

Controle Estatístico de Qualidade

Lupércio França Bessegato
Dep. Estatística/UFJF

Roteiro

1. Qualidade na Empresa
2. Gestão da Qualidade
3. Métodos Estatísticos em Controle de Processos
4. Gráficos de Controle Univariados
5. Capacidade do Processo
6. Avaliação de Qualidade de Medidas
7. Inspeção de Qualidade
8. Monitoramento de Processo Multivariado
9. Referências

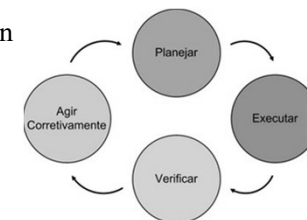
Controle Estatístico de Qualidade - 2020

3

Ciclo PDCA

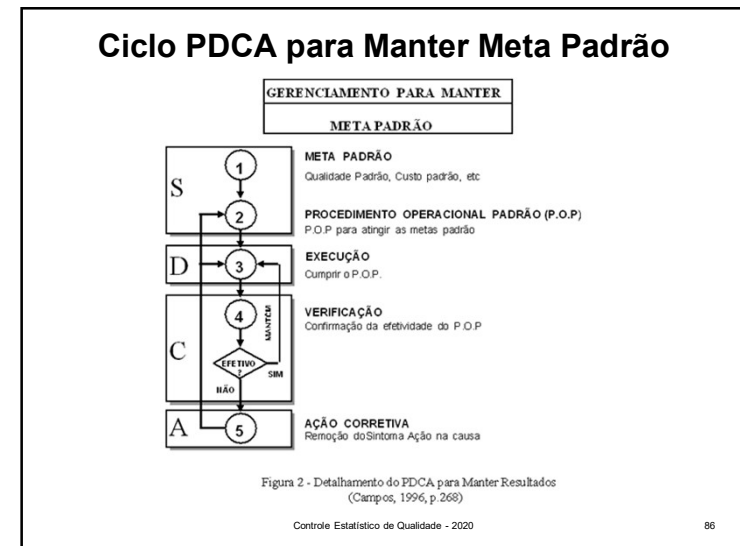
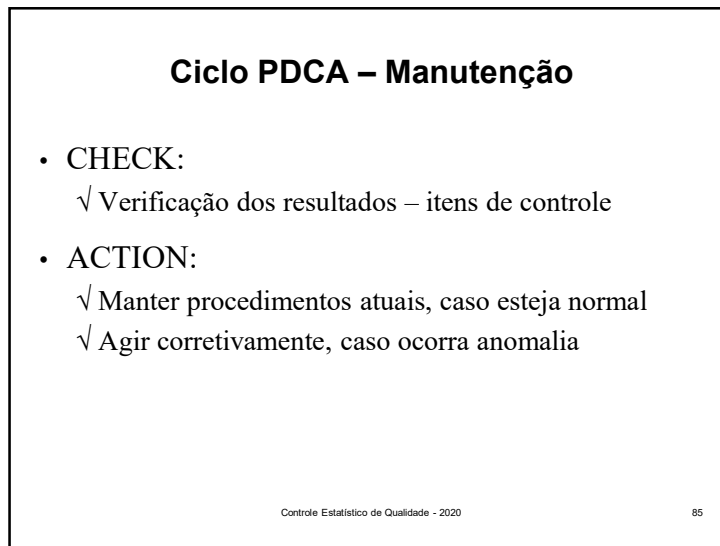
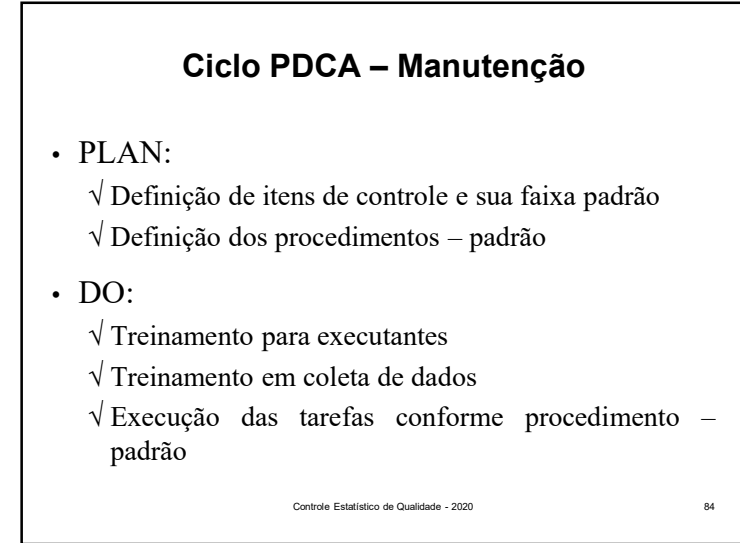
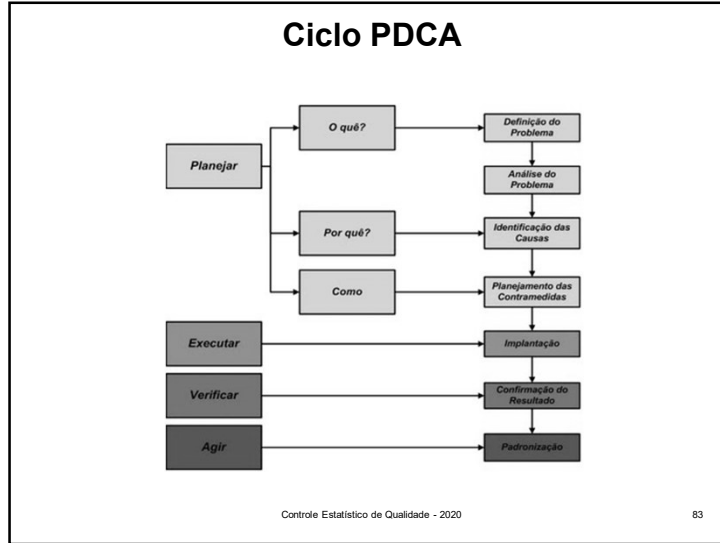
Controle do Processo

