

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MODELO DE CONTROLE  
DO DESEMPENHO SEIS SIGMA  
EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO CONTÍNUA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Cristiano Roos**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

**MODELO DE CONTROLE  
DO DESEMPENHO SEIS SIGMA  
EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO CONTÍNUA**

**por**

**Cristiano Roos**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, área de concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**

**Orientador: Leandro Cantorski da Rosa**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

R781m      Roos, Cristiano  
                Modelo de controle do desempenho seis sigma em processos de produção contínua  
                / Cristiano Roos. - 2008.  
83 f. : il.

Orientador : Leandro Cantorski da Rosa.  
Dissertação ( Mestrado ) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.  
Bibliografia.

1. Controle de qualidade. 2. Controle da produção. 3. Desempenho. 4. Engenharia de produção. I. Rosa, Leandro Cantorski da. II. Universidade Federal de Santa Maria. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de produção. III. Título.

CDD: 658.562

Bibliotecária: Muriel Thurmer - CRB 10/1558

---

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Cristiano Roos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Léo Kraether, n. 901, casa 51, Bairro Country, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, CEP 96820-790

Fones: (51) 37177212 e (51) 99937456; Endereço eletrônico: [cristiano.roos@gmail.com](mailto:cristiano.roos@gmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinalada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODELO DE CONTROLE  
DO DESEMPENHO SEIS SIGMA  
EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO CONTÍNUA**

elaborada por  
**Cristiano Roos**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Leandro Cantorski da Rosa, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)**

**Jorge André Ribas Moraes, Dr. (UNISC)**

Santa Maria, 12 de janeiro de 2009

*Dedico este trabalho aos meus pais  
que preciosamente me apoiaram  
nesta caminhada*

## AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa importante de minha formação profissional, quero agradecer as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com a realização deste trabalho.

*Aos meus pais, pelo aconselhamento, apoio, e amor dedicados durante toda minha trajetória.*

*À minha namorada, pela compreensão, apoio e presença fundamental em minha vida.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria, pela teia de conhecimentos propiciados.*

*Ao professor e amigo Leandro Cantorski da Rosa, pelo ensinamento essencialmente meritório.*

*Ao professor e amigo Jorge André Ribas Moraes, pelo ensinamento primordial.*

*À professora e amiga Leoni Pentiado Godoy, pelo apoio em minha passagem no programa.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.*

*Às organizações estudadas, por oportunizarem a realização das pesquisas em seus processos de produção.*

*Aos meus verdadeiros amigos, pelas horas de descontração.*

*“Nenhum homem realmente  
produtivo pensa como se estivesse  
escrevendo uma dissertação”*

*Albert Einstein*

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MODELO DE CONTROLE DO DESEMPENHO SEIS SIGMA EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO CONTÍNUA**

**AUTOR: CRISTIANO ROOS**

**ORIENTADOR: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA**

Data e local da defesa: Santa Maria, 12 de janeiro de 2009.

Com o aumento do grau de exigência do cliente, a busca pela melhoria da qualidade está se consolidando como uma das estratégias mais seguidas nos diferentes segmentos de mercado. A iniciativa Seis Sigma é um sistema de gestão da qualidade que tem se mostrado eficiente e eficaz em nortear organizações no caminho da melhoria, tomando a qualidade como referência fundamental. Relacionada à iniciativa Seis Sigma concretizou-se o problema de pesquisa ascendente desta dissertação: como controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua? De tal modo, o objetivo desta dissertação é desenvolver, no contexto do Seis Sigma, um modelo objetivo de controle do desempenho em processos de produção contínua. Os procedimentos de pesquisa utilizados foram, com base nos objetivos, a pesquisa exploratória e, com base nos procedimentos técnicos, a pesquisa bibliográfica, a pesquisa do tipo estudo de caso e a pesquisa experimental. Para alicerçar a dissertação, procedeu-se com a concretização de um referencial teórico sobre modelos de controle de desempenho e sobre a iniciativa Seis Sigma, sendo identificadas na seqüência, em três organizações, duas peculiaridades dos processos de produção contínua: a importância do controle do desempenho em processos de produção contínua, e o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes. Propôs-se então um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, modelo que contemplou a utilização de dois indicadores de desempenho que foram denominados nível sigma e nível de perda. Avaliou-se positivamente o modelo, pois os resultados demonstraram que o modelo de controle do desempenho apresenta características capazes de trazer mais objetividade no controle do desempenho em processos de produção contínua, pois quando diferentes pesos são atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, têm-se diferentes orientações objetivas do modelo. Deste modo, a proposição e a avaliação do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua ofereceram um maior entendimento acerca da temática proposta, além de mostrar a importância de modelos que permitam o controle de ações gerenciais capazes de aumentar a satisfação dos clientes: fato que interfere na lucratividade e sobrevivência das organizações.

