

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Lucas Tadeu Alves

Luiz Rodrigo Alves Ferreira

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC PARA REDUÇÃO DE
CUSTOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Taubaté – SP

2017

Lucas Tadeu Alves
Luiz Rodrigo Alves Ferreira

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC PARA REDUÇÃO DE
CUSTOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de graduação apresentado ao departamento de engenharia mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do bacharelado em engenharia mecânica.
Orientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

Taubaté – SP
2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

A474a Alves, Lucas Tadeu
Aplicação da ferramenta DMAIC para redução de custos em uma indústria automobilística. / Lucas Tadeu Alves, Luiz Rodrigo Alves Ferreira. - 2017.
34f. : il; 30 cm.
Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.
1. Seis sigma. 2. DMAIC. 3. Qualidade. I. Título.

Lucas Tadeu Alves
Luiz Rodrigo Alves Ferreira

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC PARA REDUÇÃO DE
CUSTOS EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

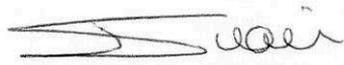
Trabalho de graduação apresentado ao departamento de engenharia mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do bacharelado em engenharia mecânica.
Orientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

Data: 31/10/2017

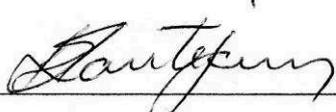
Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Ivair dos Santos Alves Universidade de Taubaté

Assinatura: 

Prof. Msc. Fábio Santejani Universidade de Taubaté

Assinatura: 

Dedico este trabalho a meus pais Sandra e Gildo, que sempre estiveram ao meu lado incentivando, apoiando e torcendo por mim, consolando-me nos momentos difíceis e comemorando comigo nos momentos alegres, assim como minha irmã Patrícia. Dedico aos meus amigos que estiveram igualmente ao meu lado em todos os momentos. Em especial a uma pessoa cuja presença em minha vida é muito importante e que é parte da minha família, é minha amiga, é minha amada, Ana Luiza. Mas nada seria possível sem a presença de Deus, que me guiou por momentos de desafios pessoais e possibilitou a conclusão de mais esta etapa.

Lucas Tadeu Alves

Dedico este trabalho a Deus por ser a motivação e inspiração em minha vida ele que é digno de toda honra gloria e poder. Dedico este também a toda minha família e amigos, a meus irmãos, minha mãe Efigênia que sempre orou e me apoiou, a meu pai Luiz Carlos “Em memória”, que por toda sua vida me incentivou a estudar e buscar meus sonhos. Em forma especial dedico este trabalho a minha amada esposa Marielle que sempre me apoia em todos os momentos e está ao meu lado cuidado de mim, que soube compreender a distancia em vários momentos pela necessidade de dedicar-me aos estudos.

Luiz Rodrigo Alves Ferreira.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao nosso professor mentor Ivair Alves dos Santos por todo seu suporte e comprometimento conosco, estando junto nos momentos necessários e sempre nos orientando de maneira excepcional.

Devemos também um agradecimento a todos os professores que fizeram parte de nosso caminho pela engenharia da Universidade de Taubaté, pois são responsáveis por nossa formação.

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

(TENZIN GYATSO, 2001)

RESUMO

O trabalho consiste em apresentar a metodologia Seis Sigma e evidenciar, por meio de um exemplo prático, sua ferramenta DMAIC, cujo principal objetivo é o de reduzir ao máximo a incidência do problema apresentado, com o intuito de eliminá-lo se possível. São abordadas todas as fases envolvidas no processo, desde a definição do que se deseja combater, que nesse caso se trata da quebra de ferramentas no processo de usinagem de uma indústria automobilística, até o controle das medidas implementadas que foram decididas por meio de minuciosas análises dos dados apresentados pelo processo. Na definição, a ferramenta cuja quebra influenciou de maneira crítica o prejuízo da empresa foi a T144, portanto o trabalho da equipe designada foi desenvolvido com o objetivo de verificar as principais causas dessa ocorrência e realizar ações para evitar a reincidência, de maneira que as medidas tomadas fossem controladas posteriormente como forma de garantir a melhoria. O resultado foi não apenas a redução da quebra e, conseqüentemente, do custo, mas também o aumento da produtividade. Garantindo a aplicação consistente de tal metodologia, a empresa aprimora não somente a qualidade envolvida no processo e apresentada no produto final para o cliente, mas também garante a redução de custos. Esses fatores contribuem para que possa se manter em uma posição confortável em meio a um mercado exigente e altamente competitivo.

Palavras-chave: Seis Sigma, DMAIC, Qualidade.

ABSTRACT

This article presents the Six Sigma methodology and shows, using a practical example, its tool called DMAIC, which has the objective to reduce problems that could happen during processes or be presented by the final product and, if possible, avoid them. All stages of such methodology are explained as they are used, since the definition of the problem, in that case it is the tools' break of an automotive industry's machining, until the control of actions established through meticulous analysis of information taken from the process. When defining, the tool that showed the most cost to the company was the so called T144, so all the effort of the responsible team was directed to discover main causes of its break and make decisions to implement actions to avoid its recidivism, controlling these actions in order to assure the improvement. The result was not only the reduced amount of broken tools and, consequently, less money spent on it, but the company also increased its productivity. When a company applies this methodology consistently, it can improve not only the process but also provide the final product a better quality to its customer, moreover reduce costs. Those facts can help a company to maintain a comfortable position comparing to others and still be very competitive.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, Quality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Possíveis danos aos quais as ferramentas estão sujeitas em um processo de fresamento	20
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Check list desenvolvido para controlar as ações implantadas	30
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados sobre quebra de ferramentas	24
Figura 2 – Custo das ferramentas danificadas	25
Figura 3 – Diagrama espinha de peixe	26
Figura 4 – Diagrama causa e efeito	27
Figura 5 – Diagrama de Pareto	28
Figura 6 – Plano de ação.....	29
Figura 7 – Comparação de custos com ferramental	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	14
1.2 OBJETIVO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 DMAIC	16
2.1.1 FASE <i>DEFINE</i>	17
2.1.2 FASE <i>MEASURE</i>	17
2.1.3 FASE <i>ANALYZE</i>	17
2.1.4 FASE <i>IMPROVE</i>	18
2.1.5 FASE <i>CONTROL</i>	18
2.2 GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS.....	18
2.3 DEFEITOS E DESGASTE DE FERRAMENTAS.....	20
3 METODOLOGIA	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 DEFINIR	24
4.2 MEDIR.....	25
4.3 ANALISAR.....	28
4.4 IMPLEMENTAR.....	29
4.5 CONTROLAR	29
5 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Seis Sigma é muito mais do que apenas um planejamento para reduzir gastos ou meros cálculos estatísticos. Trata-se de uma metodologia que almeja não somente a maximização dos êxitos conseguidos pelas empresas, mas também a continuidade do sucesso, cujo foco está no cliente e no produto. É muito conhecida no ramo da Qualidade, visto que busca implementar uma melhoria contínua para os processos em busca de 3,4 defeitos ou falhas a cada um milhão de oportunidades.

