



ANÁLISE DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA SEIS SIGMA AOS PROCESSOS DE MANUFATURA

Nelson Carvalho Maestrelli

Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção
nmaestre@unimep.br - Rodovia SP 306, km 1, 13450-000 Santa Bárbara D'Oeste, SP, Brazil

Paulo Augusto Cauchick Miguel

Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção
pamiguel@unimep.br - Rodovia SP 306, km 1, 13450-000 Santa Bárbara D'Oeste, SP, Brazil

***Resumo.** O Programa Seis Sigma é uma estratégia para melhoria da qualidade e processos, com ênfase na redução de defeitos, tempos de processamento, e redução de custos. É o formato adotado para um programa de melhorias que aborda a redução drástica dos defeitos em produtos e o controle efetivo dos processos produtivos. Envolve a aplicação de uma série de ferramentas para identificação, análise e solução de problemas, a maioria delas com base na coleta e tratamento de dados usando suporte estatístico. O programa enfatiza a formação e o treinamento de equipes para identificação de problemas, estabelecimento de prioridades e implantação das soluções. Este trabalho apresenta os fundamentos de um Programa Seis Sigma, sua definição, seu desenvolvimento e estrutura básica para implantação. O artigo destaca alguns estudos de casos e estuda o potencial de aplicação do Seis Sigma aos processos de manufatura, através de um exemplo aplicado a operações de usinagem.*

***Palavras chave:** seis sigma, melhoria contínua, gestão da manufatura.*

1. INTRODUÇÃO

O Programa Seis Sigma foi introduzido pela Motorola nos anos 80 (Perez-Wilson, 2000). Desde então, em função dos resultados obtidos, tem sido amplamente utilizado no mundo e aplicado em outras organizações, como por exemplo Texas, Allied Signal, e General Electric. A abordagem desenvolvida pela Motorola, originada num trabalho de “benchmarking”, tinha como objetivo original, reduzir as taxas de falhas em seus produtos eletrônicos manufaturados. Em 1997, a General Electric anunciou o maior faturamento nos 105 anos de história da empresa e um lucro fenomenal, creditando grande parte deste resultado ao Programa Seis Sigma, adotado dois anos antes. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos por algumas destas empresas através do Programa Seis Sigma.

No Brasil, o programa começou a ser utilizado, em 1997, na General Electric. Na unidade da empresa em Minas Gerais, foram desenvolvidos e aplicados cerca de 100 projetos, nas áreas de finanças, comercial e manufatura, gerando economia de 1 milhão e 800 mil dólares (Campos, 2000).

O Programa Seis Sigma (6 σ) representa tanto um processo de melhoria sistematizado quanto uma metodologia para melhoria de processos quantificável (Munro, 2000). Objetiva proporcionar maior satisfação dos clientes, redução de custos e aumento da margem de lucro da empresa (Behara et al., 1995). Estes objetivos são alcançados aplicando-se técnicas e ferramentas para aumento da qualidade e otimização de recursos (Marash, 2000). No item seguinte deste trabalho serão apresentados os conceitos principais em que o Programa Seis Sigma se baseia.

Tabela 1: Resultados Obtidos pelas Empresas com o Programa Seis Sigma (Harry e Schroeder, 2000)

<i>Empresa</i>	<i>Período</i>	<i>Resultados Obtidos</i>
Motorola	1987 a 1994	Redução do nível de defeitos (fator 200); Redução dos custos de manufatura (US\$ 1,4 bilhão); Aumento da produtividade (produção por empregado) em 126%; Aumento da participação no mercado e valorização das ações da empresa (fator 4)
Allied Signal	1992 a 1996	Crescimento de mercado de 14% em período quadrimestral; Redução dos custos de manufatura (US\$ 1,4 bilhão); Redução do “lead time” de produção em 24%; Redução do tempo de introdução de novos produtos de 16%
General Electric	1995 a 1998	Redução de custos de produção acima de US\$ 1 bilhão; Estimativa de redução de US\$ 6,6 bilhões até o final de 2000

2. CONCEITOS PRINCIPAIS

O sigma (σ) é associado ao desvio padrão de uma distribuição normal padrão, que quantifica a variabilidade (dispersão) ou não conformidade de um processo.