Palavras-chave: Seis Sigma; controle do desempenho; processo de produção contínua.



## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MODEL OF SIX SIGMA PERFORMANCE CONTROL IN CONTINUOUS PRODUCTION PROCESSES**

**AUTHOR: CRISTIANO ROOS**  
**ADVISER: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA**  
Date and local of the defense: Santa Maria, January 12, 2009.

With the increase of the customer's demand degree, the search for the quality improvement is consolidated as one of the strategies more proceeded in the different market segments. The Six Sigma initiative is a system of quality management that has been showing efficient and effective in guide organizations in the way of improvement, taking the quality as fundamental reference. Related to the Six Sigma initiative, the problem of ascending research of this dissertation it was summed up: how to control in an objective way the performance Six Sigma in processes of continuous production? In a way, the objective of this dissertation is to develop, in the Six Sigma context, an objective model of performance control in processes of continuous production. The used research procedures were, with base in the objectives, the exploratory research and, with base in the technical procedures, the bibliographical research, the research of case study type and the experimental research. For fund the dissertation, was proceeded with the materialization of a theoretical reference on models of performance control and on the Six Sigma initiative, being identified in the sequence, in three organizations, two peculiarities of the processes of continuous production: the importance of the performance control in processes of continuous production, and the care exercised with the expedition of products doesn't conform. A model of Six Sigma performance control in processes of continuous production was proposed, model that contemplated the use of two performance indicators that were denominated sigma level and loss level. The model was positively evaluated, because the results demonstrated that the model of performance control presents characteristics capable to bring more objectivity in the performance control in processes of continuous production, because when different weights are attributed at the indicators of acting sigma level and loss level, different objective orientations of the model are had. In this way, the proposition and the evaluation of the model of Six Sigma performance control in processes of continuous production offered a larger understanding concerning the thematic proposal; besides showing the importance of models that they allow the control of capable managerial actions they increase the customers' satisfaction: fact that interferes in the profit and survival of the organizations.

Key-words: Six Sigma; performance control; process of continuous production

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Relação do nível sigma com a posição competitiva da organização .....	19
TABELA 2	Relação de defeitos por milhão de oportunidades a curto e longo prazo .....	19
TABELA 3	Plano de experimento relacionado ao primeiro problema .....	28
TABELA 4	Plano de experimento relacionado ao segundo problema .....	28
TABELA 5	Tabela de conversão Seis Sigma .....	35
TABELA 6	Informações relacionadas aos processos abordados .....	57
TABELA 7	Representação dos cálculos para os processos 1 e 2 .....	58
TABELA 8	Representação dos cálculos para os processos 3 e 4 .....	59
TABELA 9	Representação dos cálculos segundo o método de priorização proposto .....	60
TABELA 10	Representação dos resultados segundo o método de priorização proposto ....	61
TABELA 11	Representação dos resultados segundo o método de priorização proposto ....	61

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Distribuição normal de três sigmas a seis sigmas .....	20
FIGURA 2	Distribuição normal de seis sigmas com deslocamento ao longo do tempo....	20
FIGURA 3	Delineamento metodológico da pesquisa .....	25
FIGURA 4	Abordagens, métodos e procedimentos de pesquisa .....	29
FIGURA 5	Tipos de processos em produção de bens .....	31
FIGURA 6	Tipos de processos em produção de serviços .....	31
FIGURA 7	Função de perda tradicional .....	33
FIGURA 8	Função de perda de Taguchi .....	34
FIGURA 9	Como é designada a aplicação do modelo proposto .....	43
FIGURA 10	Modelo proposto .....	44
FIGURA 11	Exemplo do modelo proposto .....	44
FIGURA 12	Exemplo do modelo proposto .....	45
FIGURA 13	Função de perda proposta .....	46
FIGURA 14	Funções de perda para características do tipo maior é melhor .....	47
FIGURA 15	Funções de perda para características do tipo menor é melhor .....	47
FIGURA 16	Exemplo de obtenção do nível sigma e do nível de perda .....	51
FIGURA 17	Processo de negócio onde se realizou a coleta de dados .....	56
FIGURA 18	Resultados dos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda .....	60
FIGURA 19	Erro associado a cada função de perda .....	62