Sei Sigma é definido como:

Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Sei Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2001, p.13).

A ferramenta utilizada por tal metodologia é conhecida como DMAIC e será importante analisar as suas etapas, que são definir, medir, analisar, implementar e controlar, para que possa ter pleno entendimento do presente estudo de caso.

1.1 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Em meio a crises econômicas ou políticas e, principalmente, em frente a um mercado de disputas acirradas, é importante que as empresas busquem por meios de se mostrarem competitivas e com capacidade de se manterem produtivas, sem apresentarem prejuízos, os quais poderiam leva-las à falência. Uma das grandes preocupações das empresas é em relação aos custos desnecessários, ou seja, custos que podem ser evitados como, por exemplo, o retrabalho, pois o produto irá ser processado novamente sendo que já teve a oportunidade de ser confeccionado com sucesso pela primeira vez. De forma análoga, podem ser consideradas falhas processuais que podem ocorrer por diversos fatores como falta de mão-de-obra qualificada e problemas da máquina, por exemplo. O número de variáveis é muito grande e precisa ser delimitado.

Na busca por entender melhor os problemas, as causas que contribuem para a elevação dos custos de uma empresa e, de forma subsequente, estuda-las objetivando a prevenção de sua ocorrência e também controla-las para que possa surtir efeito permanente de forma que

tais atitudes sejam incorporadas pela filosofia da própria empresa é que se encontra a metodologia Seis Sigma.

1.2 OBJETIVO

Com todo o conhecimento adquirido pela análise da revisão bibliográfica o objetivo foi de aplicar a metodologia numa empresa automobilística objetivando contribuir para a solução efetiva do problema crônico de quebra de ferramentas em uma de suas linhas de usinagem, esperando que o resultado a ser obtido seja satisfatório, o que somente será possível mediante o cumprimento das etapas do processo com dedicação e comprometimento com a causa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo serão abordadas as fases que estão envolvidas na ferramenta em questão, bem como um breve resumo de sua utilidade, benefícios que podem ser alcançados e conscientizar que para sua boa aplicação é necessário um forte engajamento de todos, o que depende da organização de cada empresa.

2.1 DMAIC

DMAIC – *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Implementar), *Control* (Controlar) é uma ferramenta de gestão muito importante e largamente utilizada na indústria pelas empresas que buscam um alto nível de qualidade e confiabilidade em seus produtos e em seus processos, para que possam estar sempre numa posição de destaque em um mercado competitivo, com clientes cada vez mais exigentes, buscando sempre a redução dos custos envolvidos. Conforme Harry e Schroeder (2000), empresas que utilizam tal ferramenta conseguem reduzir gastos mais eficientemente do que as que não a utilizam. É importante comentar que além da melhoria do lucro, outro fator de grande importância é conquistado em consequência de sua aplicação com êxito: a satisfação e lealdade do cliente (RASIS, 2002 *apud* SCATOLIN, 2005).

Nos últimos anos, com o grande avanço e adoção das tecnologias informáticas, as empresas têm dado maior importância para o que é chamado de *data*, termo em inglês que se refere à informação, ou seja, são gerados dados sobre processos e produtos, proporcionando a aplicação de técnicas estatísticas para interpretação de tais dados, o que, segundo Sunil *et al.* (2013), faz com que as decisões tomadas sejam mais assertivas, tornando o DMAIC uma metodologia que auxilia a empresa com medidas eficientes em relação à qualidade e à produtividade. Os dados são importantes por servirem de base para indicar se um processo está dentro do que fora estipulado pelo projeto. Caso haja variações, aplica-se a ferramenta, pois segundo Bisgaard e Freiesleben (2000), a redução de custo é alcançada por meio da manutenção da estabilidade produtiva.

2.1.1 FASE *DEFINE*

Esta é a fase de ponto de partida de aplicação da ferramenta, a partir dela é que o problema será definido, como o próprio nome sugere. Geralmente trata-se de alguma falha recorrente durante algum processo de fabricação na própria indústria, o que exige que todo o processo seja monitorado para que medidas sejam implementadas rapidamente caso haja alguma situação que possa ameaçar a qualidade, ou então algum problema no produto final, o que é igualmente crítico à situação apresentada anteriormente, porém com um agravante que se trata da insatisfação do cliente com os serviços prestados. Nesta última situação o problema será definido pelo próprio cliente, portanto medidas de prevenção de tal falha deverão ser desenvolvidas o mais rápido possível para que não haja interferência em sua satisfação (SANDERS; HILD. 2001).

É importante que a definição do problema seja bem esclarecida, pois quando se sabe o que deve ser combatido as ações a serem tomadas tornam-se evidentes (LIN *et al*, 2013).

2.1.2 FASE *MEASURE*

Logo após definir qual é o problema que está caracterizando as falhas, Lin *et al*. (2013) afirma a necessidade de que dados sejam coletados para que o defeito seja evidenciado tanto qualitativa quanto quantitativamente e, a partir deles, analisar a situação. Apenas a busca pelos dados não é suficiente, apesar de, muitas vezes, os números sugerirem qual o problema ou até mesmo quais medidas prioritárias deverão ser tomadas.

