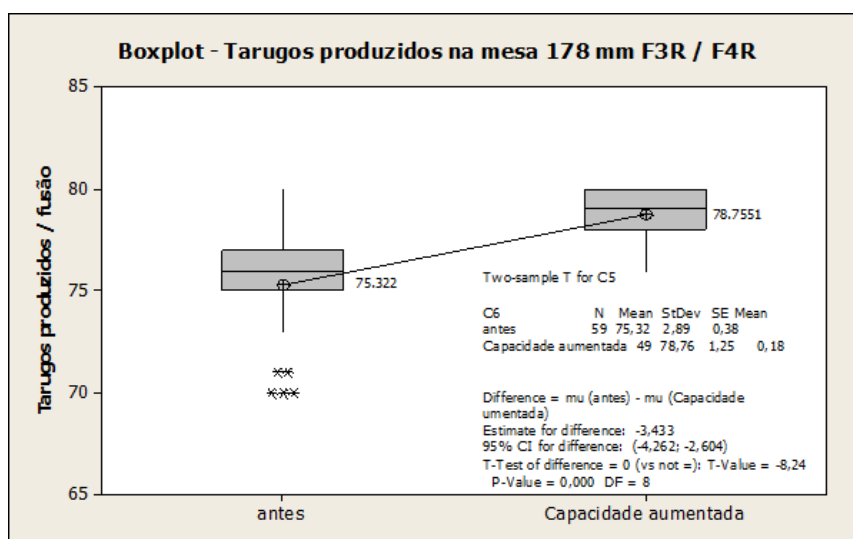
Com a priorização das ações apontadas na FMEA, na fase Implementar, foram executadas ações de melhoria de controle nas áreas produtivas e o plano de ação das causas e mecanismos potenciais de falha identificadas na FMEA, com prioridade para aquelas que apresentaram maior gravidade. A equipe treinou os funcionários, destacando as ações de melhorias, os procedimentos operacionais e as medidas que deveriam ser tomadas e, ressaltou que, as principais dificuldades encontradas nesta fase foram o atraso da execução das melhorias rápidas e falta de conhecimento técnico.

Após implementações e na última fase do método DMAIC, Controlar, foram acompanhadas as saídas dos processos para verificar os ganhos das iniciativas.

A quantidade máxima de produção de cada forno (3R e 4R), após melhorias, aumentou em,5 toneladas chegando a 26,5 toneladas por carregamento. Para a mesa com moldes de 152 mm, como mostra a figura 7, a quantidade de material vazado após o aumento da produção passou a ter uma média de 117,093 tarugos/fusão, o que representou um ganho de produtividade de 10,71% em relação ao período pré melhorias (105,759 tarugos/fusão). Também é possível perceber, que após as ações de melhoria, a variabilidade da quantidade de peças produzidas, por fusão, diminuiu, o que demonstra um aperfeiçoamento do processo induzindo a uma menor geração de defeitos ou erros.

Na Figura 6, verifica-se que o valor retornado para a comparação da média pré e pós melhorias sendo negativo (-3,433), o que confirma que para a amostra realmente a média de produção aumentou. Quanto ao teste de hipótese, verificou-se que com 95% de confiança, o intervalo (-4,262;-2,604) contém esta diferença entre as médias pré e pós capacidade aumentada, o que é possível descartar a hipótese nula. Esse resultado também está de acordo

com Teste T, com um valor de T negativo, ou seja, que para a população de tarugos da mesa de 178mm pode-se garantir que a média de produção após melhorias é maior comparada à situação anterior.



Fonte: Empresa A (2009)

Figura 6 -Produção de tarugos na mesa 178 mm por fusão antes e depois das melhorias implantadas

Os ganhos de produção, após as ações de melhoria, foram sintetizados pelos autores e expostos na Figura 7, comparando o antes e o depois para cada forno (3R ou 4R) e para cada mesa (152mm ou 178mm).

