

# APLICAÇÃO DAS ETAPAS DEFINIR E MEDIR DO ROADMAP DMAIC PARA UM EXEMPLO DIDÁTICO DE PROJETO SEIS SIGMA

**Rogério Santana Peruchi (UNIFEI)**  
rogerioperuchi@unifei.edu.br

**Pedro Paulo Balestrassi (UNIFEI)**  
ppbalestrassi@gmail.com

**Michele de Santana Carmelossi (UNIFEI)**  
m.i.c.h.e.l.e@hotmail.com

**Paulo Roberto Maia (UNIFEI)**  
prmmaia2012@gmail.com



*O objetivo deste artigo é apresentar um exemplo didático de como conduzir um projeto Seis Sigma usando o roadmap DMAIC. Uma contribuição importante desta pesquisa é a elaboração de um projeto que pode ser utilizado no treinamento dos Green Belts e Black Belts. Este artigo apresenta a parte inicial de um projeto Seis Sigma envolvendo as etapas Definir e Medir do DMAIC. Foram definidas as características críticas para a qualidade, os stakeholders e o business case do projeto. Em seguida, foi avaliada a capacidade do sistema de medição, assim como a capacidade do processo atual para definir os objetivos de desempenho do projeto. Foi observado que o processo está incapaz de produzir dentro das especificações do cliente. Nas condições atuais espera-se produzir acima de 85% de defeitos por milhão para as características da qualidade do projeto. As etapas remanescentes Analisar, Melhorar e Controlar do roadmap DMAIC para este caso fictício serão abordadas no próximo artigo.*

*Palavras-chaves: Seis Sigma, Repetitividade e Reprodutividade, Controle Estatístico de Processo, Planejamento de Experimentos*

## 1. Introdução

Melhoria da qualidade tem se tornado uma importante estratégia de negócio para muitas organizações incluindo manufatura, serviços logísticos, organizações de serviços financeiros, fornecedores de serviços de saúde e agências governamentais. Seis sigma é uma abordagem disciplinada, orientada a projetos e com base estatística para reduzir variabilidade, remover defeitos e eliminar desperdícios de produtos, processos e serviços (MONTGOMERY e WOODALL, 2008). Há diversos trabalhos publicados sobre Seis Sigma aplicado a manufatura, tais como: semicondutores (SU e CHOU, 2008), automotivo (KUMAR et al., 2007), aeroespacial (MALEYEFF e KRAYENVENGER, 2004), químico (MOTWANI et al., 2004), software (HONG e GOH, 2003), aço (SARKAR, 2007) e alumínio (DAS e HUGHES, 2006). Além disso, existem publicações para o setor de serviços: saúde (VAN DEN HEUVEL et al., 2006), governamental (FURTERER e ELSHENNAWY, 2005), bancário (IMMANENI et al., 2007) e educação (THAKKAR et al., 2006).

A exemplo dos trabalhos de Rasis et al. (2002) e Johnson et al. (2006) o objetivo deste artigo é apresentar um exemplo didático de como conduzir um projeto Seis Sigma usando o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). O método de pesquisa utilizado neste trabalho é o experimental e as etapas para condução da pesquisa estão inseridas no *roadmap* DMAIC que será apresentado na próxima seção. O planejamento experimental foi definido baseado no trabalho de Box (1992). Uma contribuição importante desta pesquisa é a elaboração de um exemplo didático de projeto que pode ser utilizado no treinamento dos Green Belts e Black Belts. Este artigo apresenta a parte inicial de um projeto Seis Sigma envolvendo as etapas Definir e Medir do *roadmap* DMAIC.

As próximas seções estão estruturadas como segue. A seção 2 apresenta a origem e definição do Seis Sigma, o sistema Belt de treinamento e o *roadmap* DMAIC. A seção 3 mostra a aplicação dos passos referente às etapas Definir e Medir do *roadmap* para um caso fictício. Por fim, a seção 4 trata das principais conclusões envolvendo a situação atual do projeto.

## 2. Seis Sigma e o *roadmap* DMAIC

Bill Smith, um engenheiro da Motorola, desenvolveu o programa Seis Sigma como uma forma de atender as necessidades de melhoria da qualidade e redução de defeitos em seus produtos. Bob Galvin, CEO da Motorola, ficou impressionado com os resultados de sucesso desta metodologia e decidiu aplicar o Seis Sigma com foco nos processos de manufatura. Entre 1987 e 1994 foi alcançada uma redução de 94% dos defeitos em semicondutores (MONTGOMERY e WOODALL, 2008). Empresas como a Allied Signal, IBM e General Electric adotaram o Seis Sigma como requisito corporativo para as operações estratégicas e táticas para produzir resultados de alto nível, melhorar processos de trabalho, ampliar as competências dos trabalhadores e mudança cultural (ABOELMAGED, 2010).

Linderman et al. (2003) trataram da necessidade de uma definição comum para Seis Sigma. Os autores propuseram que Seis Sigma é um método organizado e sistemático para a melhoria do processo estratégico e desenvolvimento de novos produtos e serviços que se baseia em métodos estatísticos e científicos para fazer reduções drásticas nas taxas de defeitos definidos pelo cliente. Adicionalmente a esta definição, Brady e Allen (2006), destacaram dois princípios, retorno financeiro dos projetos e formação de não estatísticos no uso profissional das ferramentas com um mínimo de teoria.