- Ciclo de Shewhart/Deming
- Ciclo PDCA
 - ✓ Método utilizado para a prática do controle do processo
 - ✓ Plan – Do – Check - Action

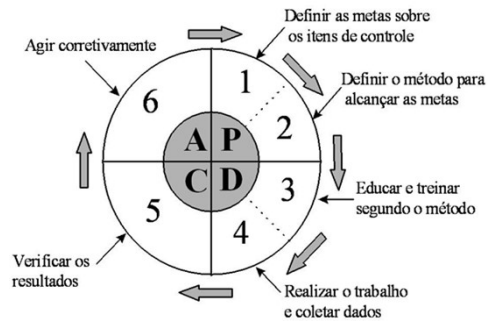


Controle Estatístico de Qualidade - 2020

82



PDCA – Meta Padrão



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

87

Ciclo PDCA – Melhoria

- **PLAN:**
 - ✓ Identificação do problema e estabelecimento de metas
 - ✓ Análise do processo
 - ✓ Plano de ação
- **DO:**
 - ✓ Treinamento para executantes
 - ✓ Treinamento em coleta de dados
 - ✓ Execução das tarefas conforme plano de ação

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

88

Ciclo PDCA – Melhoria

- **CHECK:**
 - ✓ Verificação dos resultados – itens de controle
- **ACTION:**
 - ✓ Eliminação das causas
 - ✓ Padronização das ações que “deram certo”

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

89

Ciclo PDCA para Melhorar



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

90

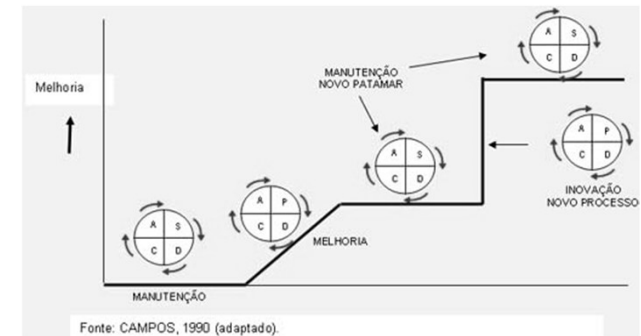
Melhoramento Contínuo



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

91

Melhoramento Contínuo – PDCA de Manutenção e Melhorias



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

92

Ferramentas de Gerenciamento

- Objetivos:
 - ✓ Identificação de Problemas
 - ✓ Identificação de Causas
 - ✓ Geração de Soluções
 - ✓ Priorização de Soluções

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

95

MASP / MASPO

- Metodologia de Análise e Solução de Problemas (e Oportunidades)
 - √ Identificação e seleção do problema/oportunidade
 - √ Análise problema/oportunidade – identificação das causas
 - √ Geração de possíveis soluções
 - √ Seleção de alternativas
 - √ Planejamento da solução
 - √ Implementação da solução
 - √ Avaliação da solução (dos resultados)
 - √ Padronização

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

96

Exemplo

• Indústria de Massas

- √ Produtos: Massas e macarrão
- √ Unidades: 2 Fábricas em JF e 15 filiais no país
- √ Colaboradores: 1500 funcionários (40% indireto)
- √ Problema: Perda gradual dos negócios