## LISTA DE SIGLAS

$\Delta$	desvio da meta que exigiria substituição, re-trabalho ou reparo
$\Delta_{MÁX}$	maior valor contido na matriz $Z$
$\Delta_{MIN}$	menor valor contido na matriz $Z$
$\Delta\alpha_i$	subtração de $\alpha_p$ de $\alpha_i$ para o processo $i$
$\Delta\beta_i$	subtração de $\beta_p$ de $100/\beta_i$ para o processo $i$
$A_0$	custo total do produto ou de substituição deste
$C_i$	grau de relação para o processo $i$
$DPMO$	número de defeitos por milhão de oportunidades
$k$	coeficiente de perda da qualidade que converte o desvio do alvo em valores monetários
$LEI$	limite de especificação inferior para a característica de qualidade em estudo
$LES$	limite de especificação superior para a característica de qualidade em estudo
$L_i$	perda monetária associada com o desvio da meta para uma unidade $i$
$L_{ik}$	perda monetária associada com o desvio do limite de especificação inferior
$L_{iz}$	perda monetária associada com o desvio do limite de especificação superior
$m$	meta para a característica de qualidade em estudo
$M$	matriz que contém os pesos relativos
$N$	matriz que contém os graus de relação
$ND$	número de defeitos ou de não conformidades no período de análise
$NO$	número de oportunidades consideradas por unidade
$NU$	número de unidades consideradas no período de análise
$X$	série comparativa
$Y$	série padrão
$y_i$	valor medido na unidade $i$ para a característica de qualidade em estudo
$Z$	matriz resultante
$\alpha$	nível sigma
$\alpha_i$	indicador sigma para o processo $i$
$\alpha_p$	menor índice nível sigma que os processos em questão admitem
$\beta$	nível de perda
$\beta_i$	indicador de perda para o processo $i$

$\beta_p$  ..... menor índice nível de perda que os processos em questão admitem  
 $\gamma\alpha_i$  ..... peso relativo do indicador sigma para o processo  $i$   
 $\gamma\beta_i$  ..... peso relativo do indicador de perda para o processo  $i$   
 $\eta$  ..... uma constante  
 $\lambda_\alpha$  ..... peso maior ou igual a zero atribuído ao indicador sigma  
 $\lambda_\beta$  ..... peso maior ou igual a zero atribuído ao indicador de perda  
 $\xi$  ..... identificador que apenas afeta o valor relativo de cada peso

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Considerações iniciais .....	14
1.2 Objetivos .....	15
1.2.1 Objetivo geral .....	15
1.2.2 Objetivos específicos .....	15
1.3 Justificativa .....	16
1.4 Delimitação do trabalho .....	17
1.5 Estrutura do trabalho .....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO: SEIS SIGMA .....	18
2.1 Definição do Seis Sigma .....	18
2.2 Dinâmica do Seis Sigma .....	21
2.3 Síntese do referencial teórico sobre Seis Sigma .....	23
3 MÉTODO .....	24
3.1 Delineamento metodológico da pesquisa .....	24
3.2 Abordagens de pesquisa .....	26
3.3 Métodos de pesquisa .....	26
3.4 Procedimentos de pesquisa .....	26
4 PROÊMIO DO MODELO .....	30
4.1 Considerações iniciais .....	30
4.2 Processo de produção .....	30
4.3 Controle do desempenho .....	32
4.4 Peculiaridades nos processos de produção contínua .....	36
4.5 Considerações finais .....	40
5 PROPOSTA DO MODELO .....	42
5.1 Considerações iniciais .....	42
5.2 Modelo proposto .....	42
5.3 Complemento ao modelo proposto .....	45
5.4 Equações para o modelo proposto .....	47
5.5 Priorização no modelo proposto .....	52
5.6 Considerações finais .....	54

6 AVALIAÇÃO DO MODELO .....	55
6.1 Considerações iniciais .....	55
6.2 Avaliação do modelo proposto .....	55
6.3 Resultados .....	61
6.4 Considerações finais .....	63
7 CONCLUSÃO .....	64
REFERÊNCIAS .....	67
APÊNDICE A .....	79
APÊNDICE B .....	83

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

O principal escopo da Engenharia de Produção é o trabalho no projeto, na implantação e na melhoria de sistemas de produção, onde basicamente busca-se a combinação racional de materiais, equipamentos, informações, energias, ambientes e pessoas para a produção de bens e serviços. Todo esforço é no sentido de se ter processos de produção de bens e serviços com o melhor desempenho possível. Enquanto de maneira focada, a Engenharia de Produção busca a otimização de resultados em qualquer tipo de organização, de maneira abrangente busca nas diferentes áreas do conhecimento princípios e métodos para esta otimização.