2.1.3 FASE *ANALYZE*

Esta etapa consiste em identificar tudo que afeta o processo, e é de suma importância apontar todos os possíveis problemas críticos que podem estar ocasionando os defeitos que se deseja combater, Lin *et al*. (2013). Depois dos dados coletados é necessário que aja um processamento para que as informações pertinentes sejam extraídas fazendo com que as medidas a serem adotadas sejam condizentes com o que foi observado e eficazes para a resolução do que é responsável pela defasagem do processo ou do produto. Em algumas situações pode haver a necessidade de serem levantados novos dados que não foram

considerados anteriormente para uma análise mais minuciosa. Algumas ferramentas podem ser muito úteis nesta análise, como espinha de peixe e diagrama de Pareto.

2.1.4 FASE *IMPROVE*

Após a identificação dos problemas é necessário que ações sejam criadas baseadas nos dados analisados anteriormente com o intuito de reduzir ao máximo a ocorrência das falhas ou variações de produção, que são responsáveis por ocasionar gastos desnecessários às empresas. O conceito de “*Just in time*” diz respeito ao fluxo produtivo de uma empresa, que é afetado seriamente com tais variações ou falhas, o que acarreta no aumento do montante referente ao custo, pois segundo Ohno (1997) é uma necessidade das empresas para poderem buscar um controle preciso de seus processos e produtos.

2.1.5 FASE *CONTROL*

Depois que o sistema de melhorias for implantado, Lin *et al.* (2013) diz que é necessário que haja o controle de tudo o que foi estabelecido como medidas de prevenção de falhas e inserido no projeto. Este controle, segundo Satolo *et al.* (2009), pode ser feito com o auxílio de instrumentos estatísticos que assistem o bom funcionamento dos processos por meio da geração de informações sobre cada etapa e, para garantir que tudo funcione como previsto e dentro dos padrões estabelecidos, é necessário que haja supervisão de pessoas qualificadas e devidamente treinadas, juntamente com a presença de gestores, pois caso haja alguma variação de processo, medidas rápidas poderão ser tomadas. Auditorias constantes e treinamento são necessários para a manutenção do sistema. Podem-se usar também ferramentas como *poka-yoke*, *kaizen*, sistemas de medição e manutenção para melhor acompanhar o desenvolvimento dos trabalhos. Contudo o processo pode vir a apresentar alguns erros, mas com os dados e informações sendo colhidos, pode-se corrigir rapidamente. O empenho e dedicação da equipe são essenciais para o sucesso dos trabalhos.

2.2 GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS

A usinagem é um processo de fabricação amplamente utilizado. Segundo Walker (2000), são poucos os produtos que não passam por ela em algum estágio de sua fabricação.

Essa dependência se tornou ainda maior quando as máquinas antigas foram substituídas por tornos CNC, pois, conforme Zonta Junior (2008), o tempo necessário para a produção de um produto foi reduzido e houve um conseqüente aumento da produtividade. O principal fator responsável por essa agilidade é a possibilidade de incluir mais ferramentas de uma vez no mesmo processo, excluindo a necessidade de troca para cada fase, ou seja, o *set up*, que é um termo utilizado para designar a preparação da máquina até o ponto de estar pronta para outra operação, é reduzido. Juntamente com essa variedade de ferramentas veio a necessidade de manter um bom gerenciamento sobre elas que, de acordo com Zonta Junior (2008), é separado em três vertentes de planejamento: estratégico, logístico e técnico.

O planejamento estratégico diz respeito à standardização de insertos, ou seja, um estabelecimento de padrões, bem como ao acompanhamento de dados obtidos a respeito do desempenho da máquina (ZONTA JUNIOR, 2008).

O planejamento logístico está intrinsecamente conectado a um fator muito importante nas fábricas, mas que constantemente é subestimado, que é o estoque. Segundo Kohlberg (2000), o estoque apresenta um nível de negligência que varia de 30% a 60%, o que pode aumentar potencialmente os gastos de uma empresa, visto que as ferramentas são alvo de um alto nível de investimento. Além do estoque, o planejamento logístico está ligado à reposição e fluxo, onde a mentalidade do *just in time* é de extrema importância.

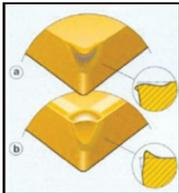
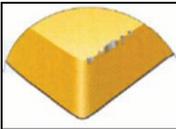
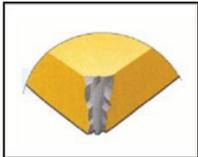
Por sua vez, o planejamento técnico envolve principalmente a seleção correta das ferramentas adequadas e o conhecimento dos parâmetros de operação que influencia diretamente no controle do seu desgaste, ou seja, sua vida útil (ZONTA JUNIOR, 2008).

Os parâmetros de operação como velocidade de corte, avanço e profundidade da usinagem apresentam grande influência para a redução de vida dos insertos, sendo esta a mesma ordem de criticidade ao desgaste, conforme Diniz, Marcondes e Coppini (2013), o que se deve ao calor envolvido no processo. Em concordância com Saito (2013), visando combater o calor excessivo e, conseqüentemente, prolongar o tempo de utilização da ferramenta, emprega-se o fluido de corte, que além de auxiliar na refrigeração também atua na lubrificação. É importante ressaltar que tais líquidos podem ser nocivos ao meio ambiente, portanto as empresas devem se conscientizar e tomar os devidos cuidados para o descarte correto.

2.3 DEFEITOS E DESGASTE DE FERRAMENTAS

Durante o processo produtivo, as ferramentas podem sofrer danificações acidentais, o que ocasionará variações do produto e do próprio processo e ainda reduzirá a vida da mesma. Mas o dano é identificável e, depois de analisado, circunstâncias ideais podem ser desenvolvidas para evitar reincidência. Para poder exemplificar, a Tabela 1 a seguir apresenta um exemplo dos principais danos aos quais as ferramentas estão sujeitas em um processo de fresamento, bem como uma análise e ações para evitá-las em cada situação (PIRES, DINIZ, 1997).

