

Implementação da metodologia Seis Sigma para melhoria de processos utilizando o ciclo DMAIC: um estudo de caso em uma indústria automotiva

Application of the Six Sigma methodology for improving processes using the DMAIC cycle: a case study at an automotive company

Luana Carla Silva¹

Maria Celia Oliveira²

Fernando Aparecido Silva³

¹Mestranda em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba/Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo – Unimep/FEAU. Santa Bárbara D' Oeste, SP [Brasil] lcarla@unimep.br

²Doutora pela Universidade Metodista de Piracicaba/Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo – Unimep/FEAU. Santa Bárbara D' Oeste, SP [Brasil] mariaceliaoliveira03@gmail.com

³Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba/Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo – Unimep/FEAU. Santa Bárbara D' Oeste, SP [Brasil] sonando@uol.com.br

Resumo

A globalização dos mercados mundiais provocou modificações profundas nas organizações, gerando desafios como a redução de custos e melhores índices de qualidade para manter a competitividade. Por esse motivo, cada vez mais as empresas buscam meios de gestão que lhes permitam reduzir custos, melhorar a qualidade e satisfação dos clientes. O Seis Sigma é uma estratégia gerencial e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar a *performance* e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes. Neste artigo, foi desenvolvido um estudo de caso utilizando conceitos de Seis Sigma com o propósito de melhoria da qualidade e redução de custos em uma linha de produção, utilizando ferramentas, tais como DMAIC, Ishikawa e Pareto.

Palavras-chave: DMAIC. Melhoria contínua. Seis Sigma.

Abstract

Market globalization has brought deep changes to organizations, creating challenges, such as achieving cost reduction and improving levels of quality, in order to remain competitive. For this reason, increasingly, companies are seeking management methodologies that allow them to reduce costs and improve quality and customer satisfaction. Six Sigma is a highly quantitative management strategy whose purpose is to increase the performance and profitability of companies by improving the quality of products and processes and increasing customer satisfaction. This paper presents a case study of the application of Six Sigma in order to improve quality and reduce costs in a production line, using tools such as DMAIC, Ishikawa, and Pareto.

Key words: DMAIC. Continues improvement. Six Sigma.

1 Introdução

Projetos Seis Sigma estão estritamente próximos à estratégia gerencial das organizações, que têm como objetivo aumentar, de modo drástico, sua lucratividade por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos, do aumento da satisfação dos clientes e, também, dos consumidores (Werkema, 2012).

A metodologia Seis Sigma vem sendo amplamente utilizada e difundida nas empresas nos dias de hoje, por meio de uma abordagem baseada em projetos estruturados, usualmente conhecidos como DMAIC, que podem ser classificados, como as fases de um projeto Seis Sigma: Define (Definir); Measure (Mensurar); Analyze (Analisar); Improve (Melhorar) e Control (Controlar).

A exemplo dos trabalhos realizados por Dambhare, Aphale, Kakade, Thote e Borade (2013) e Sin *et al.* (2014), objetivou-se neste artigo apresentar um estudo de caso prático de condução de um projeto Seis Sigma usando a metodologia DMAIC com o intuito de melhoria da qualidade e redução de custos em uma linha de produção.

As próximas seções estão estruturadas conforme a seguinte sequência: a seção 2 apresenta a origem e definição do Seis sigma, DMAIC. A seção 3 mostra o desenvolvimento do estudo de caso. Por fim, a seção 4, apresenta as conclusões finais.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Seis Sigma

Na literatura tradicional, o Seis Sigma surgiu, no fim da década de 1980, na sede da Motorola, com o objetivo de tornar a empresa mais eficaz contra seus concorrentes (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2011). O Seis Sigma foi popularizado com o lançamento do programa de melhoria de qualidade Six Sigma Quality Program, em 1987,

o que levou a Motorola a obter a premiação do Malcolm Baldrige National Quality Award, em 1988, gerando, ao mesmo tempo, publicidade para a ferramenta, sua replicação e adoção por outras organizações.