Para um produto complexo (grande número de componentes e alto número de níveis na árvore do produto), podem existir muitas características importantes ou críticas para sua qualidade, denominadas CTQ: “*critical to quality*”. Deve-se coletar dados e medir o desvio padrão σ para estas características. A análise do desvio padrão determinará o nível de performance esperado para a CTQ do produto em estudo. Desse modo, tem-se que, quando o valor de σ for alto, significa muita variabilidade nas CTQ e no produto. Por outro lado, se σ for baixo, tem-se pouca variabilidade nas CTQ e no produto.

O valor 6 σ é derivado da amplitude $\pm 6\sigma = 12 \sigma$. Conforme a figura 1 mostra, $\pm 3\sigma$ implica em 99,73% da área da curva (2700 ppm) – ppm = partes por milhão; enquanto $\pm 6\sigma$ implica em 99,9999998% (0,002 ppm). Assim, o nível 6 σ , quando aplicado a um processo de manufatura de um produto, reflete um nível otimizado de performance, que se aproxima de “zero defeitos” (Pyzdek, 2000).

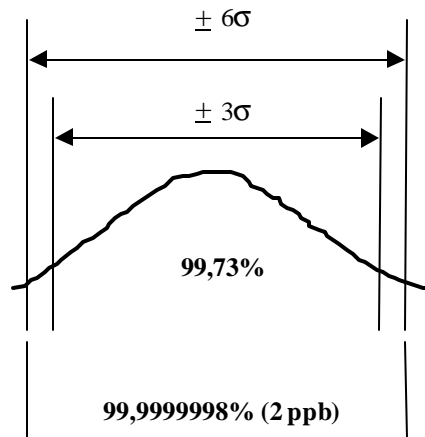


Figura 1: Significado do 6 σ em uma Distribuição Normal (Perez-Wilson, 2000).

Nem os produtos mais simples possuem apenas uma CTQ. A tabela 2 apresenta uma comparação entre produtos de diferentes graus de complexidade e suas características críticas para a qualidade.

Tabela 2: Número de CTQ para produtos com diferentes graus de complexidade (Perez-Wilson,2000).

<i>Produto</i>	<i>Número de CTQ</i>
Palito de fósforo	6
Prótese	100
Placa de PC	2000

Considerando-se apenas uma CTQ para um produto, se o nível de performance na produção desta CTQ for $\pm 3\sigma$, tem-se que 99,73% dos produtos estarão em conformidade e 0,27% serão defeituosos. Assim, a cada 1000 unidades, seriam geradas 3 defeituosas. Isto significa que, para uma prótese, por exemplo, para um nível $\pm 3 \sigma$ de performance, se as 100 características CTQ forem independentes, ter-se-ia:

$$(0,9973)^{100} = 0,7631$$

Desse modo, para o produto prótese, que apresenta 100 CTQ, a cada 1000 unidades produzidas, seriam geradas 76,31% de peças conformes e 23,69% de defeituosas.

No entanto, é preciso entender que um produto possuir nível de performance 6σ não significa que apenas 0,002 ppm apresentarão defeitos, mas sim que a possibilidade de uma de suas características CTQ apresentar defeito é de 0,002 ppm.

Por isso, para o caso de processos produtivos, o nível de performance 6σ reflete um nível otimizado, que se aproxima do estágio de “zero defeitos”.

Pode-se estender este raciocínio para uma atividade trivial, como a limpeza do carpete de uma sala, por exemplo. Se o carpete desta sala fosse limpo usando o padrão 3σ , e a área a ser limpa fosse de 1500m², cerca de 4m² do carpete poderiam permanecer sujo, gerando um usuário insatisfeito. Se a mesma sala fosse limpa no padrão 6σ , a área que poderia permanecer suja seria do tamanho da cabeça de um alfinete, ou virtualmente inexistente.

A tabela 3 apresenta exemplos de níveis de defeitos encontrados em atividades cotidianas, associando o nível sigma de performance ao número de defeitos por milhão.

Tabela 3: Níveis de Performance para Diferentes Atividades Cotidianas (Harry e Schroeder, 2000).