Tabela 1 – Possíveis danos aos quais as ferramentas estão sujeitas em um processo de fresamento

AVARIA	ILUSTRAÇÕES	DIAGNÓSTICO	COMO EVITAR
Micro trincas devido à variação intermitente de temperatura		As micro trincas são aproximadamente perpendiculares à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra em microscópio.	Adequar a forma pela qual o fluido de corte está sendo aplicado ou cortar sem fluido de corte.
Micro trincas devido à variação dos esforços de corte		As micro trincas são aproximadamente paralelas à aresta. Ferramenta quebra prematuramente. Para diagnosticar é necessário observar a ferramenta antes da quebra, em microscópio.	Reduzir os esforços de corte e sanar fontes de vibração do sistema máquina, ferramenta, dispositivos de fixação e peça.
Deformação plástica da cunha da ferramenta		Perda das dimensões iniciais.	Redução da velocidade e dos esforços de corte. Utilizar material de ferramenta de dureza elevada.
Quebra da aresta de corte ou micro lascas		Quebra prematura da ferramenta. Surge devido à presença de incrustações duras geralmente presente no material da peça, principalmente quando o material da ferramenta não está adequado.	Utilizar material da ferramenta mais dúctil e verificar a possibilidade de desenvolver o fornecedor do material da peça sem incrustações duras.
Quebra ou queima da cunha cortante da ferramenta		Perda massiva e prematura do material da ferramenta na ponta da sua cunha. Ocorre devido à choques mecânicos e ou velocidade de corte muito alta e ou como consequência de outra avaria ou desgaste exagerados.	Reduzir velocidade de corte e ou realizar alívio no momento do início do corte.

Fonte: Pires, Diniz (1997).

Por outro lado, ao contrário dos defeitos que podem vir a ser apresentados pelas ferramentas, o desgaste é algo que não se pode evitar, mas existem maneiras de amenizá-lo e, de certa forma controlá-lo, colaborando com a duração do tempo de vida (SAITO *et al*, 2013). Quando se fala em desgaste, trata-se da perda das dimensões originais, o que irá representar variação nas medidas estabelecidas no projeto do produto, ou seja, a qualidade será limitada a um patamar indesejável. Para evitar um desgaste excessivo e possibilitar o uso mais prolongado do material de corte se utilizam meios de preservação, como manutenção regular (DIAS, 1996), utilização correta com os parâmetros de corte ideais e, principalmente, líquidos de corte (DINIZ, MARCONDES, COPPINI 2013).

3 METODOLOGIA

A principal classificação das pesquisas, segundo Almeida (2014), apresenta três formas: exploratória, descritiva e explicativa. A primeira busca uma aproximação mais íntima do assunto, onde outras considerações são feitas, além do ponto principal do estudo, por meio de análises bibliográficas e extração de informações de pessoas que têm intimidade prática com o tema. A segunda, como o próprio nome sugere, descreve uma situação e relaciona suas variáveis envolvidas, por meio de técnicas como questionamento e análises obtidas por meio de observações. Por fim, a última classificação explica o motivo dos acontecimentos por meio da identificação dos fatores responsáveis pela ocorrência do evento, valendo-se praticamente apenas do método experimental.

Para a execução do trabalho foi utilizada a metodologia do Seis Sigma, cuja ferramenta aplicada foi a DMAIC, que tem sua fundamentação na diminuição das variações apresentadas pelo processo, a fim de elevar seu nível de qualidade e confiabilidade. Neste estudo de caso a quebra de ferramentas da usinagem foi definida como o problema a ser tratado. Dados foram obtidos com a finalidade de poder analisar melhor o contexto pela ótica financeira e, então, pôde-se ter uma visão mais clara de qual era a real situação a ser enfrentada. A partir disso, por meio de *brainstorms* associados com métodos de análises, como o diagrama espinha de peixe e o diagrama de Pareto, encontraram-se as possíveis causas críticas que tornaram a quebra de ferramenta alvo de custos elevados. Em seguida, colocaram-se em prática medidas necessárias para combater tais causas com o controle por meio de supervisões e aplicações de planos de ação com datas estipuladas como prazo de realização de atividades programadas. Após um período de implementada a melhoria, realizaram-se novas medições processuais para poder comparar os novos dados com os obtidos quando o problema ainda não tinha solução para poder expor a eficiência da ferramenta DMAIC.

Em conformidade com o que é exposto pela autora mencionada e analisando os procedimentos relacionados previamente, esta pesquisa caracteriza-se como exploratória e explicativa, apresentando ainda traços da pesquisa de campo, por se situar no mesmo ambiente em que se dão as ocorrências dos fatos; e estudo de caso.

O pesquisador procura revelar a multiplicidade de dimensões presentes em uma determinada situação ou problema, focalizando-o como um todo. Esse tipo de abordagem enfatiza a complexidade natural das situações, evidenciando a inter-relação dos seus componentes (LUDKE; ANDRÉ, 1986 *apud* ALMEIDA, 2014, p.54).