O Seis Sigma utiliza uma variedade de especialistas em melhoria para alcançar suas metas, frequentemente referidos como Black Belts (BBs), Master Black Belts (MBBs), Green Belts (GBs) e Champions. BBs trabalham *full-time* na condução de projetos de melhoria e geralmente recebem 4 semanas de treinamento. MBBs recebem mais treinamento e muitas

vezes servem como instrutores e consultores internos. GBs trabalham *part-time*, recebem menos treinamento (2 semanas) e auxiliam os BBs nos projetos de melhoria. Finalmente, o Champion é quem identifica os projetos importantes estrategicamente para as equipes de melhoria e fornecem recursos para a condução do projeto. O Champion recebe apenas uma orientação sobre Seis Sigma ao invés de um treinamento detalhado. Como pode ser visto, a intensidade e o treinamento diferenciado é uma parte importante da abordagem Seis Sigma (LINDERMAN et al., 2003; SCHROEDER et al., 2008; ABOELMAGED, 2010).

De acordo com Montgomery e Woodall (2008), os projetos Seis Sigma, geralmente, têm duração de 4-6 meses e são selecionados de acordo com o potencial impacto nos negócios. Melhoria da qualidade e do negócio via projetos tiveram sua origem com Joseph Juran, que sempre estimulou a abordagem projeto-a-projeto para melhorar a qualidade (ver JURAN, 1998). O impacto do projeto deve ser avaliado, pelo departamento financeiro da empresa, em termos de seus benefícios financeiros para o negócio. Obviamente, projetos com grandes potenciais de impacto são mais desejáveis. Esta integração dos sistemas financeiros é uma prática padrão do Seis Sigma e deve ser parte do projeto DMAIC.

Os trabalhos que usaram o DMAIC, citados na seção anterior, apresentam algumas divergências de definições de alguns conceitos, estrutura das fases e dos passos do projeto, assim como as ferramentas utilizadas em cada fase. Alguns autores (DE MAST et al., 2000; DE MAST, 2003; DE MAST 2004; DE KONING e DE MAST, 2005) avaliaram a cientificidade dos principais *roadmaps* usados em Seis Sigma para projetos de melhoria. Os trabalhos destes autores resultaram no trabalho de De Koning e De Mast (2006), que consiste na reconstrução racional do *roadmap* Seis Sigma. Com base no estudo destes autores, neste artigo será adotado o *roadmap* genérico descrito na Tabela 1.

Passos	Descrição	Foco
D1	Identificar e mapear processo relevante	
D2	Identificar stakeholder	
D3	Determinar e priorizar necessidades e requisitos dos clientes	
D4	Fazer um business case para o projeto	
M1	Selecionar um ou mais CTQs	Ys
M2	Determinar definição operacional para CTQs	Ys
M3	Validar sistema de medição dos CTQs	Ys
M4	Avaliar a capacidade do processo atual	Ys
M5	Definir objetivos	Ys
A1	Identificar potenciais fatores de influência	Xs
A2	Selecionar os poucos vitais fatores de influência	Xs
I1	Quantificar o relacionamento entre Xs e CTQs	Xs e Ys
I2	Definir ações para modificar o processo ou configuração dos fatores influentes de modo que os CTQs sejam otimizados	Xs e Ys
I3	Conduzir teste piloto das ações de melhoria	Xs e Ys
C1	Determinar à nova capacidade do processo	Ys
C2	Implementar plano de controle	Xs

Fonte: De Koning e De Mast, 2006.

Tabela 1 – *Roadmap* DMAIC

A etapa definir de um projeto Seis Sigma/DMAIC consiste basicamente em selecionar o problema a ser resolvido, avaliar seu impacto no consumidor e potenciais benefícios que o projeto pode proporcionar. A etapa seguinte de medição tem objetivo de traduzir o problema para uma forma mensurável e, em seguida, medir a situação atual. A etapa analisar identifica os fatores de influência e causas que determinam o comportamento dos CTQs (*Critical to Quality*). Na etapa de melhoria o objetivo é definir e implementar ajustes ao processo para

melhorar o desempenho dos CTQs. Por fim, a etapa controlar ajusta o gerenciamento do processo e sistema de controle para que as melhorias alcançadas sejam mantidas.

### 3. Aplicação do roadmap DMAIC

A empresa Papercópteros do Brasil S.A. fabrica helicópteros de papel mundialmente conhecidos pela sua qualidade e estabilidade de voo. As aeronaves produzidas pela empresa proporcionam aos seus proprietários bons períodos de diversão e descontração. O Tuiuiu Papercóptero é a aeronave que apresenta a maior rentabilidade para a empresa, além de ser a versão mais completa das disponíveis para venda. Desta forma, a mesma é de grande importância para os negócios da empresa. A Figura 1 mostra a construção atual da aeronave.