<i>Nível de Performance σ</i>	<i>Defeitos por Milhão</i>	<i>Atividade</i>
6	0,002	Transporte aéreo de passageiros
3,5 a 4	6000 a 23000	Transporte de bagagem
3,5 a 4	6000 a 23000	Contas em restaurante
3,5 a 4	6000 a 23000	Transações bancárias
3,5 a 4	6000 a 23000	Prescrições médicas

Os objetivos de um Programa 6 σ enfatizam a busca por processos isentos de falhas. Dessa forma, o nível de performance 6 σ é uma medida alvo (Slack et al., 1997), aplicável a determinadas características definidas como CTQ.

A tabela 4 relaciona o nível de performance aos custos da qualidade, representados em forma de percentual de vendas.

Do estágio 3 para 6 σ , supondo uma evolução de 1 σ por ano, as melhorias representam (Perez-Wilson, 2000):

- 20% de aumento da margem de lucro;
- 12 a 18% de aumento da capacidade produtiva;
- 12% de redução da necessidade de mão de obra;
- 10 a 30% de redução de capital.

Tabela 4: Relação entre Custos da Qualidade e Nível σ (Perez-Wilson, 2000).

<i>Nível σ</i>	<i>Defeitos por milhão</i>	<i>Custos da Qualidade (% vendas)</i>
2	308.537 (*)	Não aplicável
3	66.807	25 a 40%
4	6.210 (**)	15 a 25%
5	233	5 a 15%
6	0,0002 (***)	< 1%

(*) empresa não competitiva (**) média industrial (***) padrão *world class*

O Programa 6 σ pressupõe a utilização de uma metodologia própria para implantação. O item seguinte deste trabalho apresenta as etapas necessárias para sua implantação em uma organização.

3. METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO

Tanto para processo produtivos como para aplicações do Programa 6 σ para processos administrativos, utiliza-se a metodologia MAIC ou DMAIC (Harry e Schroeder, 2000). Esta metodologia propõe a abordagem dos problemas a serem tratados, através das ações de *reconhecer, definir, medir, analisar, melhorar, controlar, padronizar e integrar*. As 4 fases essenciais deste processo são as ações de *medir, analisar, melhorar e controlar*. Conforme pode ser verificado na figura 2, construída a partir do trabalho de Harry e Schroeder (2000), cada estágio de implementação correspondem ações específicas e seus objetivos principais.

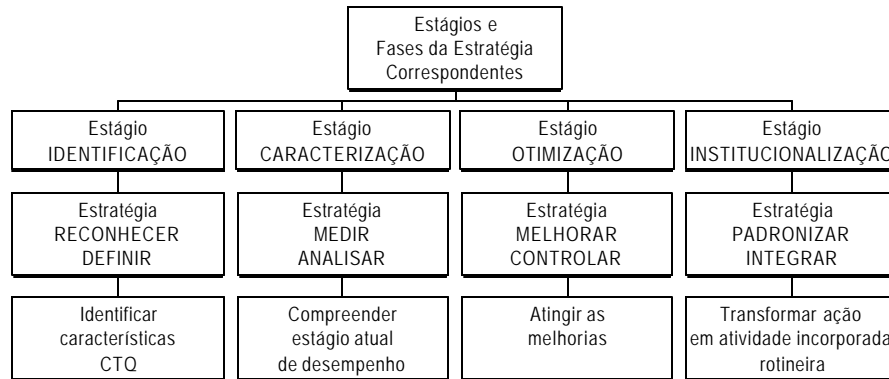


Figura 2: Estágios e Estratégias de Implantação do Programa 6σ.

No estágio “identificação”, considera-se que a capacidade de satisfazer clientes em relação a qualidade, preço e entrega, com um determinado nível de certeza, é controlada pela possibilidade de variação dos processos. As variações têm impacto direto sobre resultados, em relação a custo, tempo de ciclo e número de defeitos.

A identificação deve reconhecer como os processos afetam a margem de lucro e aqueles críticos para os negócios. Estabelece o ponto de partida para as melhorias; um plano de ação deve ser estruturado para ligar “como os processos ocorrem” e “como deveriam ocorrer, de modo a atingir os objetivos da empresa”. Nesta fase, selecionam-se as CTQ e cria-se uma descrição detalhada de cada fase do processo.

Na “caracterização”, deve-se fazer as medições, registrar os resultados e definir capacidade dos processos. São identificados os passos para melhorar os processos e reduzir fontes de variações. As variáveis chave são determinadas usando ferramentas e experimentos de base estatística. Os dados são usados para ajustar e controlar os processos.

