



EMPREGO DE PACOTES PARA R NA CONDUÇÃO DE UM PROJETO BLACK BELT LEAN SIX SIGMA

David Souza Pinto¹

Ana Paula Barbosa Sobral²

Robisom Damasceno Calado³

Resumo

Projetos orientados pelo *Lean Six Sigma* visam a redução de custos através da prevenção de defeitos e eliminação de desperdícios. O artigo relata a realização de um projeto *Lean Six Sigma* para retomar a produtividade de uma fábrica. Apesar da recomendação do uso do software Minitab em tais projetos, o estudo de caso relatado empregou o software **R** para todas as análises necessárias. O artigo relata os resultados obtidos com o projeto e confirma a viabilidade do uso do **R** como plataforma para realização das análises necessárias para o andamento do projeto.

Palavras-chave: Lean Six Sigma, DMAIC, Controle Estatístico de Processos

Abstract

Lean Six Sigma projects aim to reduce costs through defect prevention and waste reduction. This article reports the execution of a Lean Six Sigma project to recover the productivity of a factory. While Minitab is the recommended software for such projects, the case study deployed **R** for all the necessary analysis. The article discloses the results obtained with the project and assesses **R** as a viable platform to conduct the necessary analyses for such projects.

Keywords: Lean Six Sigma, DMAIC, Statistical Process Control

Introdução

O projeto de implementação da metodologia Lean Six Sigma foi realizado na empresa XYZ, inserida no setor metalúrgico, produtora de válvulas e equipamentos para pressão. O processo consiste na usinagem de peças de metal em um torno para que sejam posteriormente trabalhadas ao longo da produção. A empresa teve problemas financeiros, levando a demissões, revisões no quadro de funcionários e à subsequente queda na qualidade do produto. Reclamações de clientes internos e externos se tornaram constantes.

¹ Universidade Federal Fluminense (UFF), souza.pd@outlook.com

² Instituto de Ciência e Tecnologia / Universidade Federal Fluminense (ICT/UFF), ana_sobral@vm.uff.br

³ Instituto de Ciência e Tecnologia / Universidade Federal Fluminense (ICT/UFF), robisomcalado@id.uff.br

Outra mudança na operação da fábrica foi a diferença no ritmo de atividades: a unidade operava em dois turnos, e agora opera em apenas um.

A fim de evitar um agravamento da situação, a gerência da planta aprovou a realização de um projeto *Lean Six Sigma* a fim de definir soluções para o problema. Enquanto o projeto contratado abrangeu todo o fluxo produtivo, este artigo foca apenas no processo de usinagem: a operação dos tornos que preparam os blocos de metais para serem convertidos em outros produtos na linha de produção. As atividades do projeto foram norteadas pelo uso conjunto do modelo DMAIC e do ciclo PDSA.

Objetivo

Conduzir as análises necessárias para a execução adequada de um projeto *Lean Six Sigma* empregando o modelo DMAIC, fazendo uso do ciclo PDSA para estruturar o desenvolvimento de algumas ações do projeto. A linguagem de programação **R** será empregada como ferramenta de apoio para as diversas análises do projeto, e serão identificados os pacotes relevantes para a condução das análises necessárias às tomadas de decisão do projeto.

Material e Método

Por variabilidade se compreende a variação, em relação à média ou ao ponto ideal do processo, na saída de um processo. A busca da redução da variabilidade significaria então reduzir produtos fora da conformidade, trabalhar a uniformidade da produção, reduzir retrabalhos (CHILELLI, 2017). É importante diferenciar as ditas **causas comuns** – a variação inerente ao processo – e as **causas especiais** – a variação que não é parte do sistema – sendo o trabalho realizado para eliminar as causas especiais (PYZDEK, 2003).

O *Lean Six Sigma* é a combinação da abordagem *Six Sigma* - uma filosofia de qualidade e uma coletânea de técnicas e ferramentas que objetivam a redução da variabilidade, com ênfase em uma liderança forte e resultados financeiros - com elementos de redução de desperdício do *Lean Manufacturing*. O *Lean Six Sigma*, portanto, se caracteriza como uma filosofia de melhoria apoiada em dados, que prioriza a prevenção de defeitos através da redução de variabilidade, desperdícios e tempo de ciclo, com foco na satisfação do cliente (BORROR, 2009; ASQ, 2018). As abordagens também são empregadas de maneira independente na indústria, sendo o *Lean* a abordagem mais popular, seguido da abordagem *Six Sigma*. Ambas são empregadas tanto em empresas de serviços quanto de manufatura (PULAKANAM e VOGES, 2010). Franchetti (2015) ainda cita

o uso da filosofia por empresas como a Ford, o Exército Americano, GE e Motorola para reduzir defeitos, variabilidade e custos.

No que tange a avaliação dos dados, enquanto há uma recomendação para o emprego do software Minitab em realizações de Projetos *Lean Six Sigma* (PULAKANAM e VOGES, 2010), o software **R** foi usado para todas as análises do projeto discutido neste artigo. Destaca-se que foram empregados diferentes pacotes para diferentes fins, a serem detalhados mais à frente.

O projeto seguiu o modelo de melhoria DMAIC (PYZDEK, 2003), empregado quando o objetivo de um projeto pode ser atingido através da melhoria de um produto, serviço ou processo já existente. O modelo é dividido em cinco etapas distintas, conforme listado abaixo.