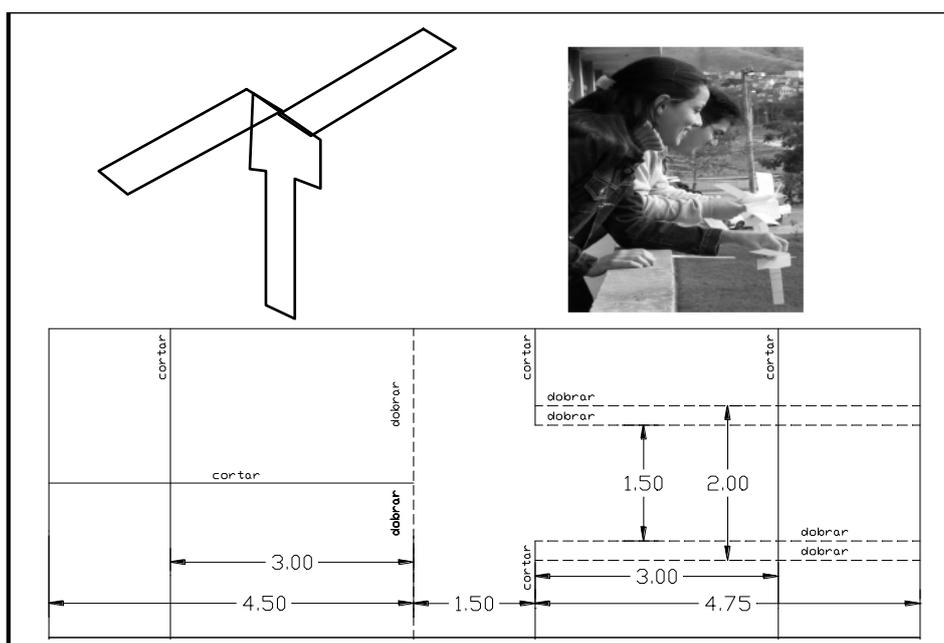


Figura 1 – Tuiuiu Papercóptero

#### 3.1 Etapa Definir

Passo D1, identificar e mapear processo relevante. Infelizmente a empresa Papercópteros do Brasil S.A. vem recebendo algumas reclamações do seu principal cliente, a Air France. Ela alega que o modelo Tuiuiu não vem apresentando bons resultados durante o seu voo. Esta insatisfação do cliente resultará em um declínio na previsão das vendas para o próximo ano (Fig. 2). O cliente afirma que se suas exigências não forem atendidas, a partir de setembro do próximo ano a Air France passará a não comprar a aeronave Tuiuiu.

A missão da Papercópteros do Brasil S.A. é “Fabricar helicópteros de papel de excelente qualidade e estabilidade de voo, com intuito de satisfazer nossos clientes, colaboradores e acionistas”. Para completar essa missão a Papercópteros estabeleceu os Objetivos e Indicadores do Negócio, resultando em alguns Potenciais Projetos Seis Sigma. Os potenciais projetos Seis Sigma mostrados na Tabela 2 são apresentados agora em uma matriz tipo QFD (*Quality Function Deployment*) (Tabela 3) a qual determinará o projeto de maior importância para a alta administração. Segundo Rasis et al. (2002), os pesos dos objetivos do negócio são determinados pelo Departamento de Finanças. Já os pesos dos projetos Seis Sigma, em relação aos objetivos do negócio, obedecem ao seguinte critério: 0: sem relacionamento, 1: fraco, 3: moderado e 9: forte.

Analisando a Tabela 3, o projeto mais crítico, relacionado aos objetivos do negócio, é o “Projeto para melhorar o desempenho do produto”. A Tabela 4 apresenta o diagrama SIPOC (Fornecedor – *Suppliers*, Entradas – *Inputs*, Processo – *Process*, Saídas – *Outputs*, Cliente – *Client*) com um fluxograma do processo que envolve o projeto selecionado.

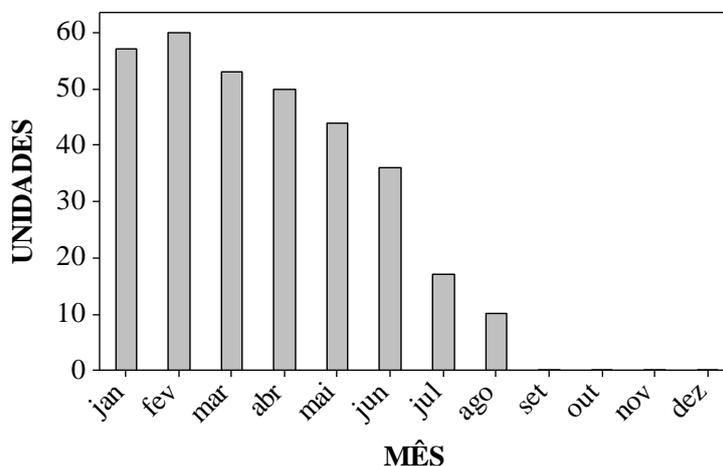


Figura 2 – Previsão de vendas para o próximo ano

<b>Presidente</b>		<b>Diretor do Departamento</b>		<b>Potenciais Projetos Seis Sigma</b>
<b>Objetivos do negócio</b>	<b>Indicadores do negócio</b>	<b>Objetivos da área</b>	<b>Indicadores da área</b>	
Desenvolver novos produtos	Nº de novos produtos/mês	Criar novos produtos	Nº de novos produtos/mês	Desenvolvimento de novos produtos
Eliminar reclamação dos empregados	Nº de reclamações /mês	Eliminar reclamações no departamento	Nº de reclamações /mês	Aumento da moral dos empregados
Aumentar satisfação dos clientes	Vendas/mês	Melhorar desempenho do produto	Ordens de serviço/mês	Otimização do desempenho do produto

Tabela 2 – Objetivos e Indicadores do Negócio com Potenciais Projetos Seis Sigma

<b>Objetivos do negócio</b>	<b>Peso</b>	<b>Desenvolvimento de novos produtos</b>	<b>Aumento da moral dos empregados</b>	<b>Otimização do desempenho do produto</b>
Aumentar nº de vendas	0,5	9	0	9
Eliminar reclamações	0,1	3	9	1
Aumentar satisfação dos clientes	0,4	3	3	9
<b>Peso Médio dos Projetos</b>		<b>6,0</b>	<b>2,1</b>	<b>8,2</b>

Tabela 3 – Priorização dos Projetos Seis Sigma

<b>Fornecedores</b>	<b>Entradas</b>	<b>Processo</b>	<b>Saídas</b>	<b>Cliente</b>
Xerox	Papel	Selecionar papel	Tuiuiu Papercóptero	Air France
		↓		
		Recortar corpo		
Ibix	Clipe	↓		
		Recortar asas		
		↓		
		Dobrar corpo e asas		
Nóis na Fita	Fita	↓		
		Levar à expedição		

Tabela 4 – SIPOC com fluxograma do processo

Passo D2, identificar stakeholder. Após analisar o impacto de vários clientes na receita da empresa, verificou-se que o seu principal cliente é a Air France, sendo este cliente o que merece atenção especial pela Papercópteros do Brasil S.A.