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

99

Principais Problemas Identificados

- Não há pesquisa de satisfação
- Aumento nos custos da produção
- Falta de incentivo ao pessoal
- Não há planejamento da produção
- Irregularidade no atendimento de distribuidores (atacadistas)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

100

• 1º passo: Priorização de Problemas

- √ Matriz GUT: Gravidade – Urgência – Tendência

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

101

Matriz GUT de Prioridade

	G	U	T
	Gravidade	Urgência	Tendência
Pontos	Consequência se nada for feito	Prazo para tomada de decisão	Proporção futura do problema
5	Prejuízos ou dificuldades extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Agravamento imediato da situação se nada for feito
4	Muito graves	Com alguma urgência	Vai piorar a curto prazo
3	Graves	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo
2	Pouco Graves	Pode esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar ou pode até melhorar

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

102

Exemplo

- Problemas priorizados:

Problema	G	U	T	Total	Prioridade
Inexistência pesquisa satisfação	3	5	3	45	4
Irregularidade atendimento distribuidor	5	5	5	125	1
Falta de incentivo ao pessoal	3	3	3	27	5
Não há planejamento da produção	4	5	4	80	3
Aumento custos da produção	5	5	5	125	2

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

103

- 2º Passo: Busca das causas

√ Ferramenta 5W1H / 5W2H

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

104

Ferramenta 5W1H / 5W2H

- What → O que
- Who → Quem
- Where → Onde
- When → Quando
- Why → Porque
- How → Como
- How much → Quanto

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

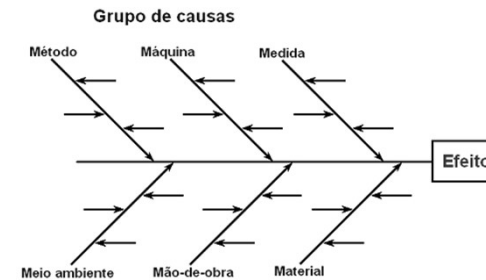
105

- 3º Passo: Identificação das Causas
√ Diagrama de Causa e Efeito

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

110

Diagrama de Causa-e-Efeito – Diagrama



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

112

- 4º passo: Priorização das Causas
√ Técnica de Votação Múltipla
– 50%, 30%, ...
– Eliminação duplicidades
√ TGN – Técnica de Grupo Nominal

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

115

Exemplo

- Vendedores mal treinados
- Ineficácia da gestão sobre fornecedores
- Incapacidade gerencial
- Falta padronização nos processos de apoio
- Falta de planejamento da produção
- Crescimento do mercado
- Central de atendimento desorganizada
- Falta de inspeção na distribuição
- Falta de negociação com fornecedores

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

116

- 5º Passo: Identificação e Priorização de Soluções
 - √ Matriz BASICA
 - √ Usada para priorizar problemas e soluções

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

117

Matriz de Priorização

Soluções	Critérios						Total
	B	A	S	I	C	O	

B: Básico
A: Abrangência
S: Satisfação (Interno)

I: Investimento
C: Cliente Externo Satisfeito
O: Facilidade Operação

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

118

Exemplo

- Problema: Irregularidade no atendimento
- Causa: Crescimento do mercado

Soluções	Critérios						Total
	B	A	S	I	C	O	
Terceirizar Distribuição	5	5	5	1	4	5	25
Implementar política MKT	3	4	5	2	5	5	24
Reestruturação gerencial	4	4	4	4	4	2	22
Normalização de procedimento	2	4	4	5	3	4	22
Plano de Qualificação de Pessoal	1	3	5	3	5	3	20

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

119

- 6º Passo: Desenvolver Soluções
 - √ Planejamento de implantação

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

120

Planejamento Solução

- O que deverá ser feito? (W)
- Quem deverá fazer? (W)
- Onde deverá ser feito? (W)
- Quando deverá ser feito? (W)
- Por que deverá ser feito? (W)
- Como deverá ser feito? (H)
- Quanto deverá custar? (H)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

121

Exemplo

- Solução: Terceirizar a distribuição
 - ✓ O QUE → Contratar empresas transportadoras
 - ✓ QUEM → Assessoria de Marketing/ Dep. Compras
 - ✓ ONDE → Central de Atendimento a Clientes
 - ✓ QUANDO → Até 30/04/11
 - ✓ QUANTO → US\$ 30,000/mês
- Podem ser incluídos outros tópicos, assim como a justificativa (PORQUE)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

122

Aplicação

Programa 6 Sigma

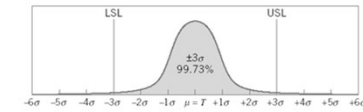
Programa Seis Sigma

- Estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa
- Objetivo:
 - ✓ Aumentar drasticamente lucratividade das empresas por meio de:
 - melhoria da qualidade de produtos e processos
 - aumento da satisfação de clientes e consumidores
- Foco:
 - ✓ melhoria do processo com ênfase na obtenção de impacto significativo no negócio