1. *Define (D)*: fase onde são definidos o problema, bem como os custos, benefícios e impactos ao cliente (Levine, 2006). Metas de melhoria também são definidas em consonância com os interesses estratégicos, táticos e operacionais do cliente, podendo conter desde satisfação do cliente e maiores retornos financeiros, como melhorias de processos e redução de fontes de variabilidade (PYZDEK, 2003).
2. *Measure (M)*: avaliação do sistema atual, a fim de estabelecer uma referência para monitorar o progresso em direção às metas estipuladas (PYZDEK, 2003). Aqui também são estabelecidas as definições dos itens críticos à qualidade (LEVINE, 2006).
3. *Analyse (A)*: analisar o sistema para identificar maneiras de eliminar as barreiras existentes no sistema a fim de alcançar as metas estabelecidas. Emprega-se aqui análises exploratórias e estatísticas para entender os dados e guiar o processo (PYZDEK, 2003). O objetivo é determinar o porquê defeitos no processo, e quais fatores contribuem para tal (LEVINE, 2006).
4. *Improve (I)*: melhoria do sistema ou do processo, através de formas mais eficientes, em termos de desempenho físico ou financeiro. Faz-se uso aqui de ferramentas de gestão de projetos para realizar a melhoria e de ferramentas estatísticas para embasar as ações (PYZDEK, 2003).
5. *Control (C)*: monitoramento e controle do sistema através de sistemas ERP, boas práticas de gestão, instruções de trabalho, orçamento e controles estatísticos (PYZDEK, 2003).

Para a garantir uma implementação estruturada das etapas *Measure*, *Analyse* e *Improve* do DMAIC, foram realizadas 8 iterações do ciclo PDSA. O ciclo também é conhecido como “Diagrama de Shewhart para o Aprendizado e Melhoria”, tal como proposto por Deming em 1993 (MOEN e NORMAN, 2006), e é constituído de quatro etapas:

1. *Plan (P)*: Planejar uma mudança ou teste, com objetivo de melhoria;
2. *Do (D)*: Realizar a mudança ou teste;
3. *Study (S)*: Estudar os resultados e avaliar o que foi aprendido, e o que deu errado;
4. *Act (A)*: Adotar ou abandonar a mudança, ou realizar o ciclo novamente.

A tabela 1 resume o projeto realizado, relacionando o DMAIC com os ciclos PDSAs executados, bem como o objetivo para cada etapa. Os detalhes de cada atividade se encontram descritos após a tabela. Itens com asterisco não apresentaram ciclo PDSA na sua realização.

Tabela 1 – Atividades por fase do DMAIC e PDSA

DMAIC	PDSA	Atividade principal
D	*	Definição dos requerimentos
M	1	Análise do Sistema de Medição (<i>as-is</i>)
	2	Análise do Sistema de Medição (novo)
	3	Capabilidade e Estabilidade
	4	Diagrama de Causa e Efeito
A	5	Comparação de Matérias-primas
	6	Comparação de Serras
	7	Experimento Fatorial Fracionado
I	8	Capabilidade e Estabilidade (pós-implementação de melhorias)
C	*	Acompanhamento e manutenção das melhorias

Fonte: Os autores, 2018

Na fase *Define* do DMAIC foi realizado o SIPOC, que consiste em um mapeamento de fornecedores, entradas, processo, saídas e clientes para uma determinada atividade (MARQUES e REQUEIJO, 2009; GEORGE, 2003). Assim, tem-se que: (1) Fornecedores: Ponteiros, matéria-prima; (2) Entradas: matéria-prima, tornos, mão-de-obra; (3) Processo: usinagem da matéria-prima; (4) Saída: produto usinado; (5) Clientes: clientes internos. O processo de usinagem da matéria-prima, sinalizado no SIPOC, pode ser descrito pelas seguintes etapas: (1) Acondicionamento da matéria-prima no torno; (2) Programação e acionamento do torno; (3) Usinagem; (4) Parada do torno, remoção da peça usinada; (5) Avaliação da peça usinada.



No que tange seu desempenho, embora o desempenho atual esteja abaixo de 300 peças/dia, o processo foi projetado para um *output* de 480 peças/dia ou 1 peça/minuto considerando um período de operação de 8 horas/dia. Os blocos devem ser produzidos com a seguinte especificação: (1) Diâmetro entre 8,97cm e 9,03cm; (2) Aspereza igual ou inferior a 200; (3) Livre de riscos e arestas. Com essas definições é possível definir os critérios de controle e dar prosseguimento ao projeto.

Na fase *Measure* foram executados três PDSAs, referentes ao Sistema de Medição empregado na empresa, bem como a Capabilidade e Estabilidade do processo produtivo.

O primeiro PDSA buscou avaliar os sistemas de medição empregados para avaliar duas características do produto usinado: o diâmetro e a aspereza da superfície usinada. Dois instrumentos de medição distintos são empregados nesta análise. Foram conduzidas duas análises: *Gage R&R* e os testes de viés.

O *Gage R&R*, do inglês “Mensuração da Repetibilidade e Reprodutibilidade”, é um método para estudar e ajustar sistemas de medição para melhor obter resultados, e historicamente empregado para garantir que a instrumentação está devidamente calibrada. Repetibilidade implica medir mais de uma vez o mesmo item, e Reprodutibilidade implica em diferentes pessoas medindo um determinado item (GEORGE, 2003). O dito *Gage linearity*, ou avaliação de linearidade, busca avaliar a presença de viés no emprego do instrumento de medição. O nome se refere à regressão linear associada ao processo (PYZDEK, 2003).