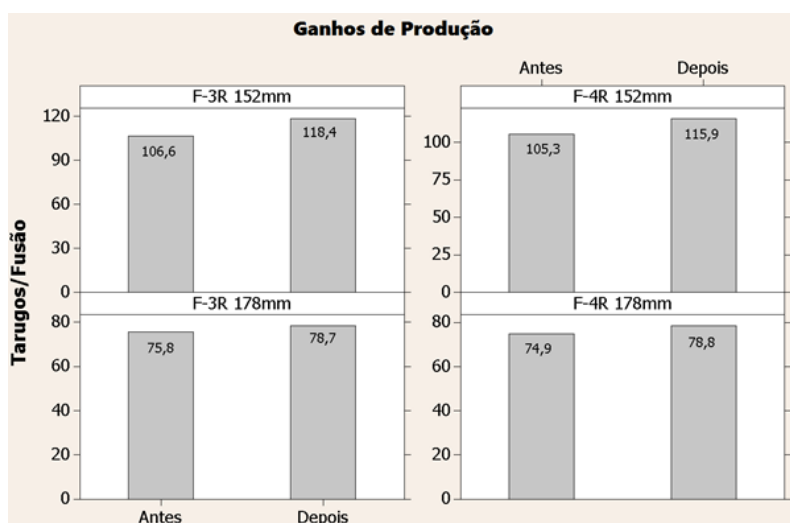


Figura 7- Ganhos de Produção após melhorias nas mesas 152mm e 178mm

Para a mesa de 152mm, verifica-se um ganho de produtividade de 11,06% para metais advindos do forno 3R e de 10,06% para metais advindos do forno 4R. Já os ganhos da mesa de 178 mm, somaram 3,8% para metais advindos do forno 3R e 5,2% para metais advindos do forno 4R.

Realizando a média dos ganhos de peça por fusão, as melhorias retornaram 11,20 peça/fusão na mesa de 152mm e 3,40 peça/fusão na mesa de 178 mm. O peso médio das peças da mesa 152mm é de 215 kg/peça. Já as peças da mesa 178mm pesam em média 295kg. Com estes

dados, é possível inferir que o ganho da mesa de 152mm é 2,41 ton/fusão e 1,0 ton/fusão para a mesa 178mm.

Os ganhos de produção da mesa de 178mm são inferiores à mesa de 152mm devido a necessidade de manter o equilíbrio do sistema. Sendo assim, na mesa de 178 mm, só será possível realizar 2 vazamentos, de 11,8 ton/cada, porque no terceiro vazamento, a quantidade de metal líquido disponível seria de aproximadamente 3 toneladas o que preencheria cerca de 10 moldes, valor inferior ao de equilíbrio (30 moldes).

O mix mensal de produção é constituído por 60% de peças providas da mesa de 178 mm e 40% da produção da mesa 152 mm. Logo, o ganho médio para o mix de produção é de 1,85 ton/fusão. A média de fusão de tarugos por dia é 3,8 fusões/dia. Considerando 30 dias por mês, o ganho mensal do projeto Seis Sigma foi de 210,44 ton/mês o que corresponde à 2525,33 ton/ano.

Os resultados apontam que a produção de tarugos aumentou em 210,44 ton/mês, valor que representa 110,44% a mais que o estabelecido pela meta inicial do projeto, a qual era de 100 ton/mês, fato este que comprova o sucesso do programa. Por fim, a Figura 8 apresenta os principais resultados e atividades de cada etapa do DMAIC no projeto Seis Sigma da Empresa A de acordo com a percepção dos autores.