As economias registradas pela empresa Motorola foram mais de 16 milhões de dólares, colecionando mais empresas interessadas, como a Allied Signal, IBM e General Electric, que adotaram o Seis Sigma como requisito corporativo para as operações estratégicas e táticas em projetos de melhoria (Aboelmaged, 2010).

Sob o ponto de vista estatístico, o sigma é uma medida de variabilidade intrínseca de um processo definido pelo desvio-padrão e representado pela letra grega Sigma (σ). Em condições de normalidade, a medida Seis Sigma representa duas partes por bilhão. Entretanto, considerando a flutuação de 1,5 sigma do processo em uma perspectiva de longo prazo, o processo tende a operar em uma taxa de 3,4 defeitos por milhão (PPM), o que, efetivamente, equivale a 4,5 sigmas em relação à média.

Linderman, Schroeder, Zaheer e Choo (2003) referem-se ao Seis Sigma como um método organizado e sistemático para a melhoria estratégica de processos e de novos produtos, que depende de métodos estatísticos e científicos para a realização de reduções significativas na taxa de defeitos definida pelo cliente.

Um estudo protagonizado por Marchwinski, Shook e Schroeder (2008), apesar de ter evidenciado a similaridade entre a filosofia e as ferramentas do Seis Sigma e da gestão da qualidade, mostrou que o Seis Sigma representa uma nova abordagem organizacional e estrutural para atingir melhorias e reduções na variabilidade.

Segundo Santos e Martins (2010), após o foco de gestão da qualidade se destacando na medição, em métodos quantitativos, equipe especializada e definição clara de metas de desem-

penho, o Seis Sigma passou a ser usado num contexto mais amplo, sendo reconhecido como uma estratégia efetiva para melhorar o desempenho do negócio.

A implementação propriamente dita do Seis Sigma envolve uma série de etapas focadas na melhoria contínua e os modelos adotados são o Define, Measure, Analyze, Improve e Control (DMAIC) e o Design for Six Sigma (DFSS), que adota o modelo Define, Measure, Analyze, Design e Verify (DMADV) (Pacheco, 2013).

2.2 Aplicações Seis Sigma

A literatura apresenta diversos estudos em que se utilizou a metodologia para melhorias em processos, dentre eles, destacam-se:

- Sin *et al.* (2014), com o título de “Parâmetros investigação de modelo matemático de produtividade para a linha automatizada com disponibilidade pela metodologia DMAIC”, em que os autores apresentam os parâmetros de investigação de perdas de produtividade investigados usando conceito DMAIC e PACE Priorização Matrix, gerando, como resultado, melhorias de grande impacto e com soluções de baixa complexidade.
- Dambhare, Aphale, Kakade, Thote e Borade (2013) realizaram um estudo de caso utilizando o Seis Sigma, com o objetivo de redução de retrabalho que gerava desperdício de horas-homem e custo do trabalho. Como metodologia adotada, foram utilizadas análise da árvore de falhas (FTA) e análise de regressão de multivariáveis, conciliada a metodologia DMAIC, obtendo uma redução de retrabalho de 16% ao mês para 2,20% ao mês.

Almejando a aplicação do DMAIC para identificação e redução dos custos de não qualidade, Prashar (2013), em seu trabalho, revela que

a equipe do projeto diminuiu a taxa de rejeição do arrefecimento do conjunto do ventilador de 9% para quase 0%, em aplicação sistemática de resolução de problemas e ferramentas estatísticas.

Jirasukprasert, Garza-Reyes, Kumar e Lim (2013) demonstraram a aplicação empírica da Six Sigma e da DMAIC para reduzir os defeitos do produto dentro de uma organização de fabricação de luvas de borracha. Como metodologia, esses autores seguem a metodologia DMAIC para investigar, sistematicamente, a causa raiz dos defeitos e fornecer uma solução para os reduzir /eliminar. Com desenho de experiências, realizaram-se os testes de hipóteses e análises de duas vias de técnicas de variância. A análise indicou que a temperatura do forno e a velocidade do transportador influenciaram na quantidade de luvas defeituosas produzidas. Depois de otimizar essas duas variáveis de processo, foi conseguida uma redução em torno de 50% no “vazamento”, ou seja, de luvas com defeito, o que ajudou a organização estudada a reduzir defeitos por milhão de oportunidades de 195.095 para 83.750 e, assim, melhorar seu nível sigma de 2,4 para 2,9.