Passo D3, determinar e priorizar necessidades e requisitos dos clientes. Definido o cliente, agora é necessário identificar os requisitos e as necessidades do cliente. Atualmente, a Papercópteros encontra-se em uma fase de terrível descrédito junto a Air France. Ela reclama que os Tuiuiu Papercópteros produzidos estão caindo muito rápido e com péssima precisão em relação a um alvo fixo. Com esta informação, a necessidade do cliente desempenho de vôo foi traduzida em requisitos do cliente como tempo de vôo e distância ao alvo.

Passo D4, fazer um *business case* para o projeto. *Justificativa para escolha do projeto*: o projeto Seis Sigma selecionado é o de melhoria no desempenho de vôo da aeronave Tuiuiu. O gráfico de previsão de vendas para próximo ano (Fig. 2) evidencia a urgência em se fazer o projeto naquele momento. O presidente, preocupado com a atual situação da empresa, convocou uma reunião para tratar deste assunto crucial para a sobrevivência do seu negócio. A importância de encontrar a solução para o problema foi explicado pelo presidente, em Arial 18 e negrito vermelho, nas seguintes palavras: “Nossa empresa irá à falência se não melhorarmos o desempenho de vôo das aeronaves. A equipe que resolver o problema será promovida e as que tiverem desempenho pífio irão ficar disponíveis no mercado!”.

*Descrição do problema*: nos últimos 6 meses, quase 100% dos Tuiuiu Papercópteros produzidos não atenderam aos novos requisitos do nosso principal cliente. Atualmente, o tempo médio de vôo é de *1,7 segundos*, enquanto que a distância ao alvo tem média de *40,5 centímetros*. O cliente deseja tempo de vôo acima de *3 segundos* e distância ao alvo inferior a *20 centímetros*. É necessário nos adequarmos com essas exigências para não afetar negativamente as relações com nosso principal cliente. *Descrição do objetivo*: reduzir em 90% os DPM (defeitos por milhão) dos CTQs do projeto em um prazo de 4 meses.

*Escopo*: O Projeto para Melhorar o Desempenho do Produto envolverá o Departamento de Projeto e Desenvolvimento, o qual deverá promover alterações no projeto do Tuiuiu Papercóptero. Uma planilha de dados financeiros foi revelada com os custos associados à produção das aeronaves. Custo de construção de cada aeronave: *R\$100.000,00*. Custo de cada teste de vôo: *R\$10.000,00*. O presidente deixou claro que haveria restrições orçamentárias para o desenvolvimento da pesquisa. Para análise da situação inicial das aeronaves foi disponibilizado *R\$650.000,00*. O orçamento destinado a realização de experimentos para encontrar a solução do problema do projeto é de *R\$2.200.000,00*. Para conduzir um teste piloto e avaliar as melhorias sugeridas no projeto, um orçamento de *R\$650.000,00*.

*Cronograma*: foi estabelecido um cronograma com a previsão para o cumprimento das etapas do projeto Seis Sigma na Tabela 5. *Equipe*: As equipes não deverão ser formadas apenas pelas pessoas que estão disponíveis e interessadas no projeto. As pessoas escolhidas deverão ser as mais qualificadas para o trabalho e que tenham o impacto mais direto sobre os objetivos estratégicos do projeto em questão. A equipe FlyBoys é constituída por: Uóshito (Champion), Sugiro (MBB), Montanildo (BB), Internétio e Rolando Lero (GB).

Semana	Março				Abril				Maio				Junho				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Definir	X	X	X	X													
Medir					X	X	X										
Analisar								X	X	X	X						
Melhorar												X	X	X	X		
Controlar																X	X

Tabela 5 – Cronograma das atividades do projeto

*Potenciais benefícios do projeto:* de acordo com a Fig. 2, o cliente Air France pretende retirar a empresa Papercópteros do Brasil S.A. de sua cadeia de suprimentos. Logo, o potencial benefício deste projeto para a Papercópteros envolve a retomada das relações de fornecimento com a Air France através da melhoria do desempenho das aeronaves Tuiuiu.

### 3.2 Etapa Medir

Passo M1, selecionar um ou mais CTQs. Foram identificados apenas dois CTQs, logo, não será necessário utilizar QFD para encontrar, dentre várias possibilidades, os CTQs mais impactantes no projeto. Assim, de acordo com o Passo D3, as características críticas da qualidade são tempo de voo (CTQ<sub>1</sub>) e distância ao alvo (CTQ<sub>2</sub>).