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

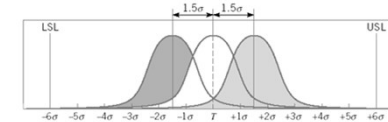
125

Comparação de Desempenhos



Spec. Limit	Percent Inside Specs	ppm Defective
±1 Sigma	68.27	317300
±2 Sigma	95.45	45500
±3 Sigma	99.73	2700
±4 Sigma	99.9937	63
±5 Sigma	99.999943	0.57
±6 Sigma	99.9999998	0.002

(a) Normal distribution centered at the target (T)



Spec. Limit	Percent inside specs	ppm Defective
±1 Sigma	30.23	697700
±2 Sigma	69.13	608700
±3 Sigma	93.32	66810
±4 Sigma	99.3790	6210
±5 Sigma	99.999669	233
±6 Sigma	99.9999998	3.4

(b) Normal distribution with the mean shifted by $\pm 1.5\sigma$ from the target

126

Nível da Qualidade em Linguagem Financeira

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não-qualidade (% faturamento empresa)
Dois Sigma	308.537	Não se aplica
Três Sigma	66.807	25% a 40%
Quatro Sigma	6.210	15 a 25%
Cinco Sigma	233	5 a 15%
Seis Sigma	3,4	< 1%

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

127

Processo

- Sequência organizada de atividades que produz uma saída que agrega valor à empresa
 - ✓ Todo trabalho é produzido em processos (inter-relacionados)
 - Há processos fáceis de serem percebidos (manufaturas)
 - Há situações em que são difíceis de serem vistos
 - ✓ Qualquer processo pode ser aprimorado
 - ✓ É necessária uma abordagem organizada para a melhoria
 - ✓ Foco no processo é essencial ao Seis Sigma

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

128

Mudanças Cultura Empresa

- Atuação voltada principalmente ao atendimento necessidade clientes
- Toda meta ou projeto a ser desenvolvido deve trazer retorno monetário mínimo
- Todos funcionários devem procurar aperfeiçoar-se ao longo do tempo
- Objetivo é produzir sem retrabalho e não-conformidade zero

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

129

- Os problemas da empresa são problemas de todo o seu staff
- A forma de conduzir soluções (alcance de meta) é padronizada

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

130

Dimensões do Programa

- A escala:
 - √ Usada para medir nível de qualidade associado a um processo
 - Transforma quantidade de defeitos por milhões na Escala Sigma
- A meta:
 - Chegar próximo a zero defeito – 3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas
- O benchmark:
 - Utilizado para comparar nível de qualidade de produtos, operações e processos

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

131

- A estatística:
 - √ Calculada para avaliação do desempenho das características críticas para a qualidade em relação às especificações
- A filosofia:
 - √ Defende a melhoria contínua dos processos e da redução da variabilidade, na busca de zero defeito
- A estratégia:
 - √ Baseada no relacionamento existente entre projeto, fabricação, qualidade final e entrega de um produto e a satisfação dos consumidores

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

132

- A visão:
 - ✓ Programa visa levar a empresa a ser a melhor em seu ramo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

133

Porque Aprimoramento da Qualidade é Importante?

- Visita a fast-food:
 - ✓ Hamburger (pão, carne, molho especial, queijo, picles, cebola, alface, tomate), fritas e bebida
 - ✓ Este produto tem 10 componentes
 - 99% de conformidade está okay?

$P\{\text{Lanche cfe}\} = (0,99)^{10} = 0,9044$
Família de 4, uma vez p/ mês: $P\{\text{Todos lanches cfe.}\} = (0,9044)^4 = 0,6690$
 $P\{\text{Todos lanches cfe. em 1 ano}\} = (0,6690)^{12} = 0,0080$

$P\{\text{Lanche cfe}\} = (0,999)^{10} = 0,9900$
Família de 4, uma vez p/ mês: $P\{\text{Todos lanches cfe.}\} = (0,99)^4 = 0,9607$
 $P\{\text{Todos lanches cfe. em 1 ano}\} = (0,9607)^{12} = 0,6186$

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

134

Comparação Quadro Atual e Desempenho 6 Sigma

- | | |
|--|---|
| • 4 Sigma (99,38% conforme) | • 6 Sigma (99,99966% cfe) |
| • 7 horas de falta de energia elétrica por mês | • Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos |
| • 5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana | • 1,7 operação cirúrgica incorreta por semana |
| • 3.000 cartas extraviadas para 300.000 postadas | • Uma carta extraviada para 300.000 postadas |
| • 15 minutos de fornecimento de água não potável por dia | • 1 minuto de fornecimento de água não potável a cada 7 meses |