A “otimização” determina as variáveis que mais afetam os processos; melhora e controla as variáveis chave que influenciam mais as CTQ. Além disso, padroniza e incorpora os procedimentos, para aplicação em todas as áreas da organização. Providencia ainda a apresentação de “estudos de caso” para motivar outros setores da organização e disseminar as práticas de sucesso.

A “institucionalização” visa sedimentar as práticas a todos os setores da organização, através da padronização e da incorporação.

3.1 Aplicação da metodologia aos processos de manufatura

A aplicação da metodologia proposta aos processos de manufatura deve obedecer as etapas de estudo definidas pelo sistema M/PCp S – “*Machine/Process Characterization System*” (Perez-Wilson, 2000). As etapas estão definidas na figura 3.

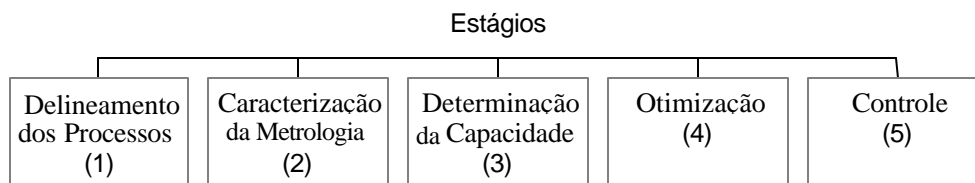


Figura 3: Etapas do Sistema M/PCp S para Processos de Manufatura.

As etapas do estudo para o sistema M/PCp S envolvem os seguintes passos: definir metas de qualidade, estabelecer planos de desenvolvimento, classificar os processos em função de sua prioridade, revisar mensalmente os resultados obtidos, documentar extensamente o

trabalho, relatórios bimensais de acompanhamento, além de estabelecer prêmios de reconhecimento e competições entre projetos.

Para proceder aos estudos para classificação dos processos, deve-se:

- 1) Formar equipe com conhecimento sobre o processo;
- 2) Identificar os passos do processo para cada operação;
- 3) Analisar cada passo;
- 4) Identificar as variáveis de resposta de cada passo;
- 5) Classificar cada etapa, de acordo com seu impacto sobre as características CTQ para o produto em Crítico (C), Principal (P) ou Secundário (S).

Determinar a capacidade atual do processo significa identificar, reduzir ou eliminar as maiores fontes de variação. A meta é atingir o nível 6σ .

Na etapa de Delineamento dos Processos deve-se descrever máquina e processo; identificar características funcionais e as variáveis independentes de cada uma; relacionar variáveis de resposta e suas inter-relações.

Na segunda etapa (Caracterização da Metrologia), deve-se definir o sistema de medição necessário para avaliar as variáveis de resposta e quantificar a variação que cada uma traz ao resultado do processo.

Na Determinação da Capacidade, as atividades são coletar os dados, executar testes de confiança para validar formas de distribuição e analisar os dados para verificar estabilidade e controle estatístico.

A etapa de Otimização visa reduzir as variações encontradas na fase anterior, centralizar a distribuição das variáveis de resposta contra os limites de especificação, reduzir desvio padrão nas variáveis de resposta, determinar efeitos principais das variáveis independentes “vitais” e identificar os níveis ótimos destas variáveis. Após capacitado e estabilizado o processo, deve-se estabelecer controles de prevenção e correção. Isto deve ocorrer na etapa de Controle.

Para estabelecer os níveis de performance dos processos de manufatura, o Programa 6σ utiliza algumas medidas típicas, que serão mostradas no sub-ítem seguinte deste trabalho.

3.2 Medidas utilizadas

A figura 4 apresenta de maneira resumida, as medidas utilizadas pelo Programa 6σ .