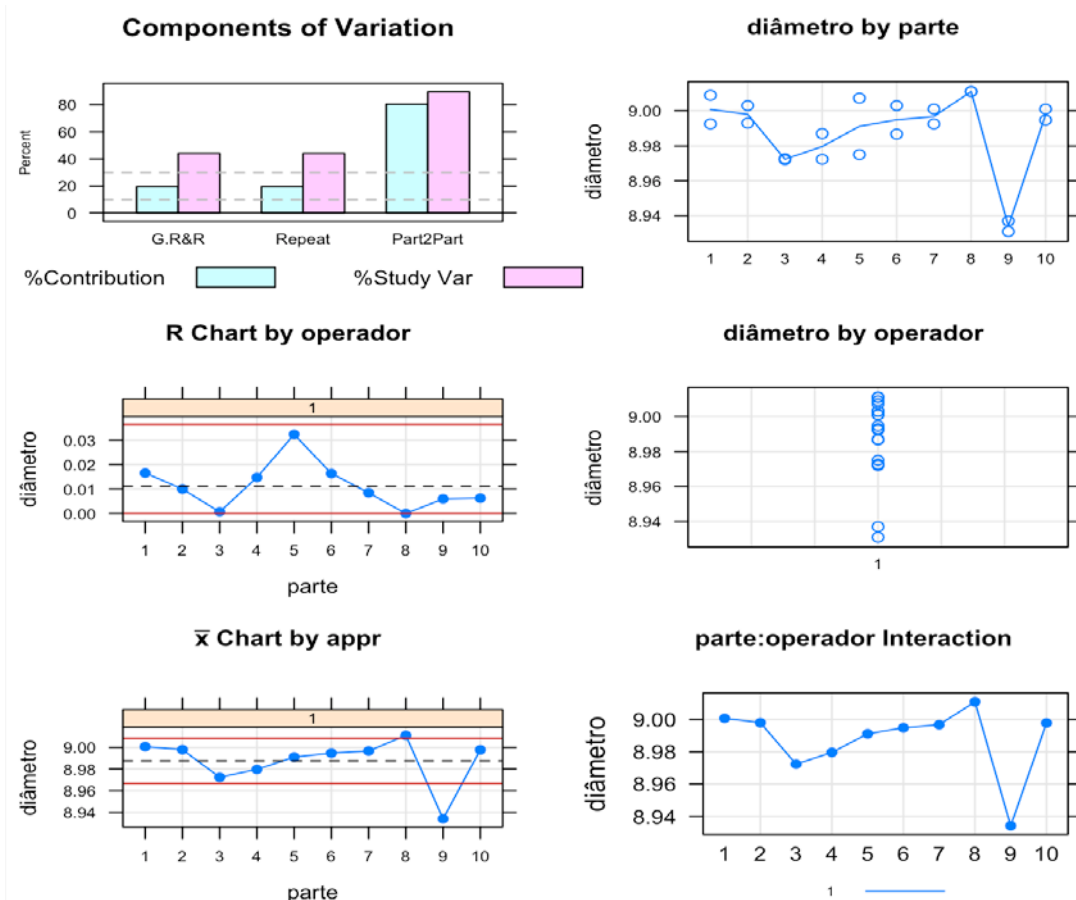


Figura 1 – Gage R&R Diâmetro

Fonte: Os autores, 2018

Enquanto não houve problema com as análises de linearidade e do *Gage R&R* para a aspereza, a figura 1 aponta para problemas no *Gage R&R* do diâmetro. Há um problema no sistema de medição para avaliar o diâmetro, em vista da variação acima de 30% indicada na Repetibilidade (segunda coluna), e pelo baixo número de categorias distintas ($n = 2$, gerado como saída da função no console).

O segundo PDSA se inicia após a calibração dos instrumentos de medição. Como o instrumento de medição do diâmetro apresentou problemas na etapa anterior, o mesmo foi levado para a metrologia a fim de verificar o problema. Aparentemente a unidade empregada estava defeituosa, e foi substituída. Realizando novamente os testes da seção anterior para um novo aparelho, o aparelho é adequado para realizar a medição necessária. A diferença pode ser observada na figura abaixo com a repetição do *Gage R&R* para o equipamento. Fica marcada a redução da coluna referente à variação inerente à repetibilidade – abaixo de 10% – como visto na figura 2, e o aumento no número de categorias distintas ($n = 17$, gerado como saída da função no console).