Sharma e Rao (2014) desenvolveram, por meio da abordagem DMAIC, a redução das variações de processo da operação de perfuração topo dos eixos de manivelas. Identificaram e selecionaram características fundamentais para a qualidade. Utilizaram, também, ferramentas de controle de qualidade, tais como diagrama de Ishikawa, análise de mecanismo físico, análise de modo de falha e efeito. Com o trabalho, o desvio-padrão reduziu de 0,003 para 0,002, o índice de capacidade (CP) melhorou de 1,29 para 2,02, e o índice de capacidade de desempenho do processo (CPK) de 0,32 para 1,45.

2.3 A Metodologia DMAIC

O DMAIC é um método de gestão de mudanças e resolução de problemas. Ele é conside-



rado um ciclo de desenvolvimento de projetos de melhoria e foi apresentado, originalmente, como parte do programa Seis Sigma (Gupta, 2005; Leaphart et al., 2012).

Segundo Aguiar (2002), Brady e Allen (2006), o DMAIC é estruturado da seguinte maneira:

- a) Define (D): definição das necessidades e desejos do cliente. Estes objetivos são transformados em especificações do processo.
- b) Measure (M): é realizada a medição do desempenho de cada etapa do processo, identificando os pontos críticos e passíveis de melhoria e mudanças.
- c) Analyse (A): esta etapa consiste em analisar os resultados das medições que permitirão identificar o que falta nos processos para atender as necessidades do cliente.
- d) Improve (I): nessa fase, propõe-se, avalia-se e implementam-se as mudanças necessárias para melhoria do processo.
- e) Control (C): estabelecimento de um sistema permanente de controle para garantia da qualidade alcançada e identificação de desvios ou novos problemas.

Segundo Cleto e Quinteiro (2011), cada transição entre uma fase e outra do DMAIC deve ser validada e respaldada por uma auditoria, pois essa prática contribui, positivamente, como uma visão externa para o coordenador e para a equipe do projeto, tornando possível uma análise externa da situação.

3 Estudo de caso

3.1 A empresa

Este estudo foi realizado em uma empresa de autopeças, presente no Brasil e em diversos países do mundo. A organização utiliza progra-

mas de melhoria contínua, formando grupos com pessoas de áreas diversificadas que têm como intuito eliminar quaisquer desperdícios, reduzir custos ou melhorar a qualidade nos processos de fabricação. Com o objetivo de omitir o nome da empresa, neste trabalho, ela será denominada Quality X.

3.2 O projeto

No mercado desafiador de hoje, as organizações estão constantemente procurando meios para alcançar maior qualidade e produtividade. Isso pode ser alcançado se houver concentração de esforços para reduzir vários defeitos que causam a rejeição ou retrabalho no processo. Esta é a estratégia para conduzir uma organização à eficácia no mercado competitivo. O principal objetivo neste projeto é descrito a seguir.

Por meio da análise dos quatro principais indicadores internos da organização: segurança; entrega; refugo; qualidade, identificou-se que, na célula de produção Y, destacava-se o indicador de retrabalho. A célula de produção Y caracterizava-se como uma célula nova, pois foi transferida para a unidade em análise havia pouco tempo.

Devido aos impactos negativos de seus indicadores, a Y foi selecionada para estudo e verificou-se que era necessário o desenvolvimento de projeto Seis Sigma com o objetivo primário de melhoria no indicador refugo; porém, ao realizar esse projeto, alguns objetivos secundários serão alcançados com o primário, como por exemplo, melhoria da qualidade do processo e controle de registros.