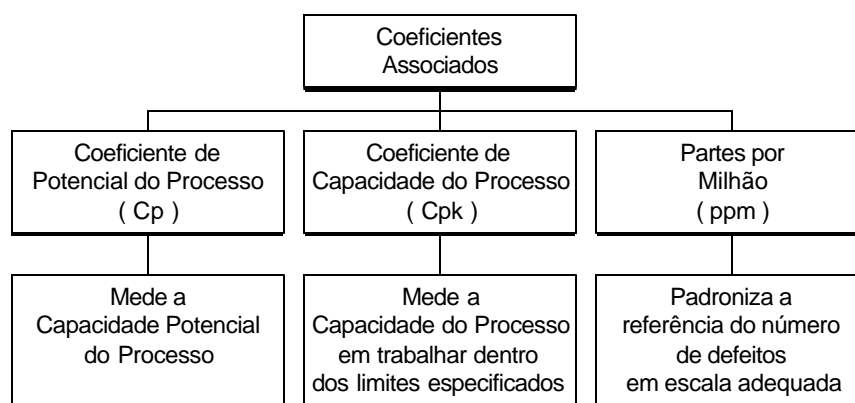


Figura 4: Medidas Utilizadas pelo Programa 6σ .

O Coeficiente de Potencial de Processo (Cp) é a razão entre a dispersão permitida e a dispersão real. A dispersão permitida é determinada pela diferença entre os limites de controle

superior e inferior (LCS e LCI). A dispersão real é calculada, para os dados coletados, através do valor de 6σ :

$$C_p = (LCS - LCI) / 6s \quad (1)$$

O Coeficiente de Capacidade de Processo (Cpk) é a diferença entre a média aritmética real do processo e o limite de especificação mais próximo (LCS ou LCI), dividida por 3σ ;

$$C_{pk} = \text{Menor Valor entre: } [(m - LCI) / 3s]; [(LCS - m) / 3s] \quad (2)$$

Os valores adequados para os coeficientes são:

- 1) Por convenção, se $C_p < 1,0$, o processo é potencialmente incapaz de satisfazer as especificações;
- 2) Por convenção, se $C_{pk} < 1,0$, considera-se o processo incapaz;
- 3) Se $C_{pk} \geq 1,0$, o processo é capaz de produzir dentro dos limites de especificação;
- 4) Em um processo nível 6σ , tem-se $C_{pk} = 2,0$;
- 5) C_{pk} maior \Rightarrow “mais estreita” a distribuição do processo em relação aos limites de especificação, mais uniforme será o produto;
- 6) Sempre $C_{pk} \geq 0$: $C_{pk} = 0$, se a média real do processo coincidir ou cair fora dos limites de especificação;
- 7) Sempre $C_{pk} \leq C_p$: $C_{pk} = C_p$ se a média real do processo cai no centro dos limites de especificação.

3.3 O Conceito de produtos defeituosos/ defeitos

Um produto defeituoso é aquele que não está em conformidade com as especificações. Desse modo, um componente pode apresentar um ou mais defeitos; e um único defeito pode qualificar um componente como defeituoso. Para avaliar o número de defeitos, o Programa 6σ usa a medida DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades).

A Medida DPMO quantifica a razão entre o número total de defeitos (se for produzido um milhão de unidades) e o número total de oportunidades de defeitos:

$$DPMO = (dpm / NTOD) \text{ ou } DPMO = (dpu \times 1.000.000 / NTOD) \quad (3)$$

Onde: dpu é o nível de performance do processo/ operação;
 $NTOD$ é o número de oportunidades de defeitos (variável em função da complexidade do processo).

Uma vez definidas as etapas e medidas utilizadas pelo Programa 6σ , pode-se avaliar o seu potencial de aplicação aos processos de manufatura. No item seguinte deste trabalho, apresenta-se um estudo sobre a aplicação dos conceitos de um Programa 6σ a um processo de torneamento.

4. APLICAÇÃO DO PROGRAMA 6s A UM PROCESSO DE TORNEAMENTO

Este estudo foi realizado utilizando-se dados do Laboratório de Processos da universidade (UNIMEP). Foram examinados corpos de prova para ensaios de tração, usinados por torneamento em uma máquina CNC Centur 30 RV. O material usinado foi aço ABNT 1020.

A especificação para a dimensão considerada crítica para qualidade (CTQ) prevê para o diâmetro da secção, o valor de $12,5 \pm 0,25$ mm. As dimensões do corpo de prova são padronizadas pela ASTM A 370.