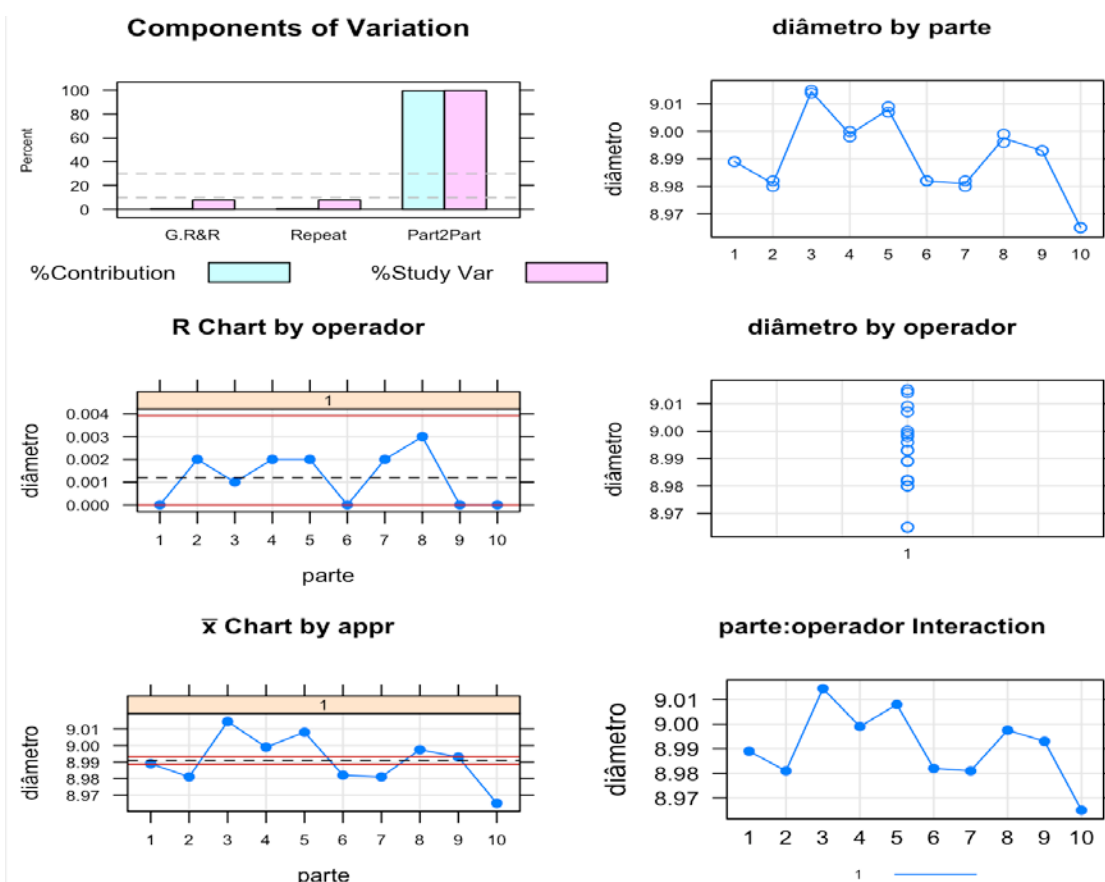


Figura 2 – Gage R&R Diâmetro, após calibração

Fonte: Os autores, 2018

O terceiro PDSA contemplou dois itens distintos, a Capabilidade do processo, e a estabilidade do mesmo. Para tal foram usadas duas ferramentas distintas – para a primeira análise foi empregada uma avaliação da Capabilidade do processo, já para a segunda foram utilizadas Cartas de Controle. A Capabilidade considerou tanto o diâmetro das peças produzidas quanto sua aspereza. Conforme figuras 3 e 4, ambos itens estão fora das especificações definidas na etapa *Define*. Ambos os processos não são capazes, uma vez que estão claramente fora dos limites de especificação, e também sinalizado pelo indicador **Cpk < 1.33** (PYZDEK, 2003). Os dados também apresentam distribuição normal, coo identificado pelos painéis contidos nas figuras 3 e 4, apontando as estatísticas e o P-P *plot* dos dados.

As Cartas de Controle são representações gráficas de dados medidos no tempo, e permitem a identificação de padrões, tendências, ou causas especiais que contribuam para a variabilidade do processo (PYZDEK, 2003; LEVINE, 2006). Enquanto as cartas mostram que o processo está sobre controle, as medidas centrais apontam à incapacidade do processo atual, com 76% das peças apresentando arestas e 41 riscos a cada 100 peças, e

que a média de unidades produzidas sem arestas encontra-se em 6 blocos/h. As cartas de controle não foram incluídas já que não apresentaram causas especiais que contribuíssem para a variabilidade do processo.

Com a etapa *Measure* concluída, inicia-se a etapa *Analyse* do DMAIC (PYZDEK, 2003; LEVINE, 2006). O quarto PDSA foi construído com base nos dados coletados na etapa anterior, e complementado com entrevistas. Estas informações serviram de base para criar um diagrama de Ishikawa. O diagrama tem como finalidade identificar as causas para problemas de qualidade (PYZDEK, 2003). Dos fatores elencados na figura 5, para fins de análise quantitativa deste artigo, serão focados os fatores de Material e Máquina – mais especificamente, serão avaliados a Qualidade da matéria-prima, a qualidade da ponteira, e como o setup da máquina contribui para a variação observada na etapa *Measure*.