4 Aplicação do Seis Sigma (DMAIC)

Neste trabalho, o método DMAIC foi estudado em profundidade abrangendo as cinco fases da metodologia Seis Sigma, ou seja, Definir,

Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (original do inglês: Define, Measure, Analyze, Improve e Control) conforme os próximos passos mostrados, a seguir, com o intuito de aumentar o nível da qualidade.

4.1 Definir (Define)

O primeiro passo é definir o problema e, também, o que é considerado aceitável no processo. Após a análise dos quatro principais indicadores de processo – segurança, entrega, refugo e qualidade –, detectou-se que, na célula de produção Y, o indicador refugo apresentava valores acima da meta estabelecida, conforme Figura 1.

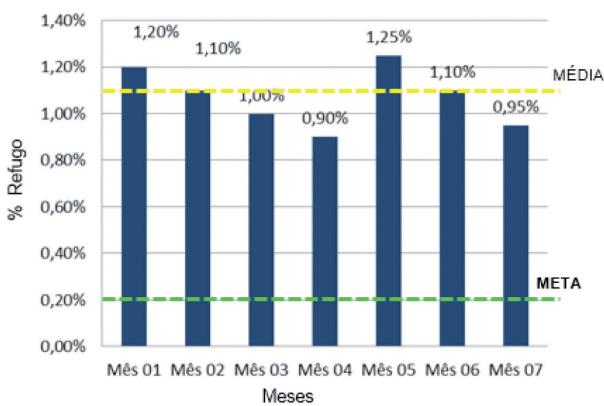


Figura 1: Refugo mensal da linha de produção
Fonte: Os autores.

Como apresentado na Figura 1, a meta mensal de refugo para a linha de produção Y é de 0,20%. Atualmente, a média de refugo mensal é de 1,10%, esse valor reflete a quantidade produzida e a refugada. Com um pequeno aprofundamento nos estudos, conforme mostrado na Figura 2, pode-se analisar a quantidade de refugo por célula, assim a célula de brasagem representa 80,2% do refugo mensal.

O projeto se torna importante, pois a Quality X não está conseguindo atingir as metas de refugo previamente estabelecidas, acarretando atraso na entrega para a próxima célula

de produção, podendo ocasionar parada, excesso de produção entre estoque (para absolver a quantidade de peças refugadas no processo desta célula) e atraso na entrega para os clientes, além de estar gerando um déficit financeiro para a empresa, que totaliza aproximadamente 6 mil reais mensais.

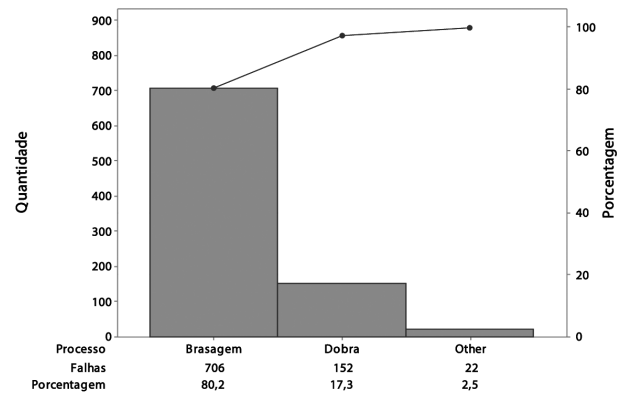


Figura 2: Estratificação de refugo por célula de produção

Fonte: Os autores.

Conforme apresentado no fluxo de processos na Figura 3, a seguir, a célula de brasagem é um processo intermediário, entre as células de dobra e montagem fina, assim, conforme mencionado acima, qualquer problema tanto relacionado à qualidade ou à produção, afeta o fluxo de produção da linha.

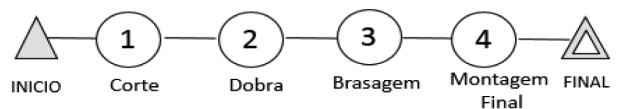


Figura 3: Fluxograma de processo

Fonte: Os autores.