Assumindo-se um processo sob controle, para que este processo opere em nível de performance 3σ , deve-se garantir que se tenha 2700 ppm de peças com possibilidades de defeito. Para esta condição, tem-se (Perez-Wilson, 2000):

$$C_{pk} = 1,0 = [(12,75 - 12,25) / 6s], \text{ o que resulta: } s = 0,083$$

Assim, o processo deverá operar entre 12,417 e 12,583mm para o nível de performance desejado. Para a usinagem de um lote de 30 corpos de prova, foram obtidos os seguintes resultados:

$$\bar{x} = 12,462 \text{ mm e } s = 0,058$$

Calculando os valores de z para os limites superior e inferior de especificação, obtêm-se, através da curva de distribuição normal unilateral:

$$z_{LIE} = [(12,75 - 12,462) / 0,058] = 4,97, \text{ que corresponde a } 0,35 \text{ ppm}$$

$$z_{LIE} = [(12,462 - 12,25) / 0,058] = 3,66, \text{ que corresponde a } 126 \text{ ppm}$$

Totalizando, para a amostra analisada, 126,35 ppm, que corresponde a um nível de performance $3,83\sigma$. Portanto, para o processo de usinagem por torneamento que considerou uma única CTQ (o diâmetro da secção do corpo de prova), tem-se um nível de performance entre 3 e 4σ .

Esta caracterização determina qual é a capacidade atual do processo – o primeiro passo da etapa de aplicação do Programa 6σ a um processo de manufatura. Uma vez determinado o nível atual de performance, deve-se buscar continuamente as melhorias de processo que permitirão aperfeiçoá-lo, de modo a buscar atingir o padrão 6σ .

5. CONCLUSÃO

Através do exemplo de aplicação apresentado neste trabalho, é possível ilustrar como o Programa 6σ pode ser aplicado para processos de usinagem. Também é possível notar que o seu potencial de aplicação para a área de manufatura, como uma ferramenta de avaliação do estágio ou nível atual de performance de um processo, é extremamente válida. Como uma metodologia que adota o princípio da melhoria constante, o Programa 6σ permite que se estabeleçam metas de desempenho, a partir de análises quantitativas - e, neste caso, sua aplicação é igualmente válida. No entanto, algumas dificuldades para sua aplicação também podem ser detectadas. A definição do número de CTQ para cada situação analisada e o domínio do ferramental estatístico necessário para sua aplicação são fatores que podem dificultar sua plena utilização. Apesar dos estudos de capacidade de processo já serem usados há algum tempo, o Programa 6σ estabelece um plano de melhorias, promovendo maior integração do ferramental estatístico com o processo de manufatura.

REFERÊNCIAS

- Behara, R.V. et al., 1995, Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma., International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.12, N.3, pp. 9-18.
- Campos, M.C., 2000, Seis Sigma: sonho ou realidade. Banas Qualidade, maio, 2000.
- Harry, M., Schroeder, R., 2000, Six Sigma- The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. Currency: New York.
- Marash, S., 2000, Seis sigma: filosofia ou prática? Banas Qualidade, maio, 2000, pp. 44-45.
- Munro, R., 2000, Linking six sigma with QS-9000, Quality Progress, Vol. 33, N. 5, May, 2000, pp. 47-53.

- Perez-Wilson, M., 2000, Seis Sigma: Compreendendo o conceito, as implicações e os desafios. Qualitymark: Rio de Janeiro.
- Pyzdek, T., 2000, A revolução do seis sigma. Banas Qualidade, maio, 2000, pp. 38-42.
- Slack, N. et al., 1997, Administração da Produção. Atlas: São Paulo.

THE POTENTIAL OF THE SIX SIGMA APPLICATION IN MANUFACTURING PROCESS

***Abstract.** The Six Sigma Programme is a strategy for process and quality improvement with emphasis on reducing process time, defect and costs. It is an adopted methodology towards an improvement programme which focuses on a great reduction of product defects and an effective productive process control. It involves the application of various tools in order to identify, analyse and solve problems. The majority of these tools is based on the data collection and management through statistics support. The programme emphasises the set up and training of teams to identify the problems, establish priorities and implement solutions. This paper presents the basis of a Six Sigma programme, its definition, development and framework for implementing it. The paper highlights some case studies and analyses the potential of the six sigma application in manufacturing process through a worked example applied to machining operations.*

***Keywords:** six sigma, continuous improvement, manufacturing management.*