Seja para a melhoria do desempenho de processos específicos ou para a otimização dos resultados globais de uma organização, torna-se indispensável o seguimento de estratégias de negócio bem definidas e executáveis. As estratégias de negócio apontam para o horizonte almejado pela maioria das organizações: o lucro e a sobrevivência em longo prazo. Para tanto o papel de protagonista fica por conta do cliente.

O cliente demanda necessidades que são traduzidas em especificações dos produtos e dos serviços, de maneira que os papéis coadjuvantes fiquem por conta dos princípios e métodos envolvidos para o melhor atendimento desta demanda, ou até mesmo, para a superação desta. As especificações demandadas podem ser das mais variadas espécies, contudo atender o cliente no tempo, com o preço e a qualidade desejados sempre foram as demandas de maior peso. Independente da conceituação teórica que seja admitida, a qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores para o cliente no momento da decisão por produtos e serviços que concorrem entre si.

A busca constante das organizações pela melhoria da qualidade está se consolidando como uma das estratégias mais seguidas nos diferentes segmentos de mercado. Esta realidade



é motivada pela vantagem competitiva que a qualidade proporciona frente às crescentes exigências dos clientes, que sem dúvida são beneficiados pela globalização da concorrência, pelo desenvolvimento tecnológico, pelo avanço científico e pela disponibilidade cada vez mais acentuada de melhores produtos e serviços.

O método de gestão da qualidade adotado por uma organização representa o caminho escolhido para adequar-se ao nível de qualidade demandado pelo cliente. Neste contexto, a iniciativa Seis Sigma apresenta um sistema de gestão que tem se mostrado eficiente e eficaz em nortear organizações no caminho da melhoria, tomando a qualidade como referência fundamental.

O Seis Sigma tornou-se mundialmente respeitado devido à sua capacidade em melhorar o desempenho de processos, diminuindo os defeitos de produtos e serviços, reduzindo a variabilidade nos processos, assim como os custos operacionais, tendo-se como resultado disto, o aumento da satisfação dos clientes: fato que interfere diretamente na lucratividade e sobrevivência das organizações.

Considerando o contexto da Engenharia de Produção e do Seis Sigma, uma pergunta concretizou o problema de pesquisa ascendente desta dissertação: como controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua?

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver, no contexto do Seis Sigma, um modelo objetivo de controle do desempenho em processos de produção contínua.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Investigar em referenciais teóricos modelos de controle do desempenho associados ao Seis Sigma;

Detectar no contexto organizacional peculiaridades quanto ao controle do desempenho em processos de produção contínua;

Propor um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua;

Avaliar o modelo proposto com dados originários de processos de produção contínua.

### 1.3 Justificativa

À medida que as pesquisas avançam no cenário científico os temas e os assuntos abordados tornam-se cada vez menos generalistas e mais focados. Esta dissertação está inserida neste contexto, pois deixa de lado a abordagem generalista do contexto Seis Sigma e busca contribuir de modo focado. Busca especificamente desenvolver um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua.

O problema de pesquisa ascendente desta dissertação é derivado de relatos informais verificados nas esferas científicas e empresariais. Verifica-se nestas esferas a necessidade de um modelo para controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma, pois ao se analisar o referencial teórico constata-se que, apesar do grande volume de artigos e livros disponíveis, ainda existe uma carência de estudos no campo do controle do desempenho Seis Sigma, especialmente em processos de produção contínua.

A idéia de desenvolver o modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua é sustentada pelo argumento destes processos necessitarem de constantes esforços de controle, constituindo assim, um importante cenário de estudo na Engenharia de Produção. Comumente, estes processos de produção possuem os esforços de controle especializados e computadorizados, fatos que podem facilitar a utilização do modelo a ser proposto e avaliado, modelo que possuirá características vinculadas à utilização destes controles.