Este projeto deve ser desenvolvido devido a questões financeiras e técnicas, podendo a empresa Quality X levar algum demérito e como consequência perder certificação de qualidade ou de fornecimento o que acarretará em perda de clientes.

4.2 Medir (Measure)

A fim de mensurar os dados, é preciso, antes, analisá-los para identificar o problema. Assim, utilizou-se o Diagrama de Pareto que ordena os problemas, identificando os mais importantes e medindo-os em diversas escalas, ou seja, há muitos problemas sem importância diante de outros mais importantes. Assim, apresentada na Figura 3, a célula de produção “Brasagem” corresponde a 80,2% do refugo, no período analisado de sete meses. Após a verificação dos dados de refugo, segue-se com a estratificação dos índices, conforme Figura 4.

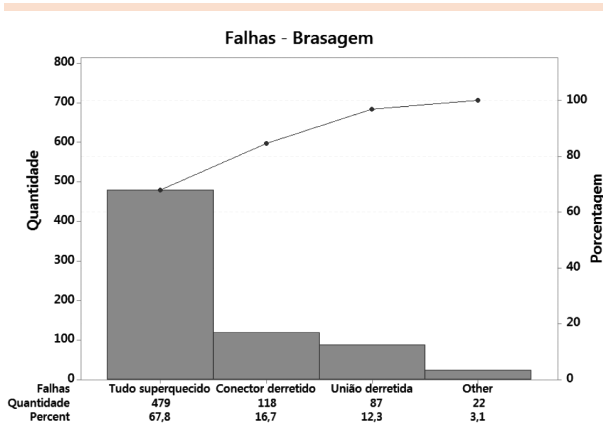


Figura 4: Estratificação das principais falhas
Fonte: Os autores.

Dando continuidade ao processo investigativo, nota-se que a principais falhas que ocorrem na célula “Brasagem” é denominada de “Falha de tubo superaquecido”, que corresponde 67,8% das registradas, tornando, assim, as demais insignificantes no momento. Estes dois fatores serão trabalhados posteriormente com técnicas do *lean manufacturing*, como, por exemplo, Total Preventive Maintenance (TPM) e Kaizen.

4.3 Analisar (Analyze)

Com o intuito de identificar as principais causas dos problemas, o time do projeto se reuniu, considerando a experiência de trabalho de cada um, com a finalidade de identificar os potenciais motivos das falhas, gerando um *brainstorming*, que resultou primeiramente em um diagrama de Ishikawa, ferramenta largamente utilizada em projeto de Seis Sigma, conforme a Figura 5.

Nota-se que o time de trabalho chegou a um consenso que a falha do tubo com vazamento é devida ao superaquecimento, podendo estar relacionada a 12 causas, conforme registradas no Quadro 1.



Figura 5: Diagrama de Ishikawa
Fonte: Os autores.

Item	Causa possível	Item	Causa possível
1	Rede única de ar comprimido	7	Fadiga do operador durante o processo
2	Operadores com experiências diferentes	8	Distância da chama sem padrão
3	Dispositivo de brasagem sem manutenção	9	Iluminação inadequada
4	Fluxo endurecido no copo dosador	10	Maçarico contaminado durante o processo
5	Cilindro de ar exposto ao tempo	11	Produto com resquícios de óleo
6	Brasador trabalhando sob pressão	12	Espessura do berço acima do especificado, retirando calor do componente.

Quadro 1: As 12 causas possíveis que influenciam na falha

Fonte: Os autores.

Esta fase do projeto é muito delicada, pois se a parte da análise for feita de maneira incorreta todo o trabalho seguinte estará perdido.

Para que seja possível o aprofundamento das análises, no próximo passo, foi utilizada a ferramenta Diagrama de Dificuldade X Impacto (utilizada para seleção das causas que necessitam de baixo esforço e geram grandes resultados) somada a outras ferramentas da qualidade, conforme Figura 6.