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

135

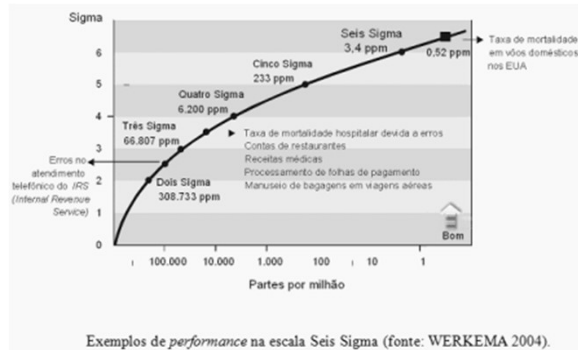
Estrutura de Implementação e Condução

- Metodologia de solução de problemas e de desenvolvimento de novos produtos/serviços e/ou processos
- Estrutura de responsabilidade e funções
- Estrutura de treinamentos
- Política de Pessoal

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

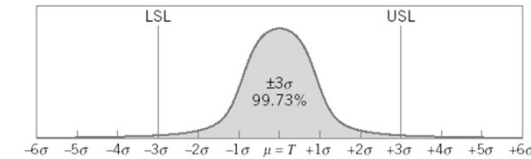
136

Performances na Escala Sigma – Exemplos



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

137



Spec. Limit	Percent Inside Specs	ppm Defective
±1 Sigma	68.27	317300
±2 Sigma	95.45	45500
±3 Sigma	99.73	2700
±4 Sigma	99.9937	63
±5 Sigma	99.999943	0.57
±6 Sigma	99.999998	0.002

(a) Normal distribution centered at the target (T)

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

138

Aspectos Fundamentais

- Foco na satisfação do cliente
 - √ A partir das “características críticas para a qualidade” – *Critical to Quality* ou CTQs)
- Infra-estrutura criada na empresa, com papéis bem definidos para os patrocinadores e especialistas do 6 Sigma
 - √ Sponsors, Champions, Master Black Belts, Black Belts e Green Belts)
- Busca contínua da redução da variabilidade

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

139

- Extensão para o projeto de produtos e processos
 - √ Design for Six Sigma
- Aplicação efetiva a processos administrativos, de serviços ou de transações e não somente a procedimentos técnicos

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

140

Times de Projeto

- Um dos elementos da infra-estrutura do 6 Sigma
 - ✓ Constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa
- Método DMAIC é base para desenvolvimento desses projetos

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

141

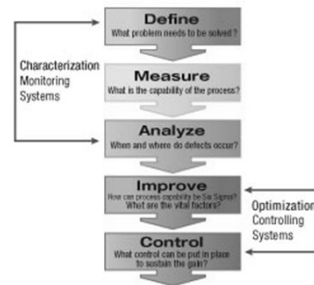
Método DMAIC

- D – Define (Definir)
 - ✓ Definir com precisão o escopo do projeto
- M – Measure (Medir)
 - ✓ Determinar a localização ou foco do problema
- A – Analyse (Analisar)
 - ✓ Determinar as causas de cada problema prioritário
- I – Improve (Melhorar)
 - ✓ Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário
- C – Control (Controlar)
 - ✓ Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

142

Método DMAIC



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

143

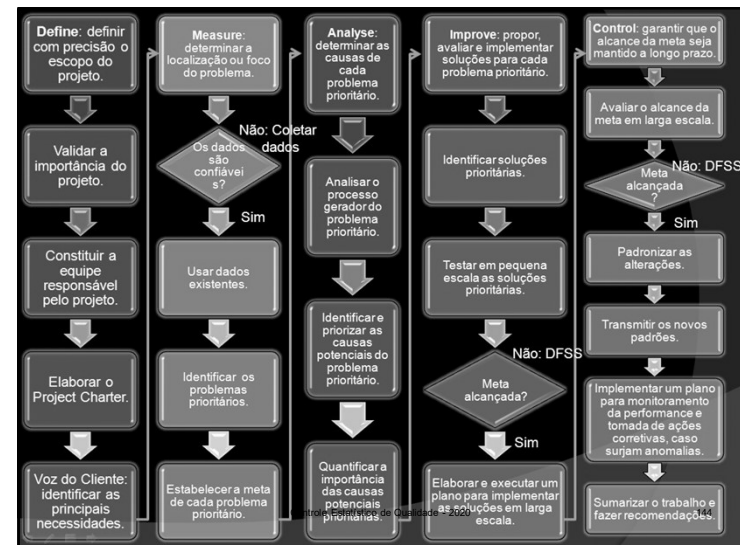


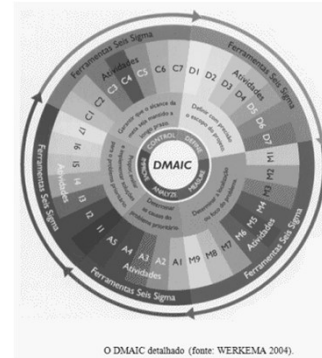
Tabela 6: Técnicas e ferramentas da qualidade utilizadas nas etapas do método DMAIC em % de respondentes.