Passo M2, determinar definição operacional para CTQs. A definição operacional para cada CTQ do projeto será definida de acordo com o teste de voo. *Teste de voo:* Os Tuiuius (Elemento Peça – EP) atuais são construídos utilizando-se tesoura e papel (cor verde, formato A4 e gramatura 90), de acordo com a Fig. 1. Para o teste de voo deverá haver um soltador e dois cronometristas (Elemento Medidor – EM). Baseando-se no princípio de que as pessoas conseguem cantar juntas, é possível que elas consigam contar juntas 1, 2, 3 e já. Depois de um pouco de treinamento o soltador e os cronometristas conseguem facilmente harmonizar as suas tarefas. A aeronave será segurada ao meio de seu corpo quando for solta. O soltador deverá soltar a aeronave a uma altura de 3 m, perpendicularmente acima do alvo fixado ao chão. Os cronometristas, além de cronometrar o tempo com relógio digital, deverão medir a distância da aeronave em relação ao alvo com uma trena de resolução de 1 cm. A medição desta distância será tomada, assim como na maneira de soltar a aeronave, pelo meio de seu corpo até o centro do alvo fixo. As definições operacionais para os CTQs do projeto foram determinadas através das exigências do cliente. O CTQ<sub>1</sub> será conforme se assumir valores acima de 3 segundos e o CTQ<sub>2</sub> se assumir valores inferiores a 20 cm.

Passo M3, validar sistema de medição dos CTQs. A equipe conduziu um estudo de repetitividade e reprodutividade (R&R) para validar o sistema de medição utilizado. A coleta dos dados referente à construção atual das aeronaves deverá respeitar a restrição orçamentária (R\$ 650.000,00) para esta etapa do projeto. Sendo assim, 5 aeronaves serão construídas e 3 testes serão conduzidos para cada uma delas, totalizando 15 testes de acordo com a Tabela 6 (5 x R\$ 100.000,00 + 15 x R\$ 10.000,00 = R\$ 650.000,00).

EP	EM	Teste	CTQ <sub>1</sub>	CTQ <sub>2</sub>	Teste	CTQ <sub>1</sub>	CTQ <sub>2</sub>	Teste	CTQ <sub>1</sub>	CTQ <sub>2</sub>
1.1	A	1	2,00	15	6	1,99	18	11	1,95	16
1.1	B	1	1,99	16	6	1,97	17	11	1,96	17
1.2	A	2	1,60	30	7	1,59	33	12	1,61	33
1.2	B	2	1,63	31	7	1,62	31	12	1,62	34
1.3	A	3	1,80	39	8	1,80	42	13	1,79	43
1.3	B	3	1,78	40	8	1,79	40	13	1,82	41
1.4	A	4	1,40	65	9	1,45	62	14	1,40	63
1.4	B	4	1,42	66	9	1,44	64	14	1,43	61
1.5	A	5	1,70	48	10	1,69	51	15	1,73	50
1.5	B	5	1,72	50	10	1,71	52	15	1,71	49

Tabela 6 – Dados do estudo de repetitividade e reprodutividade

A partir da Figura 3 e do *p-value* da ANOVA de um estudo R&R, obtidos pelo software MINITAB, pode-se analisar o sistema de medição em relação ao CTQ<sub>1</sub> (tempo de voo) e dizer se ele é aceitável. O gráfico “CTQ<sub>1</sub> x EP”, assim como o *p-value*=0,000, nos fornece a informação de que as aeronaves são consideradas estatisticamente diferentes. O gráfico “CTQ<sub>1</sub> x EM”, assim como o *p-value* = 0,232, evidencia o fato de que os dois cronometristas são capazes de apresentarem a mesma medição para uma mesma aeronave. O paralelismo apresentado no gráfico “EP\*EM Interação”, assim como o *p-value*=0,605, afirma que não há interação entre cronometrista e aeronave avaliada. Como os pontos do gráfico “Amplitude x EM” estão abaixo do limite superior de controle, pode-se concluir que a variabilidade está sob controle. Observando o gráfico “Xbar x EM” pode-se ter a impressão de estar fora de controle. Uma vez que os EP são diferentes é errado ter esse tipo de conclusão. A informação que se pode obter é que o padrão apresentado pelo gráfico condiz com as análises anteriores, ou seja, os EPs são significativamente diferentes e os EMs são similares. Já o gráfico “Componentes de Variação”, assim como o índice %R&R=8,18%, afirma que o processo de medição é aceitável. O estudo R&R apresenta número de categorias distintas igual a 17, reforçando a aceitação do sistema de medição. A análise do processo de medição em relação ao CTQ<sub>2</sub> é análoga a do CTQ<sub>1</sub>. Neste caso os *p-values* serão diferentes, mas as conclusões serão semelhantes. O sistema de medição que mede o CTQ<sub>2</sub> foi classificado como aceitável (%R&R=8,54%) e número de categorias distintas de 16.