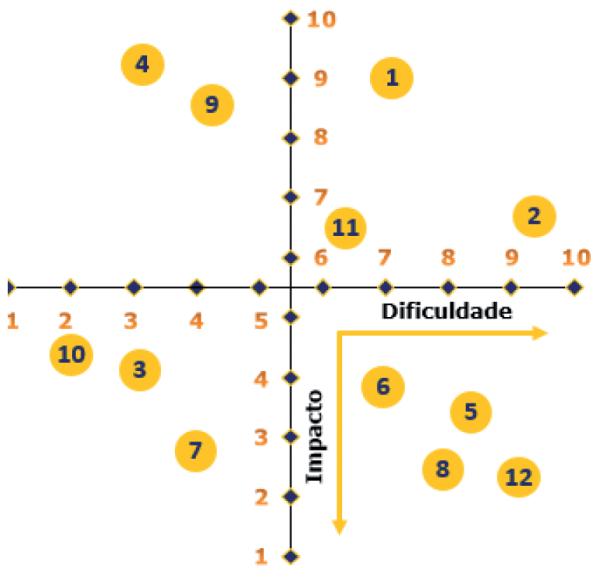


Figura 6: Diagrama de dificuldade e impacto

Fonte: Os autores.

Após esse filtro, restaram oito causas principais, as quais demandam baixo esforço para implementação e alto impacto na solução do problema. O passo seguinte foi a utilização do Diagrama

de Relações, em que se analisa a inter-relação que existe entre as causas, simplificando a busca por soluções de problemas por meio da indicação das diversas causas envolvidas em um problema e de suas relações.



Figura 7: Diagrama de relações de possíveis causas que geram tubo superaquecido

Fonte: Os autores.

Com isso, as causas que apresentavam maior probabilidade de gerar problemas foram selecionadas pela equipe, são elas: rede única de ar comprimido; fluxo endurecido no copo dosador e iluminação inadequada na brasagem.

4.4 Melhorar (Improve)

Por meio do *brainstorming* realizado pelo time, as causas foram levantadas com o intuito de eliminar a falha de tubo superaquecido, que representa 80,2% do refugo da linha de produção Y.



Conforme abordado anteriormente, após a utilização de diversas ferramentas e análise do time, conclui-se que três fatores estão relacionados diretamente com a falha, sendo eles: rede única de ar comprimido, iluminação inadequada na cabine de brasagem e fluxo endurecido no copo dosador. A seguir, serão descritos os problemas e a proposta para análise.

a) Rede única de ar comprimido

Um dos fatores relacionados diretamente com a falha, a rede de ar comprimido das cabines de brasagem é rede única, ou seja, é compartilhada com o restante da fábrica. Assim, dependendo do grau de utilização em outros setores, acarreta a variação no fornecimento de ar nas cabines de brasagem, ocasionando a variação da chama do maçarico.

Durante o processo de brasagem do tubo, com a variação da chama, o operador encontra dificuldade para ajustar a chama do maçarico para atingir a condição ideal para o processo. Análise da condição da chama é realizada visualmente pelo operador, a condição ideal é extremamente importante para garantir o correto preenchimento do material de adição (metal adicionado na produção de uma junta por meio da brasagem). Devido à variação da rede de ar comprimido, o operador excede o tempo de aquecimento com a chama, assim, extrapola o tempo necessário, ocasionando o superaquecimento da peça. Este tipo de falha é denominado internamente na empresa Quality X, como “tubo superaquecido”.

Para sanar este problema, foram avaliadas duas possíveis melhorias: a primeira consistiria na instalação de um compressor em cada cabine de brasagem; e a segunda seria em realizar um fechamento em anel na rede de ar comprimido na célula de brasagem.

Analisando as opções, a definida pelo grupo para implementação, devido ao baixo custo, rapi-

dez e facilidade na implementação, foi a segunda opção. Após implementação do fechamento da rede de ar comprimido, estabilizou-se o fornecimento de ar comprimido para as cabines de brasagem, reduzindo a variação.

Após o Kaizen, em visita à célula juntamente com a equipe de manutenção, foi possível verificar a diminuição significativa na variação da rede, resultando na melhoria do índice de refugo.