Segundo Lakatos e Marconi (1991), tal pesquisa se encaixa no método indutivo, pois o ponto de partida é uma particularidade, mas conclui-se de forma abrangente ou universal, pois, através do experimento com as quebras de ferramentas da indústria automobilística, chega-se às premissas da metodologia Seis Sigma. A indução é composta por três partes:

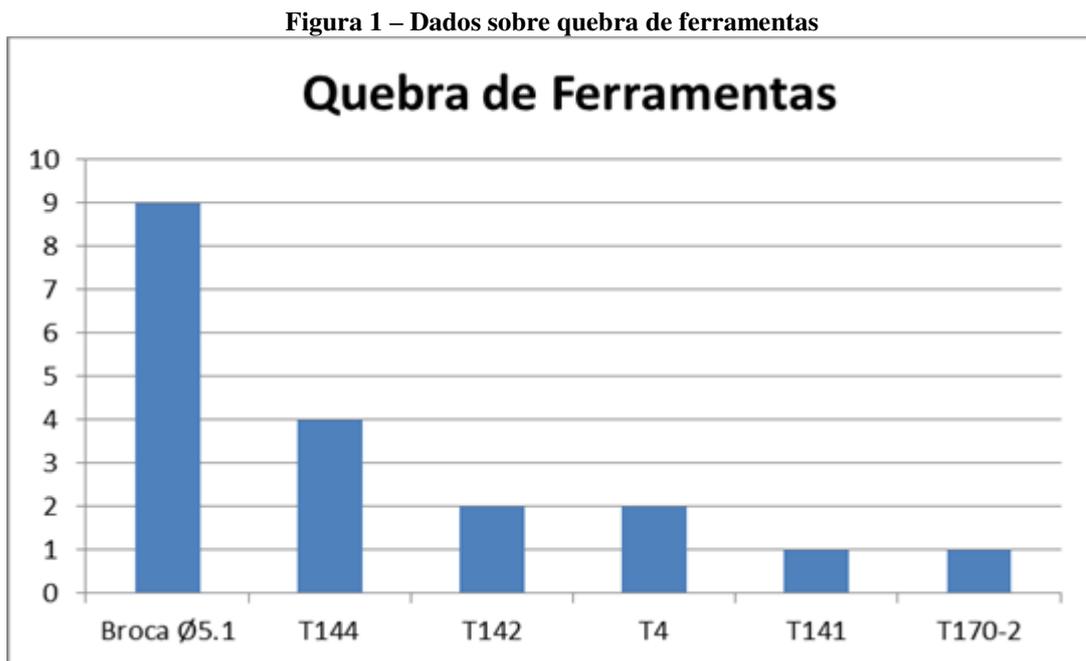
- análise dos fatos por intermédio da observação, como pôde ser visto na fase “Medir” do procedimento, onde se buscou todas as prováveis causas do problema;
- estabelecer a relação entre os fatos descobertos (variáveis) com o fenômeno (quebra da ferramenta T144);
- e a generalização ocorreu no final do processo, devido à semelhança obtida entre o resultado e as ideias da metodologia proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos em cada fase do processo de aplicação do DMAIC, bem como as análises envolvidas que foram desenvolvidas para o combate à quebra da ferramenta T144.

4.1 DEFINIR

Primeiramente, a fim de poder especificar claramente qual seria o problema a ser tratado, dados foram levantados a respeito das quebras de ferramentas durante um determinado período de tempo para que argumentos fossem apresentados para caracterizar um fato que necessitasse de cuidado, e obtiveram-se os seguintes resultados conforme mostrado na Figura 1.



Fonte: próprio autor.

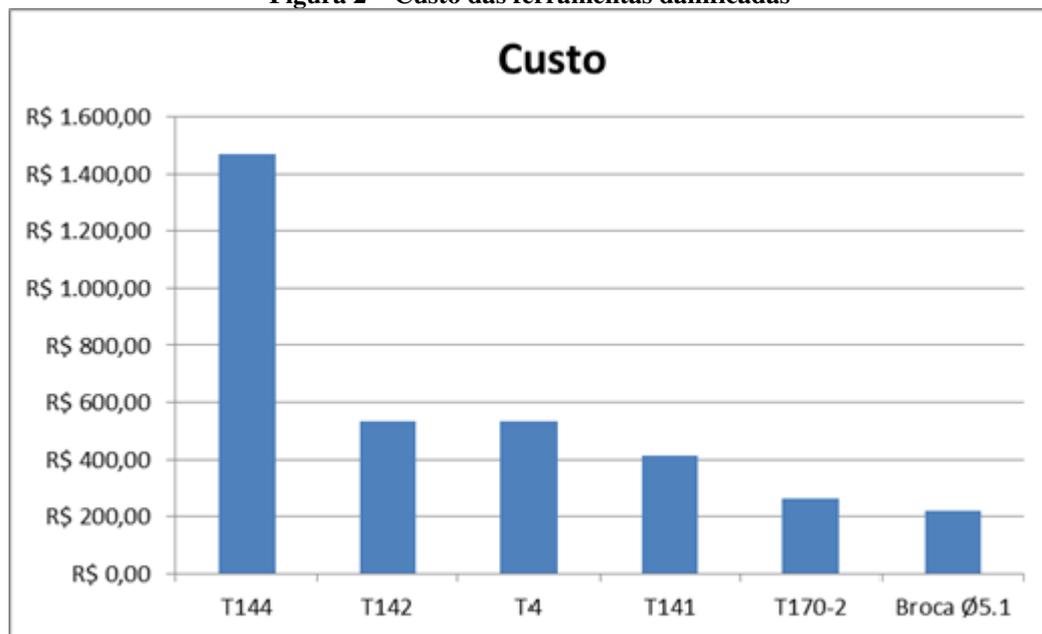
Essas informações são pertinentes, pois evidenciam um problema crônico em relação à quebra de ferramentas, mas não foram suficientes para que medidas fossem tomadas baseadas nisso.

Quando o levantamento do custo envolvido na quebra de cada ferramenta foi realizado, o problema se tornou mais evidente, pois apesar de ter apresentado o número maior de quebras entre as outras analisadas, a broca de 5,1 milímetros de diâmetro não foi a

ferramenta que apresentou o maior gasto, mas sim a T144, ou seja, o foco da aplicação do DMAIC deveria ser a T144. Isto mostrou a importância de analisar todos os fatos, pois se a decisão tivesse sido para tratar a de maior incidência de quebra, talvez o resultado não fosse tão eficiente, além de haver perda das energias da equipe em atividades irrelevantes.

A Figura 2 ilustra a diferença orçamentária presente entre as ferramentas analisadas. É importante ressaltar que, apesar de ter apresentado o maior número de quebras, a broca Ø5,1 foi a de menor custo.