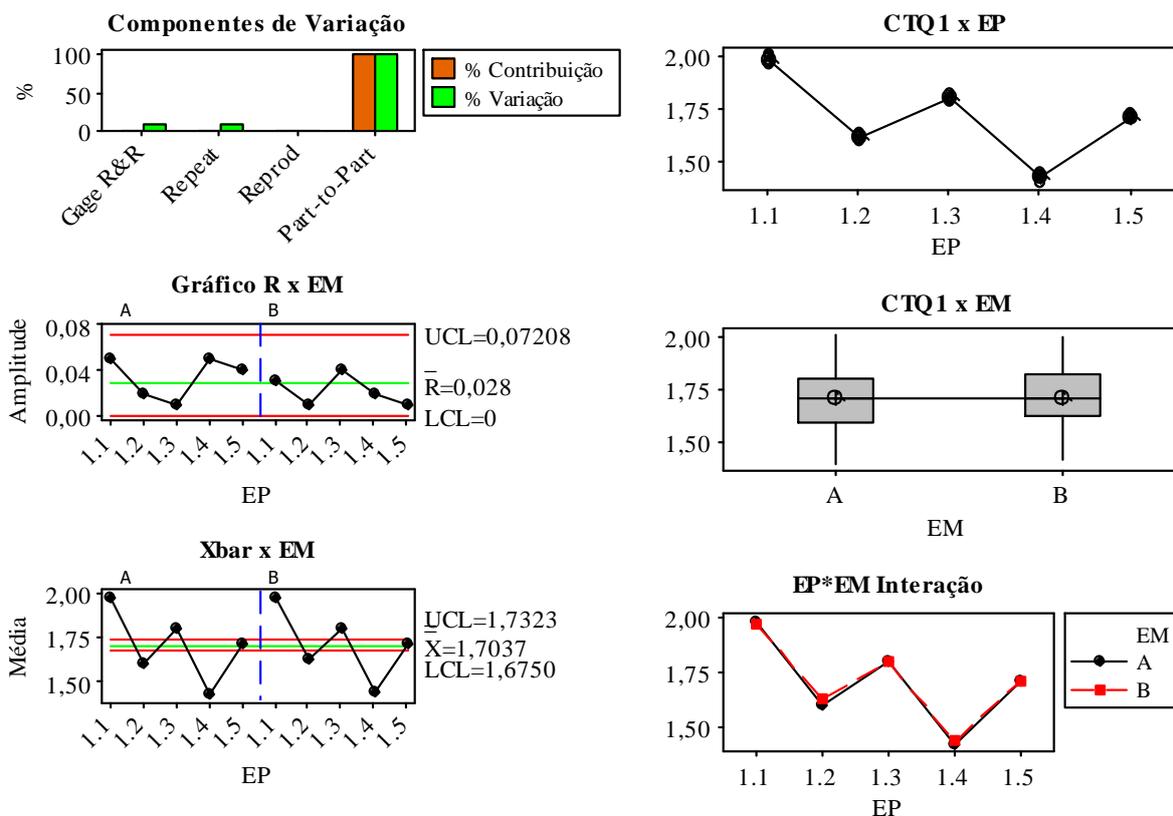


Figura 3 – Gráficos do estudo R&R para o CTQ<sub>1</sub>

Passo M4, avaliar a capacidade do processo atual. Os dados do cronometrista A na Tabela 6 serão utilizados para estudar o baseline do processo atual. A Figura 4 auxiliará no entendimento do processo em relação ao CTQ<sub>1</sub>, estudando sua estabilidade e capacidade. Antes de avaliar a capacidade do processo é necessário entender se o processo está sob controle. O gráfico “Individuais” indica que as observações individuais dos dados estão sob controle. Já o gráfico “Amplitude Móvel” indica que a variação das observações está sob controle. O gráfico “Últimas 15 Observações” mostra que os dados estão aleatoriamente distribuídos em torno da média do processo. O gráfico “Histograma” apresenta os dados distribuídos em torno da média 1,7 e que, apesar dos dados estarem sob controle, a capacidade do processo não está satisfatória (limite inferior de especificação,  $LIE=3$ ). O processo atual está incapaz de atender ao requisito do cliente, ou seja, produzir aeronaves que proporcionem tempos de voo superiores a 3s. O gráfico “Probabilidade Normal”, assim como o teste de Anderson-Darling, avaliam se os dados estão normalmente distribuídos. O  $p$ -value=0,622 e o teste  $AD=0,271$  sugerem que os dados estão normalmente distribuídos. Comparando os intervalos *Within* e *Overall* do gráfico “Capabilidade” com o intervalo de especificação (*Specs*), pode-se concluir que o processo atual está produzindo aeronaves fora das especificações do cliente. Adicionalmente, os índices de capacidade evidenciam a ineficácia do processo atual de produção de aeronaves. Os índices  $Cpk=-1,60$  e  $Z_{Benchmark}=-6,63$  (nível sigma) estão muito abaixo dos valores 1,33 e 4, respectivamente, sugerido por diretrizes industriais como sendo um processo capaz, logo espera-se produzir 100% das aeronaves fora da especificação. O estudo da estabilidade e capacidade do processo em relação ao CTQ<sub>2</sub> está resumido na Fig. 5. O CTQ<sub>2</sub> está sob controle, no entanto, também é incapaz de

atender aos requisitos do cliente. Com  $Cpk = -0,44$  e  $Z_{Bench} = -1,24$ , espera-se produzir quase 90% das aeronaves fora da especificação.