Em relação ao tempo da realização do *set-up* da chama do maçarico, constatou-se uma diminuição de 60%, pois, como a rede está sem oscilação, a dificuldade de ajuste da chama do maçarico foi reduzida.

b) Fluxo endurecido no copo dosador

O processo de brasagem consiste na utilização do arame de solda (material de adição para fazer a junção entre o tubo de alumínio e outro componente), este arame deve ser mergulhado em fluxo (líquido de composto químico que ajuda na junção do material). Após molhar o arame neste fluxo, o arame é aquecido pela chama do maçarico e posicionado no local para preenchimento com material. Nesse procedimento, observou-se que, como o fluxo endurecia no copo de armazenamento, o operador, ao realizar o procedimento de mergulhar o arame, não aplicava quantidade suficiente deste composto químico, e o processo de brasagem se tornava deficiente já que o operador, para unir corretamente as peças, permanecia com a chama por mais tempo no mesmo local, ocasionando a falha de tubo superaquecido.

Foi implementado um sistema elétrico, sendo acionado, a cada uma hora, um dispositivo sinalizador que funciona como um aviso para o operador verificar a condição do fluxo de brasagem e anotar o observado em uma folha de registro. Para garantir a eficácia da ação foram realizados

treinamento com os operadores e os líderes, bem como foram alterados os manuais de operação.

c) Iluminação inadequada nas cabines de brasagem

Uma característica importante do processo de brasagem manual é o ponto de fusão do material, que deve ser observado pelo operador durante o processo, por meio da colocação da chama de aquecimento, para verificar o correto preenchimento.

Foi levantado durante a análise, *in loco*, que os operadores tinham dificuldades para enxergar corretamente a chama de aquecimento. Um dos motivos apontados era a iluminação fraca do ambiente, que, somada à utilização de óculos especiais de solda, tornavam o trabalho mais difícil. Além disso, havia também um temporizador que, em determinados períodos do dia, desligava as luzes da fábrica, ficando esta iluminada somente com luz natural.

O grupo realizou uma medição da luminosidade na célula e detectou que num certo período do dia, quando as luzes da fábrica eram apagadas, a luminosidade natural não clareava suficientemente o ambiente.

Foram identificadas duas possíveis soluções pelo grupo, a saber: a primeira solução foi desativar o temporizador, e a segunda instalar luminárias de *light emitting diode* (LED) nas cabines, sendo escolhida esta última em virtude da economia de energia que elas geram. Assim com a luminosidade adequada para o trabalho de 1100 lux, os operadores conseguiram visualizar melhor o ponto de fusão do material durante o processo.

4.5 Controlar (Control)

As metas específicas foram alcançadas utilizando as ferramentas que foram descritas anteriormente. Conforme apresentado na Figura 8, após a implementação das ações, conseguiu-se obter um ótimo resultado na redução da falha de tubo superaquecido.

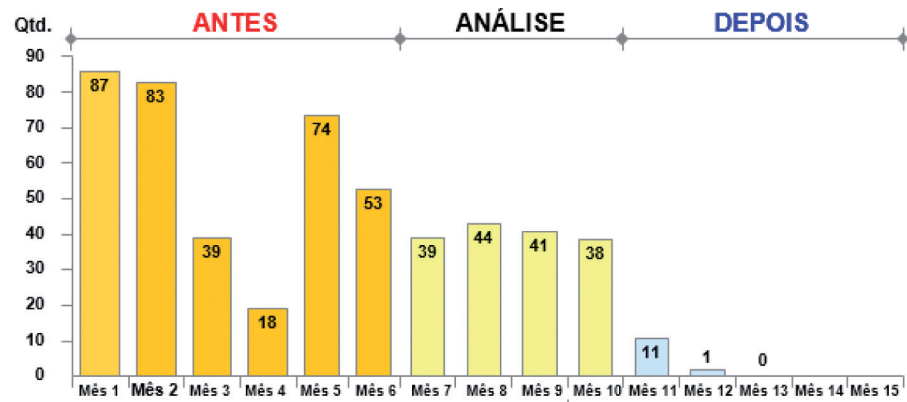


Figura 8: Gráfico de acompanhamento mensal de falhas de tubo superaquecido após implementação das ações de melhorias

Fonte: Os autores.