Figura 2 – Custo das ferramentas danificadas



Fonte: próprio autor.

Com tais informações levantadas, foi possível concluir a primeira etapa do processo, que pôde ser definida com clareza e argumentos, a fim de motivar a equipe a se empenhar em contribuir para a realização dos passos que sucederam.

4.2 MEDIR

Essa etapa consistiu em realizar levantamentos de possíveis causas que estariam ocasionando as quebras. Para isso, contou-se com a contribuição de todos os envolvidos no processo, pois, como fora mencionado anteriormente, é um processo que exige o trabalho em equipe para ser bem sucedido, especialmente nessa etapa, onde a opinião e a experiência de pessoas envolvidas diretamente no processo podem ser cruciais para definir ou até mesmo vedar a possibilidade de tais causas.

Por meio de *brainstorms* construiu-se o diagrama espinha de peixe apresentado na Figura 3, onde foram consideradas as possíveis causas de cada categoria, sendo elas: ferramenta, método, máquina, material, meio ambiente e mão de obra.

Figura 3 – Diagrama espinha de peixe



Fonte: próprio autor.

A partir disso, construiu-se um diagrama de causa e efeito, apresentado na Figura 4, onde cada causa, nomeadas genericamente de X, foi responsável pelo efeito que, nesse caso, trata-se da quebra da ferramenta T144, nomeada de Y. Portanto, pôde-se estabelecer a seguinte relação $Y = f(X)$, ou seja, as causas são funções do efeito.

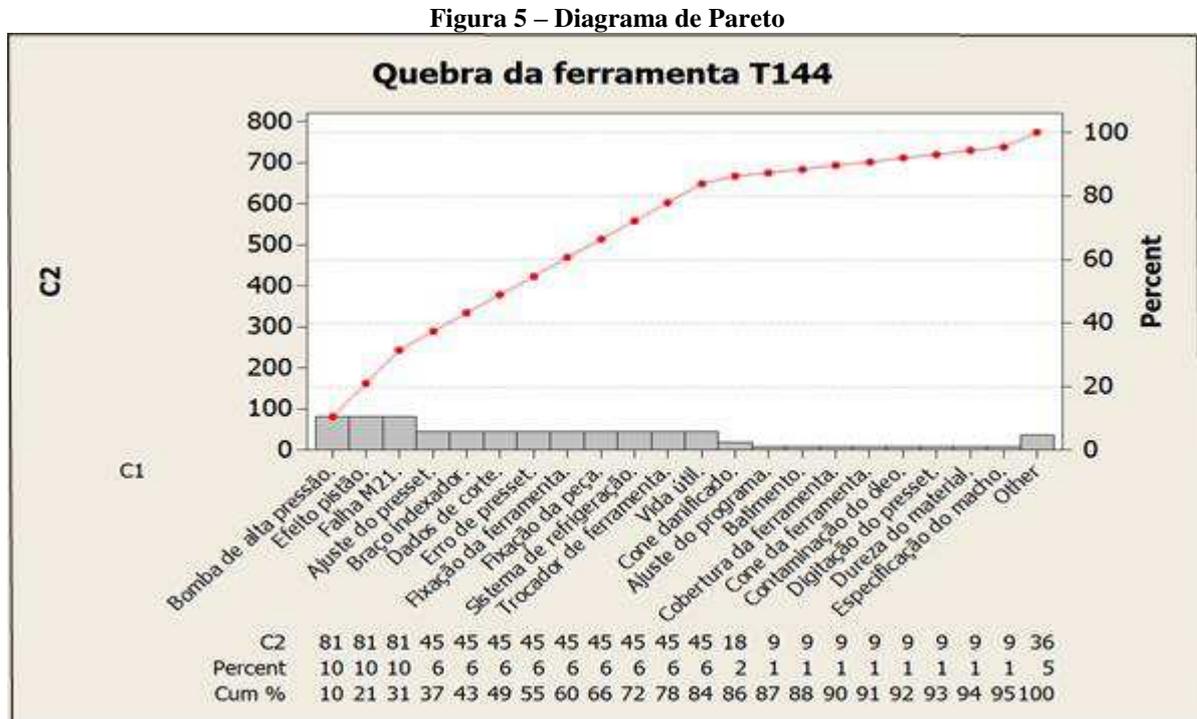
No diagrama construído, analisaram-se as causas avaliando-as e pontuando-as conforme o critério de importância estabelecido, onde os índices 1, 5 e 9 representam um nível de baixa, média e alta importância, respectivamente.

Figura 4 – Diagrama causa e efeito

Rating of Importance to Customer		9			
Feature #		1	2	3	
Y		Quebra - T144			
X's					
Process Inputs					Total
1	Erro de preset.	5			45
2	Efeito pistão.	9			81
3	Braço indexador.	5			45
4	Cone da ferramenta.	1			9
5	Vida útil.	5			45
6	Cone danificado.	1			9
7	Batimento.	1			9
8	Ajuste do programa.	1			9
9	Ajuste do pres set.	5			45
10	Especificação do material.	1			9
11	Dados de corte.	5			45
12	Sistema de refrigeração.	5			45
13	Fixação da ferramenta.	5			45
14	Fixação da peça.	5			45
15	Falha M21.	9			81
16	Bomba de alta pressão.	9			81
17	Trocador de ferramenta.	5			45
18	Magazine de ferramenta.	1			9
19	Cone danificado.	1			9
20	Especificação do macho.	1			9
21	Cobertura da ferramenta.	1			9
22	Dureza do material.	1			9
23	Contaminação do óleo.	1			9
24	Excesso de cavaco.	1			9
25	Digitação do preset	1			9
26	Falta de treinamento.	1			9
Total		774	0	0	

Fonte: próprio autor.

Com base nesse diagrama e considerando a quantidade de reincidência de cada ocorrência foi possível elaborar um terceiro diagrama conhecido como diagrama de Pareto, presente na Figura 5, onde a linha vermelha simboliza o percentual de ocorrência acumulado.



Fonte: próprio autor.