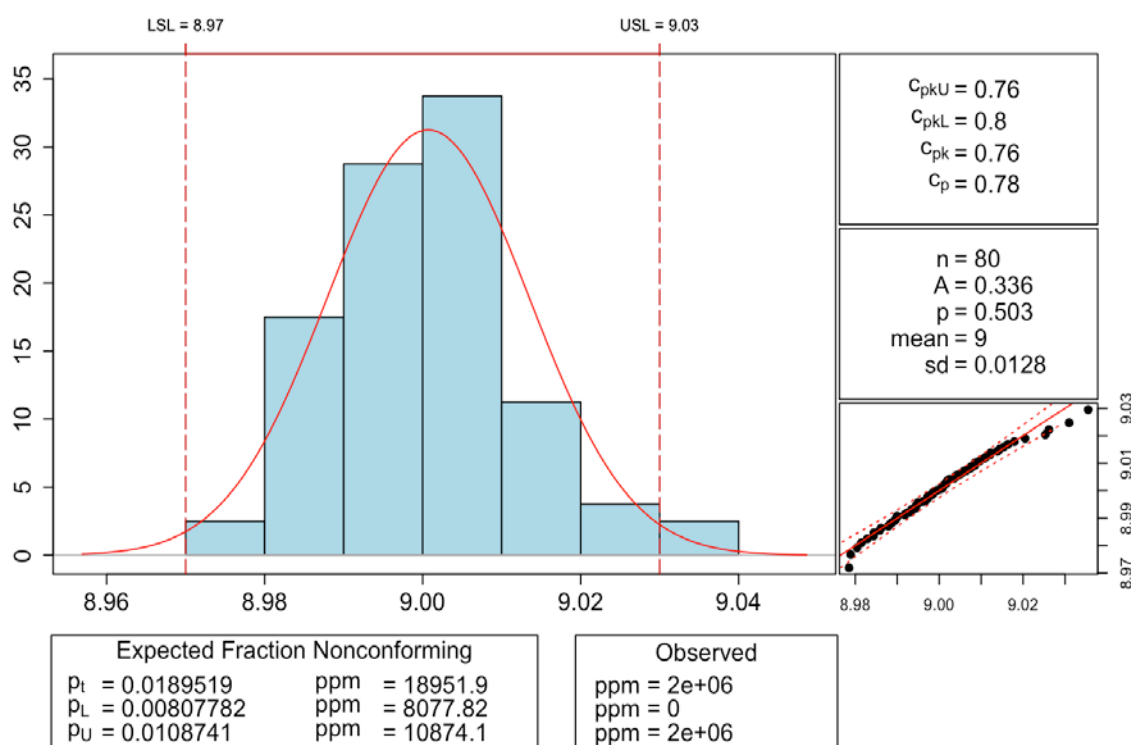


Figura 3 – Capabilidade do Processo: Diâmetro

FONTE: Os autores, 2018

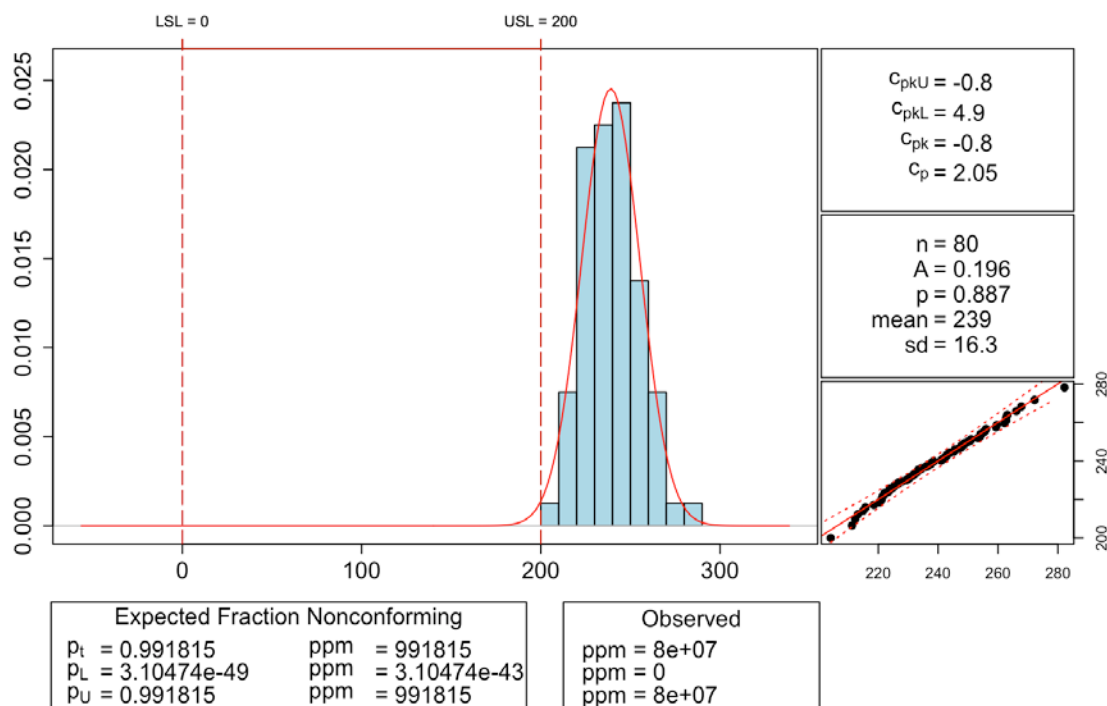


Figura 4 – Capabilidade do Processo: Aspereza

FONTE: Os autores, 2018

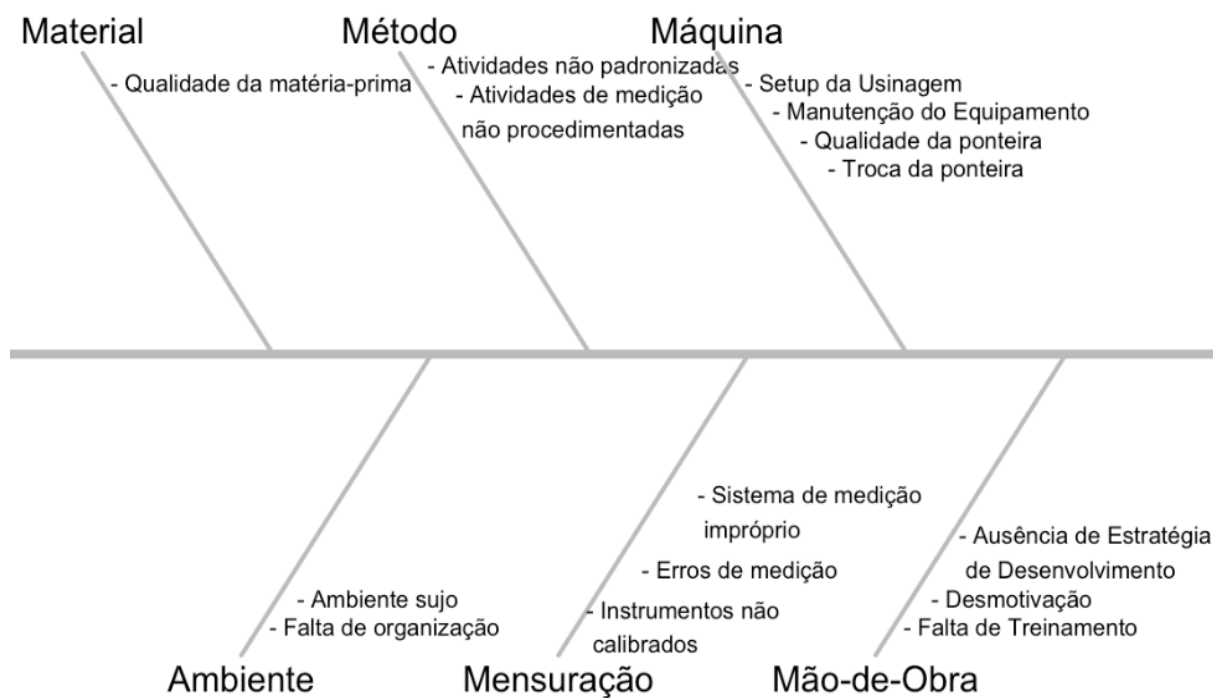


Figura 5 – Diagrama de Ishikawa (detalhe)

FONTE: Os autores, 2018

Considerando o fator matéria-prima no quinto PDSA, verificou-se que a empresa trabalha com dois fornecedores para este processo: AS e VM. A análise dos dados revelou que, em termos de variância para o diâmetro e aspereza, não há diferença significativa entre os insumos. Para avaliar os riscos, foi empregado o teste de Poisson para comparar as duas taxas de ocorrência de riscos, também não apresentando diferenças significantes. A escolha então torna-se financeira, sendo o fornecedor com o menor preço o escolhido.

O sexto PDSA avaliou diferentes fornecedores de ponteiras, e verificou a influência dos produtos de cinco fornecedores - AA, ZE, TT, KM, WQ - no diâmetro, aspereza e na produção de riscos. O teste de Levene conduzido para avaliar a variância no diâmetro e na aspereza não revelou diferenças significantes. No entanto, ao serem realizadas duas ANOVAs, uma para diâmetro e outra para aspereza, foi identificada uma diferença significativa na aspereza entre os produtos dos fornecedores AA, KM, e AT, como observado na figura 6. Avaliando os dados para verificar a presença de riscos, observa-se que as ponteiras WQ, TT e KM não produzem riscos. A escolha entre estes três fornecedores passa a ser financeira.