A ficha de inspeção do equipamento foi padronizada, passando a solicitar verificação da pressão da rede de ar comprimido, do funcionamento do dispositivo de alerta, da condição do fluxo e das luminárias de LED.

A monitoria dos indicadores de produção é efetuada diariamente com o propósito de controlar quaisquer alterações que gerem falhas e de dar suporte na tomada de decisões para a correção do problema.

5 Conclusão

Neste artigo, abordou-se a condução da metodologia DMAIC em um estudo de caso em uma indústria automotiva, evidenciando-se o sucesso de sua aplicação. Como resultado obtido, destaca-se a redução do tempo de *set-up* na fase inicial do



processo em 60%, e o fato de o número de falhas ter sido quase zero, após o sétimo mês, a partir da data de início da análise.

Com os bons resultados obtidos com a aplicação da metodologia Seis Sigma na empresa Quality X, sugere-se, como continuidade nos estudos, o aprofundamento das demais causas levantadas na fase de identificação de problemas (após o *brainstorming*).

Referências

Aboelmaged, M. G. (2010). Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(1), 268-317.

Aguiar, S. (2002). *Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.

Brady, J. E., & Allen, T. T. (2006). Six sigma literature: a review and agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(2), 335-367.

Cleto, M. G., & Quinteiro, L. (2011). Gestão de projetos através do DMAIC: um estudo de caso na indústria automotiva. *Revista Produção Online*, 11(1), 210-239.

Dambhare, S., Aphale, S., Kakade, K., Thote, T., & Borade, A. (2013). Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: a case study. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2013(01), 13.

Gupta, P. (2005). Innovation: the key to a successful project. *Six Sigma Forum Magazine*, 4(4), 13-17.

Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Lim, M. K. (2014). A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5 (1), 2-21.

Leaphart, C. L., Gonwa, T. A., Mai, M. L., Predengarst, M. B., Wadei, H. M., Tepas III, J. J., & Taner, C. B. (2012). Formal quality improvement curriculum and DMAIC method results in interdisciplinary collaboration and process improvement in renal transplant patients. *Journal of Surgical Research*, 3(7), 7-13.

Linderman, K., Schroeder, R., Zaheer, S., & Choo, A. (2003). Six sigma: a goal theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21, 193-203.

Marchwinski, C., Shook, J., & Schroeder, A. (2008). *Lean Lexicon: a graphical glossary for lean thinkers* (4a ed.). Cambridge: Lean Enterprise Institute.

Pacheco, D. A. J. (2013). Teoria das restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. *Revista Produção*, 24(4), 1-17.

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2011). *Estratégia Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Quality Mark.

Prashar, A. (2014). Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(1), 103-126.

Santos, A. B., & Martins, M. F. (2010). Contribuições do Seis Sigma: estudos de caso em multinacionais. *Revista Produção*, 20(1), 42-53.

Sharma, G. V. S. S., & Rao, P. S. (2014). A DMAIC approach for process capability improvement of an engine crankshaft manufacturing process. *Journal of Industrial Engineering International*, 10(2), 1-11.

Sin, T. C., Usubamatov, R., Fidzwan, M., Hamzas, A., Wai, L. K., Yao, T. K., & Syahril, M. (2014). Parameters investigation of mathematical model of productivity for automated line with availability by DMAIC Methodology. *Journal of Applied Mathematics*, 2014 (1), 7.

Werkema, C. (2012). *Criando a cultura Lean Six Sigma*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Recebido em 28 abr. 2016 / aprovado em 25 nov. 2016

Para referenciar este texto

Silva, L. C.; Oliveira, M. C.; Silva, F. A. Implementação da metodologia Seis Sigma para melhoria de processos utilizando o ciclo DMAIC: um estudo de caso em uma indústria automotiva. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 223-232, 2017.