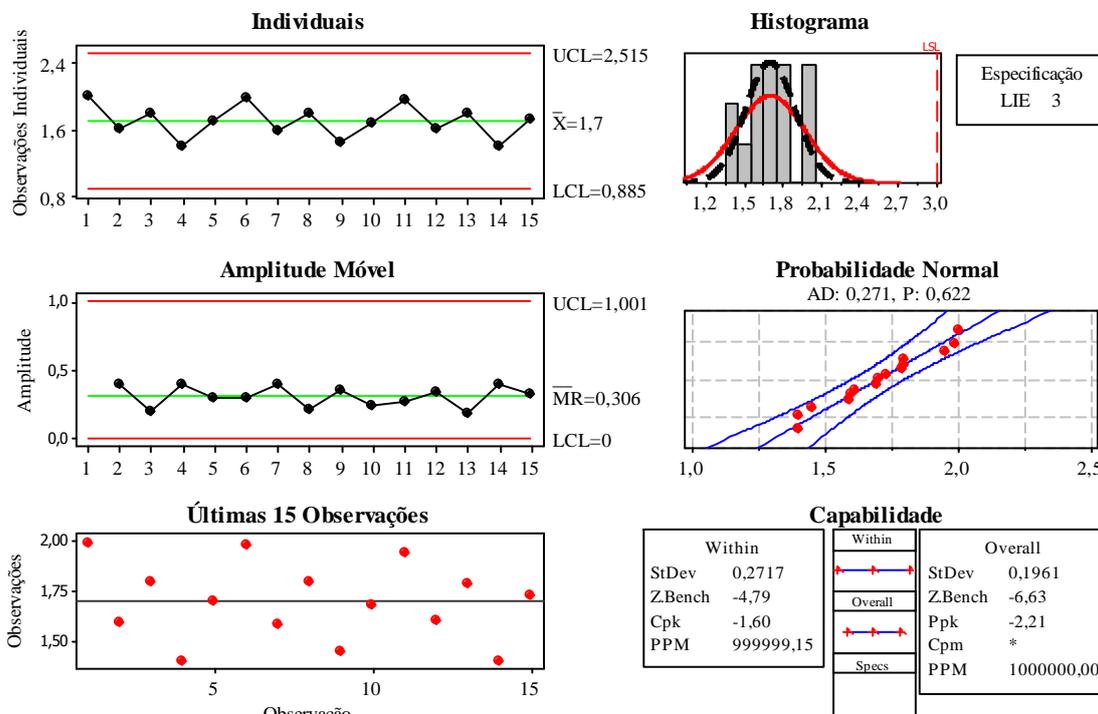


Figura 4 – Análise da capacidade do processo atual em relação ao CTQ<sub>1</sub>

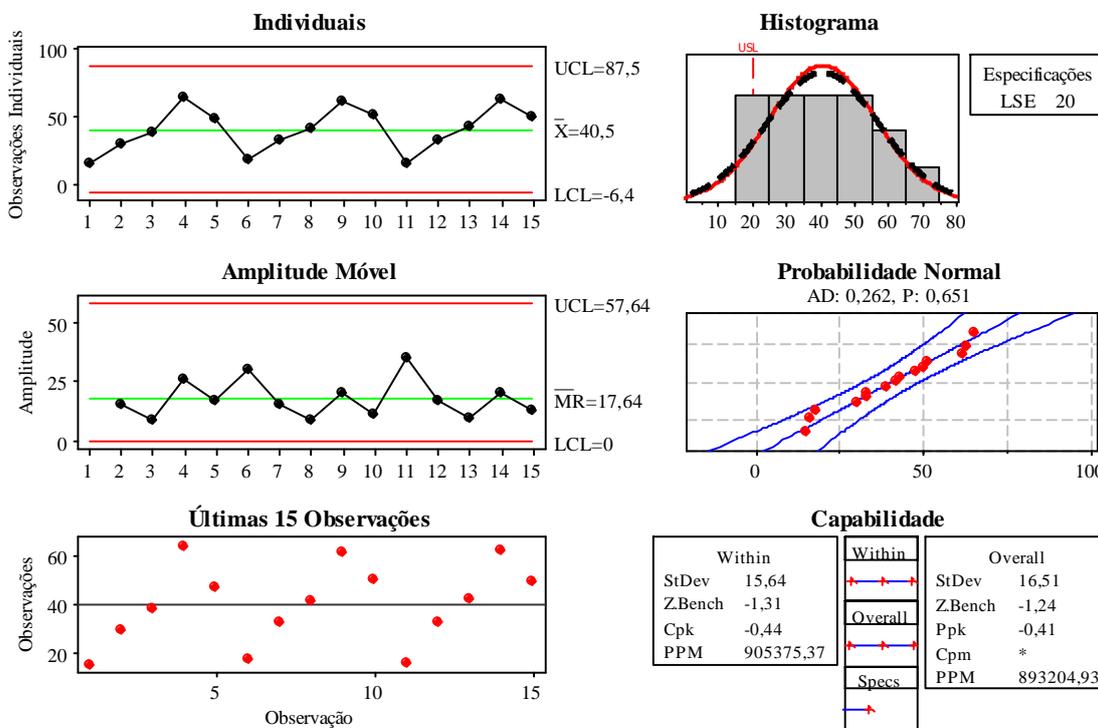


Figura 5 – Análise da capacidade do processo atual em relação ao CTQ<sub>2</sub>

Passo M5, definir objetivos. Uma ferramenta bastante utilizada nesta etapa é o Benchmarking, no entanto, devido aos baixos índices de capacidade e comprovada baixa competitividade da empresa, foi conveniente adotar uma redução em 90% de DPM. Deste modo, determina-se o objetivo do desempenho dos CTQs do projeto (Tabela 7).