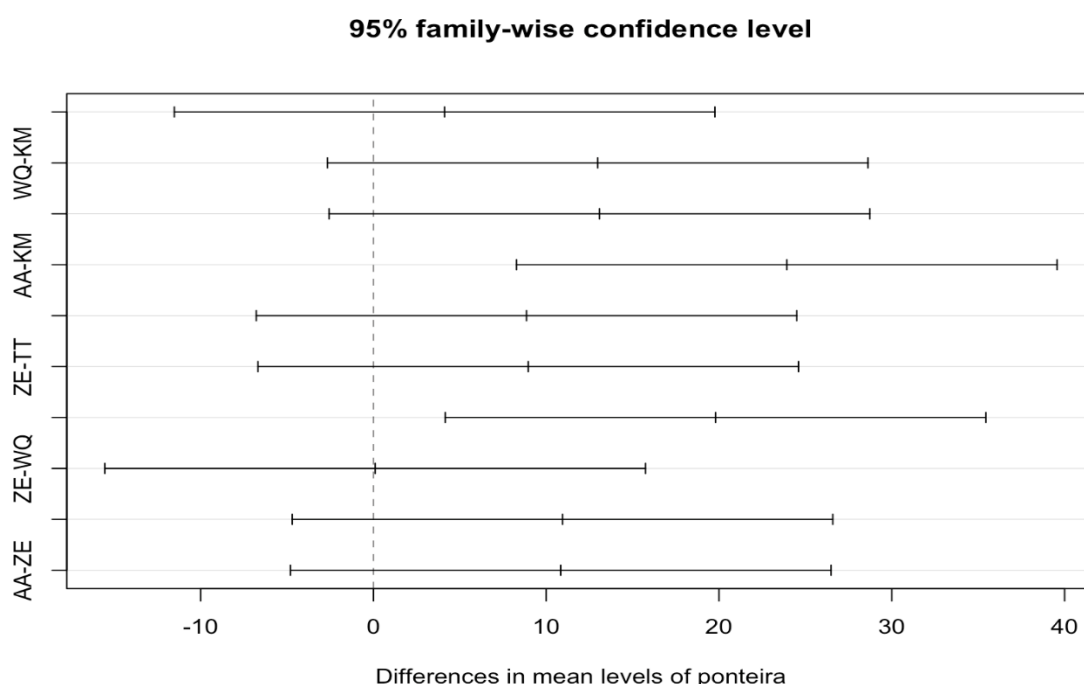


Figura 6 – Diferenças de Tukey para aspereza

FONTE: Os autores, 2018

No sétimo PDSA foi conduzido um experimento fatorial fracionado para identificar o melhor setup da máquina. Foram considerados os fatores: velocidade do torno, avanço da

ponteira, pressão na placa, pressão do líquido refrigerante, concentração do líquido refrigerante, distância da guia, ângulo da ponteira. Parâmetros aferidos no experimento: variação no diâmetro (chamado de Amplitude), Riscos e Arestas. Por restrições de tempo na execução do projeto, foi realizado um experimento com 8 variações, a 7 fatores, sendo um experimento de resolução III. As dimensões consideradas para cada fator encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 – Fatores avaliados no Experimento Fatorial

DMAIC	Velocidade	Avanço	Pressão (placa)	Pressão (líquido)	Distância da guia	Ângulo da ponteira
(+)	750	15	75	70	0.08	60
(-)	250	12	45	20	0.07	30

Fonte: Os autores, 2018

O experimento identificou que o melhor setup para a usinagem é: Velocidade do torno - 750, Avanço da ponteira - 15, Pressão na Placa - 75, Pressão do líquido refrigerante - 70, Distância da guia: 0.08, ângulo da ponteira: 30°. Tal configuração contribui para a redução na variabilidade do diâmetro, e reduz a presença de riscos e arestas.

O oitavo PDSA contemplou a implementação dos ajustes identificados nas etapas anteriores. Para aferir se as mudanças caracterizaram uma melhoria do processo, novas avaliações da Capabilidade do processo e de sua estabilidade. Conforme observado nas figuras 7 e 8, tanto para o diâmetro quanto para o risco, os processos se tornaram capazes. No caso do diâmetro, enquanto o processo agora se encontra dentro da especificação determinada, ainda há espaço para melhoria, visto que seu **Cpk** ainda é inferior a 1,33. As cartas de controle para os demais itens não foram incluídas por não apresentarem fatores relevantes.