Foram encontrados, no referencial teórico, apenas modelos de controle comum aos diferentes tipos de processos de produção, confirmando desta maneira a inexistência de um modelo objetivo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. De tal modo, para que esta dissertação possa ser abordada com a relevância de uma pesquisa científica, tem-se a necessidade de suprir essa carência. Isto, na verdade, é uma forma de contribuir para que um leque com mais opções gerenciais consistentes sobre o Seis Sigma esteja disponível.

O tema trabalhado nesta dissertação possui um forte apelo prático, tanto visto do ponto de vista científico quanto organizacional. Optou-se em utilizar o Seis Sigma, como tema desta pesquisa, em razão de sua evolução no âmbito das pesquisas científicas que por sua vez têm mostrado o Seis Sigma como grande responsável pelos resultados positivos de muitas organizações.

#### **1.4 Delimitação do trabalho**

Por se tratar de uma pesquisa científica de Engenharia de Produção relacionada a uma aplicação prática, a produção contínua, torna-se necessário apresentarem-se as delimitações de sua dinâmica. A pesquisa delimita-se ao estudo dos processos de produção contínua contidos em cada uma das três organizações abordadas. Esses processos de produção contínua, que são os processos de negócio das organizações, foram utilizados como base para desenvolver o modelo de controle do desempenho em questão. A pesquisa foi iniciada em maio de 2008 e finalizada em dezembro de 2008.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

Organizou-se esta dissertação nos capítulos que seguem:

- Capítulo 1 - Introdução; são apresentadas as considerações iniciais sobre a dissertação, os objetivos, a justificativa, a delimitação do trabalho e a estrutura do trabalho.
- Capítulo 2 - Referencial Teórico: Seis Sigma; é apresentado o referencial teórico com o intuito de subsidiar o desenvolvimento da dissertação no campo do Seis Sigma.
- Capítulo 3 - Método; é apresentado o delineamento metodológico da pesquisa, as abordagens de pesquisa, os métodos de pesquisa e os procedimentos de pesquisa.
- Capítulo 4 - Proêmio do Modelo; são apresentados alguns modelos de controle do desempenho e na seqüência peculiaridades identificadas em processos de produção contínua.
- Capítulo 5 - Proposta do Modelo; é apresentado o modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua.
- Capítulo 6 - Avaliação do Modelo; são apresentadas as avaliações realizadas do modelo proposto em processos de produção contínua.
- Capítulo 7 - Conclusão; é apresentada a conclusão da dissertação e algumas considerações sobre futuras pesquisas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO: SEIS SIGMA

### 2.1 Definição do Seis Sigma

O Seis Sigma é uma iniciativa estratégica de gestão e com forte propriedade estatística que busca reduzir a variabilidade nos processos das organizações, interferindo diretamente na qualidade de produtos e serviços e indiretamente na satisfação do cliente (ECKES, 2001; PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2000; RODRIGUES, 2004; ROTONDARO, 2002). O Seis Sigma alinha a gestão da qualidade com as estratégias de negócio, podendo ser aplicado não somente nos principais processos, mas sim em todos os processos existentes na organização. Diferente de outras iniciativas de gestão da qualidade, o Seis Sigma vem gerando importantes resultados financeiros (CARVALHO e PALADINI, 2006; ECKES, 2001; RODRIGUES, 2004; ROTONDARO, 2002).

O nome Seis Sigma, tradução de *Six Sigma*, é uma marca registrada pela Motorola, organização que desenvolveu a iniciativa nos anos de 1980 (PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001). O Seis Sigma ganhou repercussão nos anos de 1990, depois que organizações como Motorola, General Electric, Allied Signal, Citybank, entre outras, passaram a utilizar e apresentar o Seis Sigma como principal iniciativa à condução de resultados de sucesso (CORONADO e ANTONY, 2002). Os resultados de sucesso destas organizações foram obtidos a partir de um constante esforço para solucionar problemas, um forte empenho em reduzir a variabilidade nos processos e um fundamental zelo pelas necessidades demandadas pelo cliente (ZINKGRAF, 2000). O nome Seis Sigma vem da linguagem estatística, fazendo referência a seis sigmas para mais e para menos da média. Estes seis sigmas são o nível de desempenho objetivado pela iniciativa Seis Sigma, correspondendo a um processo praticamente livre de não conformidades, apenas 3,4 não conformidades ou defeitos por milhão de oportunidades (CHAKRABARTY e TAN, 2007).