Definir Oportunidades	Mensurar Performance	Analisar Oportunidades	Implantar Performance	Controlar Performance
Identificar oportunidade: Aumentar 100ton/mês a produção de tarugos; Definir requisitos críticos do cliente e mapear processos: Diagrama SIPOC; Estabelecer abertura do projeto, construir equipe: Setembro/2009;	Determinar o que medir: Média diária de bateladas (produção de tarugos); Gerir a recolha de dados de medição: 3,849 bat/dia; Desenvolver e validar sistemas de medição: Dados coletados diariamente e compilados mensalmente;	Analisar dados para compreender as razões para a variação e identificar potenciais causas: FMEA, brainstorming; Determinar capacidade: 24ton/batelada; Rendimento: Mesa 152 mm: 105,76 tarugos/batelada; Mesa 178 mm: 75,8 tarugos/batelada; Formular, investigar e verificar causa raíz. FMEA, brainstorming;	Gerar e quantificar possíveis soluções: Prionização das ações de prioridade alta da FMEA. Seleccionar solução final: Plano de ação das causas raízes identificadas na FMEA, treinamento da equipe e estabelecimento de procedimentos; Verificar e obter aprovação para solução final.	Acompanhars as saídas dos processos: Capacidade: 26,5 ton/batelada; Rendimento: Mesa 152 mm: 117,09 tar./batelada; Mesa 178 mm: 78,75 tar./batelada; Ganho mensal do projeto Seis Sigma : 210,44 ton/mês a mais na produção de tarugos;

Figura 8- O ciclo DMAIC para o aumento na produção de tarugos

6. Considerações Finais

Após analisar a aplicação do DMAIC para o aumento da produção de tarugos na empresa A, verificou-se um aumento da capacidade do forno de 2,5 ton/batelada, levando assim, o processo à uma capacidade de 26,5 ton/batelada. Ao considerar o rendimento de cada mesa após as ações de melhoria e o mix de produção, percebe-se um ganho mensal de 210,44 ton/mês, valor 110,44% a mais que o estabelecido pela meta inicial do projeto, fato utilizado para afirmar o sucesso do programa Seis Sigma.

Com o projeto a criação de valor, denominada EP, foi expressiva, entretanto, conforme solicitado pela Empresa A, não é possível disponibilizá-lo. Em relação a saúde, segurança e

meio ambiente durante o projeto foram levantados todos os possíveis perigos e riscos e estes gerenciados. Verificou-se comprometimento para implantação do plano de ação ao constatar que na fase Controlar 96% das ações previstas neste estavam concluídas sendo que os 4% restantes estavam em processo com a compra e teste do maçarico para os fornos.

Com o desenvolvimento e utilização das ferramentas pode-se perceber grande envolvimento da equipe para capacitação dos operadores sobre as premissas e importância de cada uma delas, o que colaborou para o sucesso da implantação de melhorias bem como entendimento sobre o processo.

Referências

ABAL (Associação brasileira do Alumínio). *A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio.* Confederação Nacional da indústria. Brasília : CNI, 2012.

AGUIAR, S. *Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma.* Nova Lima: INDG, 2006.

CARVALHO, M. M. *Gestão da qualidade: teoria e casos.* 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P.(Coord.). *Gestão da Qualidade: teoria e casos.* Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

JURAN, J. M. *Juran's Quality Control Handbook,* 4 ed, McGraw-Hill-New York: 1988.

MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade.* 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 513p.

MONTGOMERY, D.C. *Introduction to Statistical Quality Control.* 6th Edition, 2008, John Wiley & Sons, Inc.

PANDE, Peter S. et al. *Estratégia seis sigma.* Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.* Universidade Feevale, 2ª Edição, 2013.

SANTOS, A.B. *Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade seis sigma: proposta e avaliação.* 312 p. Tese (Doutorado) – São Carlos : UFSCar, 2006.

YAMANAKA, N. N. *Mapeamento de Processo de Supply Chain para implantação do SAP.* XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos Salvador, BA, Brasil, 2013.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: Planejamento e Métodos.* 2ª edição. Porto Alegre: Bookman. 2001.

WERKEMA, M.C.C. *Criando a cultura Seis Sigma. Série Seis Sigma. Volume 1.* Nova Lima, MG: Werkema Ed., 2004