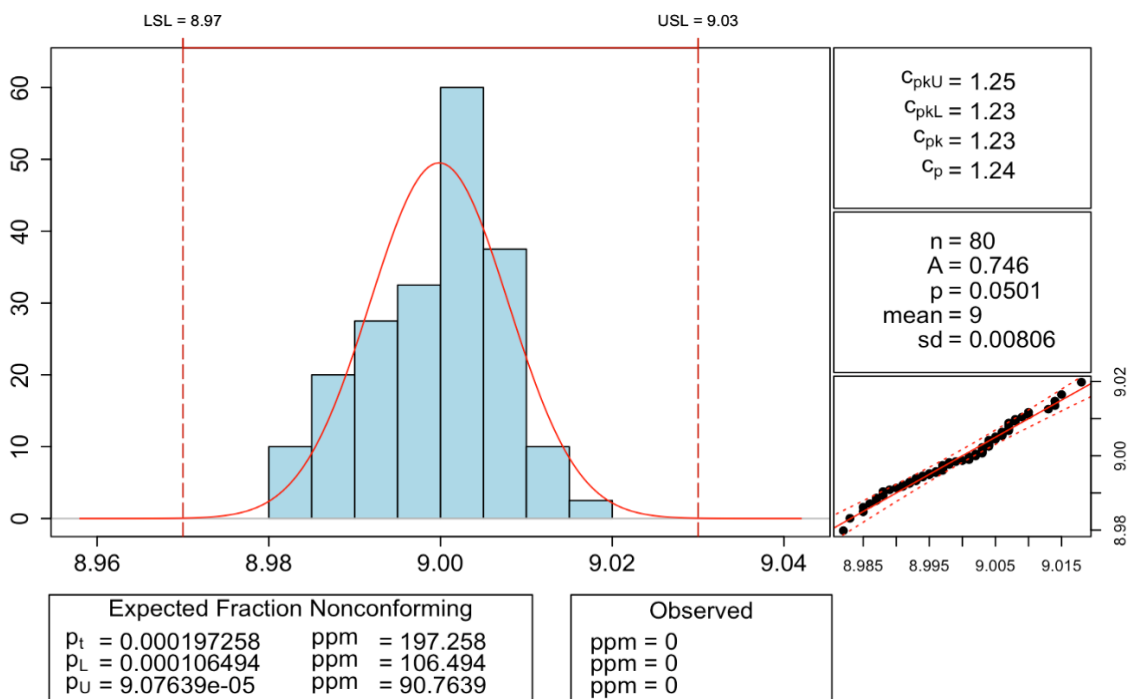


Figura 7 – Capabilidade do Processo: Diâmetro (após melhorias)

FONTE: Os autores, 2018

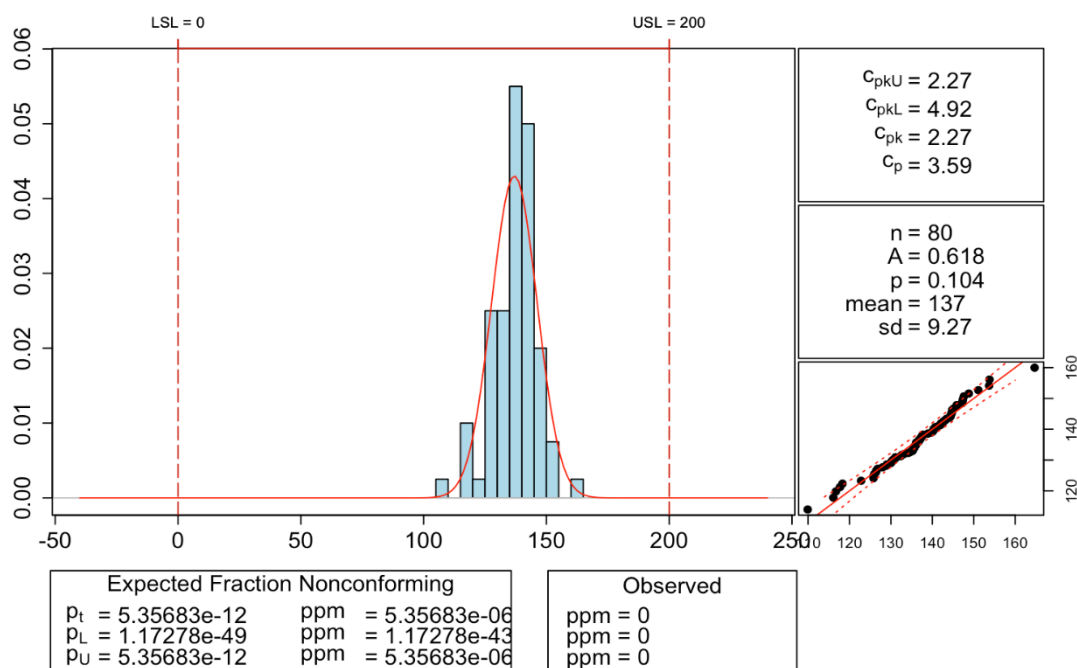


Figura 8 – Capabilidade do Processo: Aspereza (após melhorias)

FONTE: Os autores, 2018

Resultados e Discussão

A realização do projeto restabeleceu a produtividade e calibrou os processos para atenderem as especificações do cliente. Além de determinar o setup mais adequado para a usinagem das peças, foram identificadas a matéria-prima e ponteira mais apropriadas para o processo.

O outro objetivo, de empregar a linguagem de programação **R** para as análises necessárias, também foi atendido. Foram identificados 11 pacotes para produzir as avaliações necessários no decorrer do projeto. As Cartas de Controle foram feitas com o pacote **qcc** (SCRUCCA, 2004). O pacote **SixSigma** (CANO, MOGUERZA e REDHCUK, 2012; CANO, MOGUERZA e CORCOBA, 2015) foi empregado para a condução do Gage R&R e para a produção do Diagrama de Ishikawa. O pacote **qualityTools** (ROTH, 2016) foi utilizado para análises de Linearidade e Capabilidade. Para a realização do Experimento Fatorial Fracionado solicitado pelo projeto, foi empregado o pacote **FrF2** (GRÖMPING, 2014). Para as análises estatísticas (ANOVA, teste *t*, Diferenças de Tukey, Testes de Levene e de Anderson-Darling) foram utilizados os pacotes **stats** (R CORE TEAM, 2017), **car** (FOX e WEISBERG, 2011), e **nortest** (GROSS E LIGGES, 2015). O pacote **mosaic** permitiu expandir a sintaxe do teste *t* (PRUIM, KAPLAN e HORTON, 2017). Para avaliar as regressões lineares associadas às ANOVAS realizadas no projeto, foi empregada a função **coeftest** do pacote **lmtest** (ZEILEIS e HOTHORN, 2002). O pacote **purrr** (HENRY e WICKHAM, 2017) foi usado para facilitar a execução de certas etapas. Os dados foram obtidos em uma única planilha de Excel e lidos com o pacote **openxlsx** (WALKER, 2017). A tabela 3 apresenta um resumo dos pacotes e das respectivas funcionalidades empregadas.