4.3 ANALISAR

A partir das informações que se obteve da etapa anterior, com o auxílio dos diagramas de espinha de peixe, causa e efeito e Pareto, pôde-se chegar às raízes dos problemas, que envolviam ferramenta, método, máquina, material, meio ambiente e mão de obra. Analisando as porcentagens envolvidas, selecionaram-se as mais críticas para serem trabalhadas.

São elas:

- Bomba de alta pressão.
- Efeito pistão.
- Falha M21.

Visando aprimorar o processo envolvendo os três itens mencionados e, conseqüentemente, reduzir a quebra por eles ocasionada, a equipe desenvolveu medidas para serem implementadas a fim de reduzir a ocorrência.

As medidas determinadas foram:

- Substituir o registro de alta pressão;
- Instalar trava com cadeado no registro de alta pressão;
- Instalar bico de ar comprimido para limpeza do index;
- Realizar manutenção no cabeçote reversível.

4.4 IMPLEMENTAR

Após a análise completa de todas as possibilidades de falha, que foram selecionadas na etapa “medir”, e de todas as ações a serem realizadas para evitá-las, definidas na etapa “analisar”, foi-se necessário implementar na prática as medidas discutidas.

A Figura 6 exemplifica o plano de ação instaurado pela empresa.

Figura 6 – Plano de ação

PLANO DE AÇÃO QUEBRA DE FERRAMENTA - T144									
ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DATA	PROGRESSO %					OBSERVAÇÃO
			PREVISTA	20	40	60	80	100	
1/3	Substituir o registro de alta pressão								
1/3	Instalar trava com cadeado no registro de alta pressão								
1/3	Instalar bico de ar comprimido para limpeza do index								
2	Realizar manutenção no cabeçote reversível								

Fonte: próprio autor.

O campo reservado para “responsável” foi preenchido com o nome de cada pessoa que estava encarregada da área onde cada medida foi implantada.

As datas pré-estabelecidas na etapa de análise servem para estimular a realização das atividades, para que o plano não caia no esquecimento. O que é importante para garantir uma aplicação efetiva do DMAIC. O progresso tem o mesmo objetivo das datas, para que haja um acompanhamento dos trabalhos.

4.5 CONTROLAR

Depois de aplicar as medidas que foram decididas, há a necessidade de controlar, para que haja constância no projeto. De nada adiantaria se tudo o que foi analisado e implantado

não tivesse estabilidade, pois, dessa forma, as variações do projeto ainda iriam persistir e o nível de qualidade seria comprometido.

Um meio de garantir o controle foi seguir os prazos estabelecidos no plano de ação, assim como a supervisão, por parte dos responsáveis, das atividades através de um check list, que pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1 – Check list desenvolvido para controlar as ações implantadas

Geometria da máquina está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Há vibrações nos eixos árvore?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
A rigidez da Máquina é adequada?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Há folga nos fusos?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>	Qual fuso?	X <input type="checkbox"/> Z <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>
Houve falha Elétrica?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Houve falha Eletrônica?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Houve falha Mecânica?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Pressão de fixação da ferramenta está correta?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Pressão de refrigeração da ferramenta está adequada?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
A concentração e a filtragem da emulsão está adequada?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
As características do óleo refrigerante estão dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
A capacidade da Máquina está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Houve queda ou pico de energia?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Os parâmetros de corte (VC; avanço; rotação; profundidade) estão conforme planejado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
O programa CNC foi alterado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
Foi feita alguma alteração no OFF-SET da ferramenta?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
O valor do PRÉ-SET da ferramenta está correto na máquina?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		
A sequência de processo/operação foi alterada?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>		

Quadro 2 – Check list desenvolvido para controlar as ações implantadas

A especificação de dureza está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Foi detectado alguma variação de compostos Químicos que afete o processo de usinagem?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
As áreas de apoio e localização do material apresentam alguma deformação?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Há muita Carepa; Areia (de fundição); Rebarbas em excesso?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Existe identificação de rastreabilidade do lote?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
O sistema de fixação é rígido?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Os pontos de apoio e fixação estão danificados?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
O AIR-CHECK está atuando?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
O torque de aperto da peça está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A pressão de fixação está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
O fornecedor foi alterado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A Qualidade da ferramenta está dentro do especificado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A Qualidade da Recuperação da ferramenta atende as especificações de Qualidade?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A Qualidade da Reafiação atende as especificações de qualidade?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Os componentes da Montagem do conjunto estão em bom estado?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Os Alojamentos da ferramenta estão apresentando desgaste ou deformação?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A liberação do PRÉ-SET está APROVADA?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
A montagem da ferramenta está correta?	sim <input type="checkbox"/>	não <input type="checkbox"/>
Número de identificação do mandril	_____	não <input type="checkbox"/>
Comentários:		