	Baseline		Objetivo
	PPM	$\sigma$	PPM
CTQ <sub>1</sub>	1.000.000	-6,63	< 100.000
CTQ <sub>2</sub>	893205	-1,24	< 89320

Tabela 7 – Objetivo do desempenho dos CTQs do projeto

#### 4. Conclusão

Este artigo abordou a condução das etapas Definir e Medir de um projeto Seis Sigma. A aplicação envolveu um exemplo didático para facilitar o entendimento da execução do *roadmap* DMAIC. Assim, espera-se que este artigo seja utilizado em treinamentos para Green Belts e Black Belts. Durante a etapa definir foi abordado como selecionar o problema a ser resolvido, avaliar seu impacto no consumidor e potenciais benefícios que o projeto pode proporcionar. Foi verificado que as relações de fornecimento da Papercópteros para a Air France estavam cada vez mais abaladas devido à ineficiência dos processos de produção da aeronave Tuiuiu. A etapa seguinte de medição mostrou como traduzir este problema para uma forma mensurável e, em seguida, medir a situação atual do processo chave envolvido no projeto. Foi constatado que a Papercópteros fabrica aeronaves incapazes de atender às tolerâncias especificadas pela Air France para os CTQs tempo de voo e distância ao alvo. As fases remanescentes Analisar, Melhorar e Controlar do *roadmap* DMAIC para este caso fictício serão abordadas no próximo artigo.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio dado nesta pesquisa.

#### Referências

- ABOELMAGED, M.G.** *Six Sigma quality: a structured review and implications for future research.* International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.27, p.268-317, 2010.
- BRADY, J.E. & ALLEN, T.T.** *Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research.* Quality & Reliability Engineering International, Vol. 22, p. 335-367, 2006.
- BOX, G. E. P.** *Teaching engineers experimental design with a paper helicopter.* Quality Engineering, Vol. 4, p. 453-459, 1992.
- DAS, S. & HUGHES, M.** *Improving aluminum can recycling rates: a Six Sigma study in Kentucky.* JOM, Vol. 58, p. 27-31, 2006.
- DE KONING, H. & DE MAST, J.** *Grounding of Six-Sigma's breakthrough cookbook: how to research a methodology?.* International Journal of Six-Sigma and Competitive Advantage, Vol.1, p. 263-275, 2005.
- DE KONING, H. & DE MAST, J.** *A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook.* International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.23, p.766-87, 2006.
- DE MAST, J.** *Quality improvement from the viewpoint of statistical method.* Quality and Reliability Engineering International, Vol.19, p. 255-64, 2003.
- DE MAST, J.; SCHIPPERS, W.; DOES, R. & VAN DEN HEUVEL, E.** *Steps and strategies in process improvement.* Quality and Reliability Engineering International, Vol.16, p.301-11, 2000.
- FURTERER, S. & ELSHENNAWY, A.** *Implementation of TQM and lean Six Sigma tools in local government: a framework and a case study.* Total Quality Management and Business Excellence, Vol. 16, p. 1179-91, 2005.
- HONG, G.; GOH, T.** *Six Sigma in software quality.* The TQM Magazine. Vol.15, p.364-73, 2003.

- IMMANENI, A.; MCCOMBS, A.; CHEATHAM, G. & ANDREWS, R.** *Capital One banks on Six Sigma for strategy execution and culture transformation.* Global Business and Organizational Excellence, Vol. 26, p. 43-54, 2007.
- JOHNSON, J.A.; WIDENER, S.; GITLOW, H. & POPOVICH, E.** *A "Six Sigma" Black Belt Case Study: G.E.P. Box's Paper Helicopter Experiment.* Quality Engineering, Vol.18, p.413-430, 2006.
- JURAN, J.M.** *Juran on Planning for Quality.* New York: Free Press, 1988.
- KUMAR, M.; ANTONY, J.; ANTONY, F.J. & MADU, C.N.** *Winning Customer Loyalty in an Automotive Company through Six Sigma: a Case Study.* Quality and Reliability Engineering International, Vol. 23, p. 849-866, 2007.
- LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R.; ZAHEER, S. & CHOO, A.** *Six sigma: a goal theoretic perspective.* Journal of Operations Management, Vol.21, p.193-203, 2003.
- MALEYEFF, J. & KRAYENVENGER, D.** *Goal setting with Six Sigma: mean shift determination.* Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, Vol. 76, p. 577-83, 2004.
- MONTGOMERY, D.C.** *Statistical Quality Control*, 5. ed. New York: John Wiley and Sons, 2005.
- MONTGOMERY, D.C. & WOODALL, W.H.** *An Overview of Six Sigma.* International Statistical Review, Vol. 76, p. 329-346, 2008.
- MOTWANI, J.; KUMAR, A. & ANTONY, J.** *A business process change framework for examining the implementation of Six Sigma: a case study of Dow Chemicals.* The TQM Magazine, Vol. 16, p. 273-83, 2004.
- RASIS, D.; GITLOW, H. & POPOVICH, E.** *Paper Organizers International: A Fictitious Green Belt Case Study.* Quality Engineering, Vol.15, p. 127-145, 2002.
- SARKAR, B.** *Capability enhancement of a metal casting processes in a small steel foundry through Six Sigma: a case study.* International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, Vol. 3, p. 56-71, 2007.
- SCHROEDER, R.G.; LINDERMAN, K.; LIEDTKE, C. & CHOO, A.S.** *Six Sigma: Definition and underlying theory.* Journal of Operations Management, Vol. 26, p. 536-554, 2008.
- SU, C.T. & CHOU, C.J.** *A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: A case study of semiconductor foundry.* Expert Systems with Applications, Vol. 34, p. 2693-2703, 2008.
- THAKKAR, J.; DESHMUKH, S. & KANDA, A.** *Implementing Six Sigma in service sector using AHP and Alderfer's motivational model: a case of educational services.* International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, Vol. 2, p. 353-76, 2006.
- VAN DEN HEUVEL, J.; DOES, R. & DE KONING, H.** *Lean Six Sigma in a hospital.* International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, Vol. 2, p. 377-388, 2006.