Tabela 3 – Relação de pacotes e funcionalidades empregados

Pacote	Funcionalidade
<i>qcc</i>	Cartas de controle
<i>SixSigma</i>	Gage R&R, Diagrama de Ishikawa
<i>qualityTools</i>	Análise de Linearidade, Análise de Capabilidade
<i>FrF2</i>	Experimento fatorial (DOE), Half Normal Plot, Gráfico de Interações
<i>stats</i>	Diferenças Significantes Honestas de Tukey, regressão linear, ANOVA, teste <i>t</i>
<i>car</i>	Teste de Levene
<i>nortest</i>	Teste de Anderson-Darling
<i>purrr</i>	Programação funcional
<i>openxlsx</i>	Leitura de arquivos Excel
<i>lmtest</i>	Avaliação de regressões lineares
<i>mosaic</i>	Sintaxe para teste <i>t</i>

Fonte: Os autores, 2018

Conclusão

O emprego da metodologia DMAIC para a estruturação do projeto permitiu que fossem conduzidas as análises necessárias nos momentos adequados, dentro do escopo proposto, e em consonância com a literatura.

Também ficou clara a viabilidade do uso da linguagem **R** como ferramenta para realização de projetos *Lean Six Sigma*, uma vez que os pacotes empregados possuem as ferramentas necessárias para as análises realizadas em cada etapa do projeto. Adiciona-se também que a manutenção de um código bem escrito, comentado e com uma documentação de apoio adequada pode auxiliar profissionais e pesquisadores na reprodução de experimentos, bem como entender decisões passadas.

Há algumas limitações, pontuais, no que tange o emprego do **R** para realizar certas análises, decorrente de limitações de alguns pacotes:

- Enquanto o pacote **qualityTools** (ROTH, 2016) oferece funções para a realização de experimentos, o uso desta funcionalidade destas neste projeto resultou em erro. Até o momento de produção deste artigo, não foi possível identificar o que exatamente causa o erro. Portanto, recomenda-se o uso do pacote **FrF2** (GRÖMPING, 2014).
- O pacote **qcc** (SCRUCCA, 2004) não gera a carta I-MR, sendo necessário uma linha de código manipulando o *dataframe* para a produção da carta. Apesar da implementação no pacote **SixSigma** (CANO, MOGUERZA e REDHCUK, 2012; CANO, MOGUERZA e CORCOBA, 2015), esta última não apresenta a variedade de informações que o pacote **qcc** gera em suas cartas de controle.

Referências

- American Society for Quality (ASQ). Six Sigma Definition - What is Six Sigma? 2018. Disponível em: < <http://asq.org/learn-about-quality/six-sigma/overview/overview.html> >. Acesso em: 12 fev. 2018.
- BORROR, C. M. **The Certified Quality Engineer Handbook**. 3. ASQ Quality Press: Wisconsin, 2009.
- CANO, L. E.; MOGUERZA, J. M.; REDCHUK, A. **Six Sigma with R**. Springer: New York, 2012.
- CANO, L. E.; MOGUERZA, J. M.; CORCOBA, M.P. **Quality Control with R**. Springer: New York, 2015.
- CHILELLI, P. G. F. **Aplicação da metodologia Seis Sigma na manutenção preventiva da Ferramenta Tree Running Tool**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Fluminense, Rio das Ostras, 2017.
- Evolution of the PDCA cycle. **MOEN, R., & NORMAN, C.**, 2006. Disponível em < http://www.uoc.cw/financesite/images/stories/NA01_Moen_Norman_fullpaper.pdf >. Acesso em 15 mar. 2018.
- FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} Companion to Applied Regression**, 2. Thousand Oaks CA: Sage, 2011.
- FRANCHETTI, M. J. **Lean Six Sigma for Engineers and Managers: With Applied Case Studies**. CRC Press, 2015.



GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma for Service**. McGraw Hill, 2003.

GRÖMPING, U. R Package FrF2 for Creating and Analyzing Fractional Factorial 2-Level Designs. **Journal of Statistical Software**, v.56, n.1, p.1-56, 2014.

GROSS, J.; LIGGES, U. nortest: Tests for Normality. R package version 1.0-4. 2015. Disponível em < <https://CRAN.R-project.org/package=nortest> >. Acesso em 19 mar. 2018.

HENRY, L.; WICKHAM, H. purrr: Functional Programming Tools. R package version 0.2.4. 2017. Disponível em < <https://CRAN.R-project.org/package=purrr> >. Acesso em 11 mar. 2018.

LEVINE, M. D. **Statistics For Six Sigma Green Belts with Minitab and JPM**. Prentice Hall: New Jersey, 2006

MARQUES, P. A., & REQUEIJO, J. G. (2009, April). SIPOC: A Six Sigma tool helping on ISO 9000 quality management systems. In XIII Congreso de Ingeniería de Organización (pp. 1229-1238).

PRUIM, R.; KAPLAN, D. T. ; HORTON, N. J. The mosaic Package: Helping Students to 'Think with Data' Using R. **The R Journal**, v.9, n.1, p.77-102, 2017.

PULAKANAM, V; VOGES, KEVIN E. Adoption of Six Sigma: review of empirical research. **International Review of Business Research Papers**, n.6, v.5, p149-163, 2010.

PYZDEK, T. **The Six Sigma Hand Book**. McGraw Hill, 2003.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em 20 mar. 2018.

ROTH, Thomas. qualityTools: Statistics in Quality Science. R package version 1.55. 2016. Disponível em < <http://www.r-qualitytools.org> >. Acesso em 10 mar 2018.

SCRUCCA, L. qcc: an R package for quality control charting and statistical process control. **R News** v.4, n.1, p.11-17, 2004.

WALKER, A. openxlsx: Read, Write and Edit XLSX Files. R package version 4.0.17. 2017. Disponível em < <https://CRAN.R-project.org/package=openxlsx> >. Acesso 19 mar. 2018.

ZEILEIS, A.; HOTHORN, T. Diagnostic Checking in Regression Relationships. **R News** v.2, n.3, p.7-10, 2002.

Anexo

Gist contendo o código empregado neste
artigo: <https://gist.github.com/souzapd/667bce0f72c8492218ce63040133f8d8>