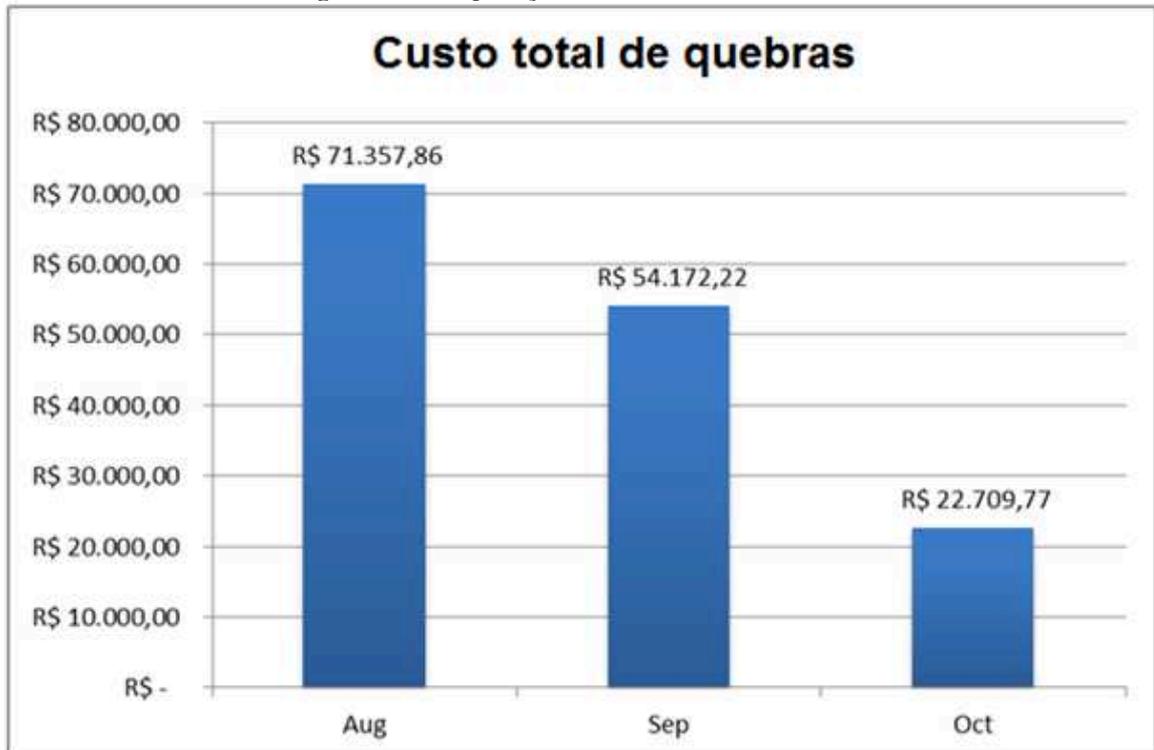
Fonte: próprio autor.

Depois de concluídas todas as etapas que constituem o DMAIC e mantido o controle sobre as ações de melhoria para tornar real o planejamento e viabilizar a diminuição dos custos com as ferramentas, visto que para estas eram direcionado grande parte do capital empresarial, realizaram-se novos levantamentos de dados, a fim de buscar uma comparação

entre os períodos anterior e posterior à aplicação da metodologia e verificar a eficiência oferecida por ela.

Os resultados obtidos estão presentes na Figura 7 e correspondem a informações geradas nos meses de agosto, setembro e outubro, referentes ao gasto realizado em cada mês.

Figura 7 – Comparação de custos com ferramental



Fonte: próprio autor.

Nota-se uma redução gradativa do custo nos meses referentes à aplicação da metodologia, sendo agosto o mês anterior às ações. Por ainda não possuir nenhuma medida para combater o problema, o custo apresentado pelo primeiro mês foi de R\$71.357,86, o qual teve uma redução de aproximadamente 24% para o próximo, que apresentou o valor de R\$54.172,22. O mês de outubro teve uma redução de aproximadamente 58% em relação ao mês anterior a esse e de quase 70% em relação a agosto.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou chegar a duas importantes conclusões. A primeira é que a metodologia DMAIC, além de resolver efetivamente o problema em questão, permitiu que a real causa dos custos elevados fosse descoberta, o que foi crucial para o seu sucesso, pois à primeira vista o problema poderia ter sido facilmente confundido com a quebra das brocas de 5,1 milímetros de diâmetro, devido à elevada reincidência do quadro, caracterizando-o como crônico. Mas após uma análise mais crítica, mediante consideração financeira é que se chegou ao real problema que era a quebra das ferramentas T144, devido ao seu custo de aquisição ser muito maior do que aquela.

A segunda conclusão é que a metodologia, ao reduzir a reincidência de quebra das ferramentas, resulta na redução de outros dois fatores de grande importância para a empresa. Um deles é a redução de custo de aquisição, pois quanto menos ferramentas quebradas, menor a necessidade de compra-las com a finalidade de substituição. O segundo fator decorrente do fato da redução da ocorrência da quebra é a redução do tempo de *set up* da máquina, ou seja, o tempo de troca de ferramenta, o que é de grande interesse das empresas, pois assim podem aumentar sua produtividade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Siderly do Carmo Dahle de. **Metodologia da Pesquisa**. Maringá: UniCesumar, 2014.

BISGAARD, S.; FREIESLEBEN, J. **Economics of Six Sigma**. Quality Engineering. Monticello. New York: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.325-331. 2000-01.

DIAS, A. 1996. **Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. 199p. Tese (Doutorado).

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Campinas: Artiliber Editora Ltda, 8ª Edição, p.230-248, 2013.

HARRY, M. E SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**. New York: 2000.

KOHLBERG, G. F. **Gerenciamento de ferramentas: modismo ou mal necessário? Máquinas e Metais**. Ed. Aranda; n. 417, p.22-37. Outubro/2000.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M^a. A. **Metodologia científica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LIN, C. *et al.* **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology**. Robotics and Computers-Integrated Manufacturing, v.29, p.93-103, 2013.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001

PIRES, J. R.; DINIZ, A. E. **Evitando o Desperdício de Ferramentas de Torneamento em uma Produção Não Automatizada.** III Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica, Cuba, 1, 1-6, 1997.

SAITO, D. **Fluído de corte.** Universidade Federal de santa Catarina, 2013.

SANDERS, D; HILD, C. R. **Common myths about Six Sigma. Quality engineering.** Monticello. N.Y.: Marcel Dekker. V.13, n.2, p.269-276, 2000-01.

SATOLO, E. G. *et al.* **Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a partir de um levantamento tipo survey.** Produção, v.19, n.2, p.400-416, 2009.

SCATOLIN, A. C. **Aplicação da metodologia seis sigma na redução das perdas de um processo de manufatura.** São Paulo: [s.n.], 2005.

SUNIL *et al.* **Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study.** Journal of Quality and Reliability Engineering, 2013.

WALKER, J. **Machining Fundamentals.** GW Publisher, USA: 2000.

JUNIOR, Z. A. **Gerenciamento de ferramentas: muito além do controle logístico.** Revista O Mundo da Usinagem. Publicação Divisão Coromant Sandvik do Brasil. 53.2008, p.12-16, 2008.