TÉCNICAS E FERRAMENTAS	Etapas do método DMAIC				
	Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar
Técnicas de Coleta de Dados	X	X	X	X	X
Histograma		X	X	X	
Diagrama de Pareto		X	X	X	
Brainstorming		X	X	X	
Cartas de Controle		X	X	X	X
Índices de Capacidade		X	X	X	
Planograma	X	X	X	X	X
Mapa de Processo				X	X
Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção				X	X
Controle Estatístico de Processo				X	X
Mapeamento do Processo				X	X
FMEA		X		X	X
Mapa de Raciocínio			X		
Diagrama de Causa e Efeito			X		
Análise Econômica					
Boxplot					
Análise de Variância					
Visão do Cliente	X				
Análise de Causa Raiz			X		
Teste de Hipóteses					
Planejamento de Experimentos			X	X	X
Análise Multivariada					
Diagrama de Relações		X	X		
Diagrama de Atividades					
Relatório de Anomalias					
Carta Multi-Vin					
Diagrama de Matriz		X		X	
Stakeholder Analysis					
Ensaios de Vida Acelerada	X				
FTA					
Teste de Mercado					
PERT/CPM					
Teste de Operação					
Operação Evolutiva					
POPC					
OCAP					

Legenda:
 Dez técnicas e ferramentas mais utilizadas nas etapas do método DMAIC.
 Dez técnicas e ferramentas menos utilizadas nas etapas do método DMAIC.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020 145

Integração Ferramentas 6 Sigma ao DMAIC



O DMAIC detalhado (fonte: WERKEMA 2004).

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

146

Define Oportunidades
O que é?

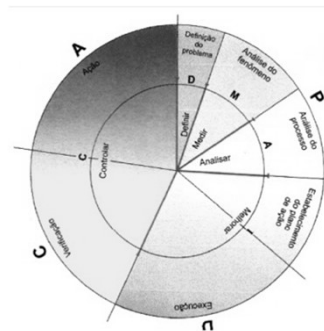
Mede Performance
De que modo fazemos?

Analisa Oportunidades
O que está errado?

Melhora Performances
O que precisamos fazer?

Controla Performance
Como garantir performance?

Correspondência entre DMAIC e PDCA



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

147

- Métricas para quantificar resultados da empresa:
 - ✓ Defeitos por unidade
 - ✓ Defeitos por oportunidade
 - ✓ Defeitos por milhão de Oportunidades
 - ✓ Escala Sigma

Definir

- Definir o Efeito indesejável de um processo que deve ser eliminado.
- Atividades
 - ✓ Montar equipe para aplicar as ferramentas 6 Sigma;
 - ✓ Definir os requisitos do cliente, traduzindo-os em Características Críticas para a Qualidade
 - ✓ Desenhar os processos críticos procurando identificar os que tem relação com os CPQs do cliente e os que estão gerando resultados ruins
 - ✓ Realizar uma análise custo-benefício

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

148

✓ Desenvolver o Project Charter

- Objetivos do negócio
- Relato do problema
- Escopo do projeto
- Metas e Objetivos
- Milestones
- Regras e responsabilidades do time do projeto
- Planejamento do Projeto

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

149

Medir

- O processo é desenhado, medindo-se as variáveis principais
- Atividades

✓ Desenhar o processo e sub-processos envolvidos com o projeto, definindo as entradas e saídas. Estabelecer as relações $y = f(x)$



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

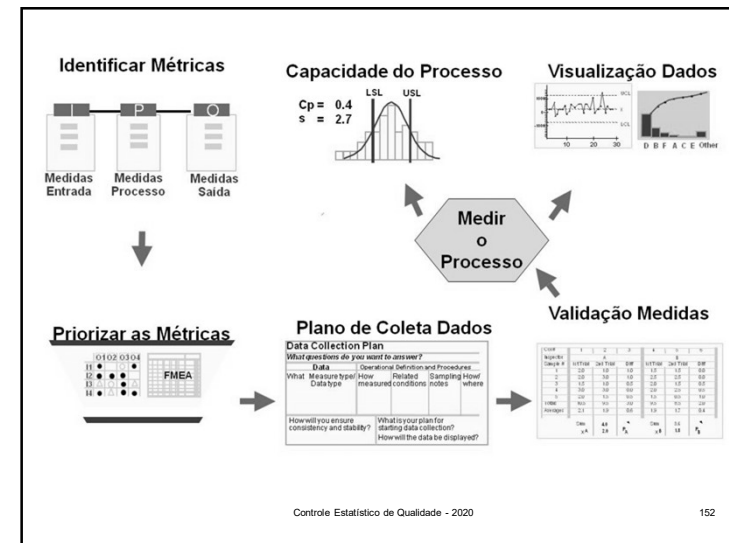
150

- Atividades:

- ✓ Criação do Plano de Coletas de dados
- ✓ Descrição dos critérios específicos usados para as medidas (o que?), a método de coleta dos dados (como?), tamanho amostra (quanto?) e responsável pela coleta (quem?)
- ✓ Assegurar que:
 - Os dados coletados são significantes;
 - Os dados coletados são válidos;
 - Todos os dados relevantes são coletados ao mesmo tempo
- ✓ Coletar dos dados
- ✓ Definir a capacidade Seis Sigma do processo atual e estabelecer os objetivos de melhoria do projeto

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

151



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

152

- Ferramentas:

- ✓ Diagrama de Pareto
- ✓ Histograma
- ✓ Gráfico Sequencial
- ✓ Carta de Controle
- ✓ Análise de Séries Temporais
- ✓ Índices de Capacidade
- ✓ Análise Multivariada
- ✓ etc.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

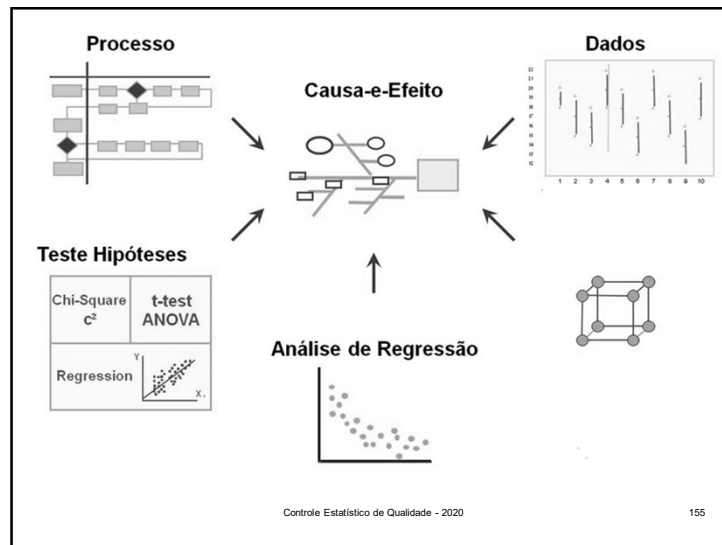
153

Analisar

- A análise dos dados por meio de ferramentas estatísticas e da qualidade:
- Atividades
 - ✓ Análise de dados de modo a identificar as causas óbvias e não óbvias
 - ✓ Identificação e priorização das causas raízes
 - ✓ Validação estatística das causas raízes
 - ✓ Identificação de possíveis soluções

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

154



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

155

- Ferramentas:

- ✓ Diagrama de Causa-e-efeito
- ✓ FMEA

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

156

Melhorar

- Promovem-se melhorias no processo existente.
- Dados estatísticos devem ser traduzidos em dados do processo.
- Estabelecimento de Plano de Ação.
- Atividades
 - ✓ Desenvolver soluções potenciais
 - ✓ Avaliar, selecionar e priorizar melhores soluções
 - ✓ Implantar soluções pilotos
 - ✓ Confirmar realização dos objetivos do projeto

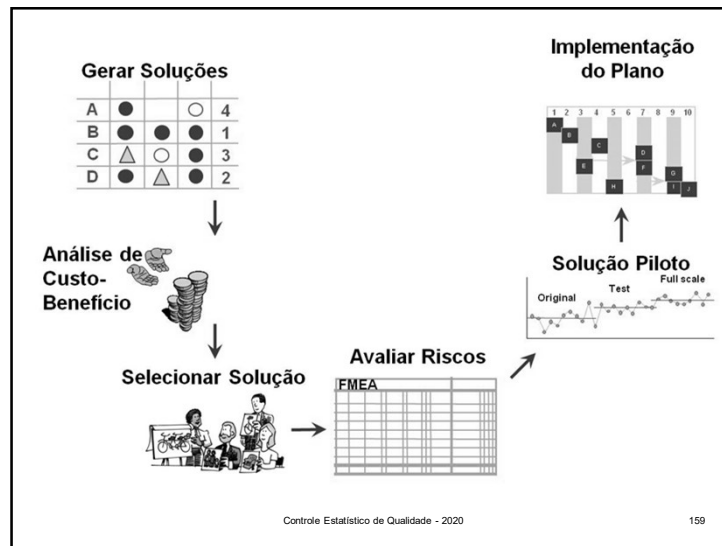
Controle Estatístico de Qualidade - 2020

157

- ✓ Elaborar e implementar plano para a implementação de soluções em larga escala.
- ✓ Cálculo da nova capacidade do processo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

158



Controle Estatístico de Qualidade - 2020

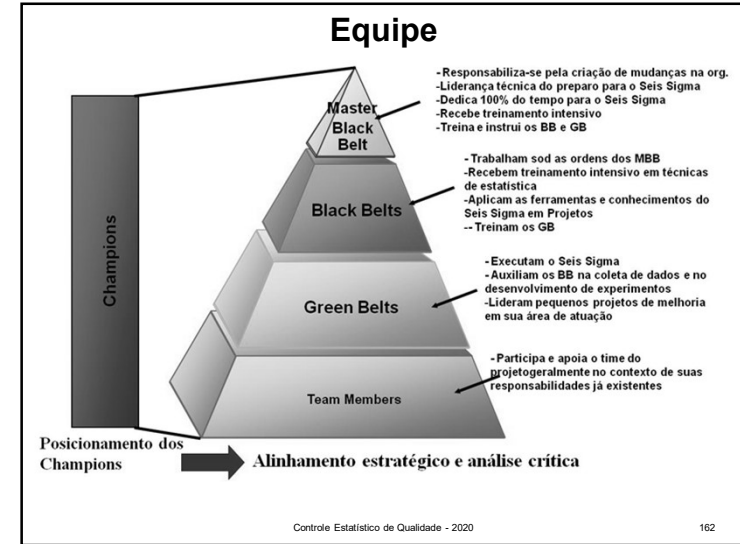
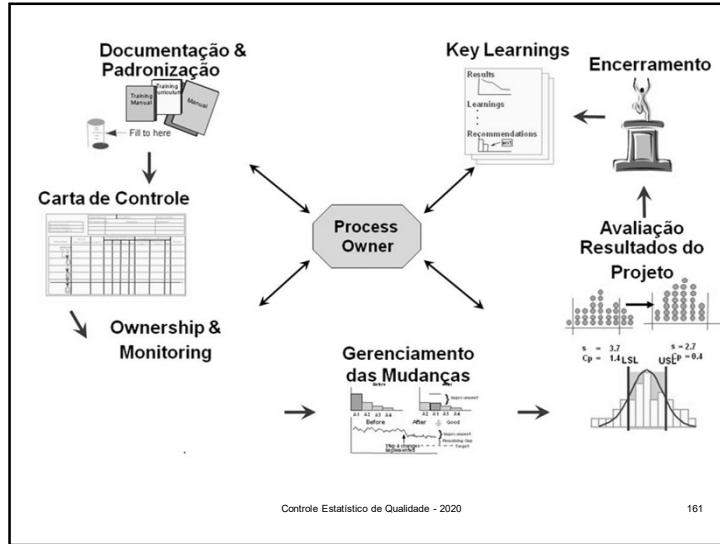
159

Controlar

- Estabelecimento e validação de sistema de medição e controle
 - ✓ Objetivo: medir continuamente o processo, para manutenção da capacidade do processo.
- Atividades
 - ✓ Elaboração de novos procedimentos de medição e controle
 - ✓ Validação do desempenho e do retorno financeiro
 - ✓ Controle Estatístico do Processo

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

160



Custos de Qualidade

Table 1-4 Quality Costs

Prevention Costs	Internal Failure Costs
Quality planning and engineering	Scrap
New products review	Rework
Product/process design	Retest
Process control	Failure analysis
Burn-in	Downtime
Training	Yield losses
Quality data acquisition and analysis	Downgrading (off-specing)
Appraisal Costs	External Failure Costs
Inspection and test of incoming material	Complaint adjustment
Product inspection and test	Returned product/material
Materials and services consumed	Warranty charges
Maintaining accuracy of test equipment	Liability costs
	Indirect costs

Referências

Bibliografia Recomendada

- CARVALHO, M.M. E PALADINI, E.P. *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos*. Campus, 2006.
- Werkema, C. (Werkema Ed.)
- *Criando a Cultura Seis Sigma*
- Aguiar, S. (INDG)
Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma
- Rotondaro, G. G., coord. (Atlas)
Seis Sigma: Estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços.

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

167

- Marshall, I. et al. *Gestão da Qualidade*. FGV, 2010
- Abrantes, J. (Interciência) *Gestão da Qualidade*
- Moreira, R.T. (notas de aula) *Seis Sigma*

Controle Estatístico de Qualidade - 2020

168