Utiliza-se no Seis Sigma o termo defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) para expressar a quantidade de não conformidades ou de defeitos num processo. O número de defeitos por milhão de oportunidades é convertido para nível sigma, termo mais usual na linguagem das organizações que utilizam a iniciativa Seis Sigma (HOLTZ e CAMPBELL, 2004). O nível sigma global de uma organização é resultado da média de todos os níveis sigmas controlados nos processos. Quanto mais próximo de um nível sigma global de seis sigmas, melhor caracteriza-se a posição competitiva da organização (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação do nível sigma com a posição competitiva da organização

<b>Nível Sigma</b>	<b>Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)</b>	<b>Posição competitiva</b>
1	697672,15	Organização não competitiva
2	308770,21	
3	66810,63	Organização dentro da média mundial
4	6209,79	
5	232,67	Organização de classe mundial
6	3,40	

Fonte: Adaptado de Rotondaro (2002)

É interessante ressaltar que existe uma diferença entre os seis sigmas da linguagem estatística e os seis sigmas da linguagem Seis Sigma (VOELKEL, 2004). Os seis sigmas da linguagem estatística implicam em 0,002 defeitos por milhão de oportunidades, conformação de 99,9999998% (Figura 1). Já os seis sigmas da linguagem Seis Sigma implicam em 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, conformação de 99,99966% (Figura 2). As duas linguagens não devem ser consideradas separadamente, pois a diferença que existe pode ser justificada pela variação de 1,5 sigmas que ocorre naturalmente na média dos processos ao longo do tempo, já que vários fatores podem provocar esta variação (BREYFOGLE, 2003; VOELKEL, 2004). Em relação a esta variação, pode-se verificar na Tabela 2 o que ocorre a curto e longo prazo com os defeitos por milhão de oportunidades.

Tabela 2 – Relação de defeitos por milhão de oportunidades a curto e longo prazo

<b>Nível Sigma</b>	<b>DMPO (Curto Prazo)</b>	<b>DMPO (Longo Prazo)</b>
0	1000000,000	1000000,00
1	317310,520	697672,15
2	45500,124	308770,21
3	2699,934	66810,63
4	63,372	6209,79
5	0,574	232,67
6	0,002	3,40

Fonte: Adaptado de Breyfogle (2003)

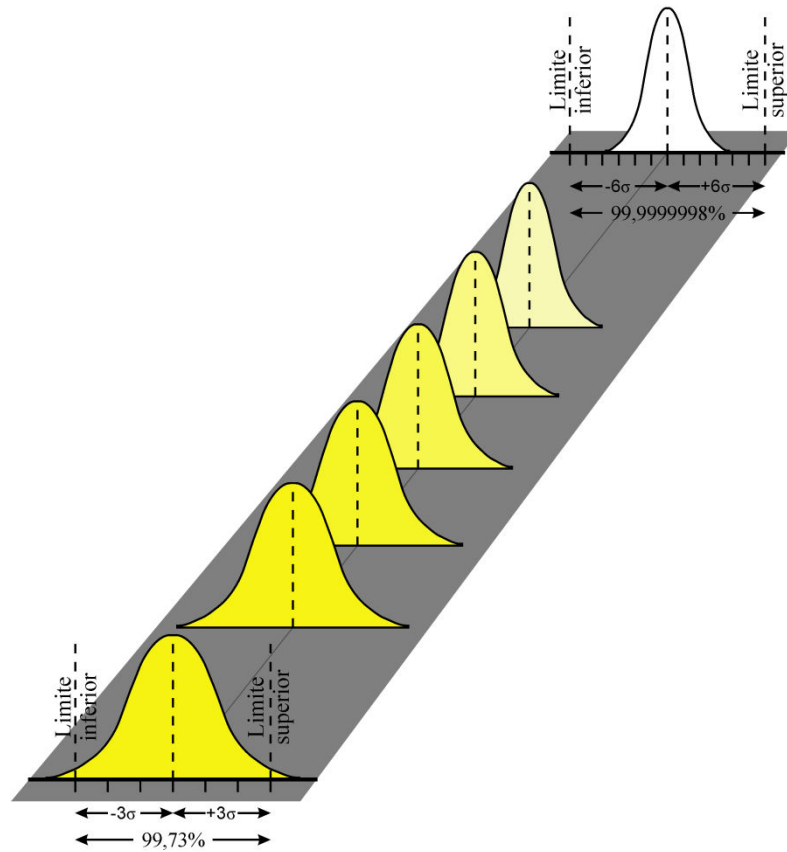


Figura 1 – Distribuição normal de três sigmas a seis sigmas

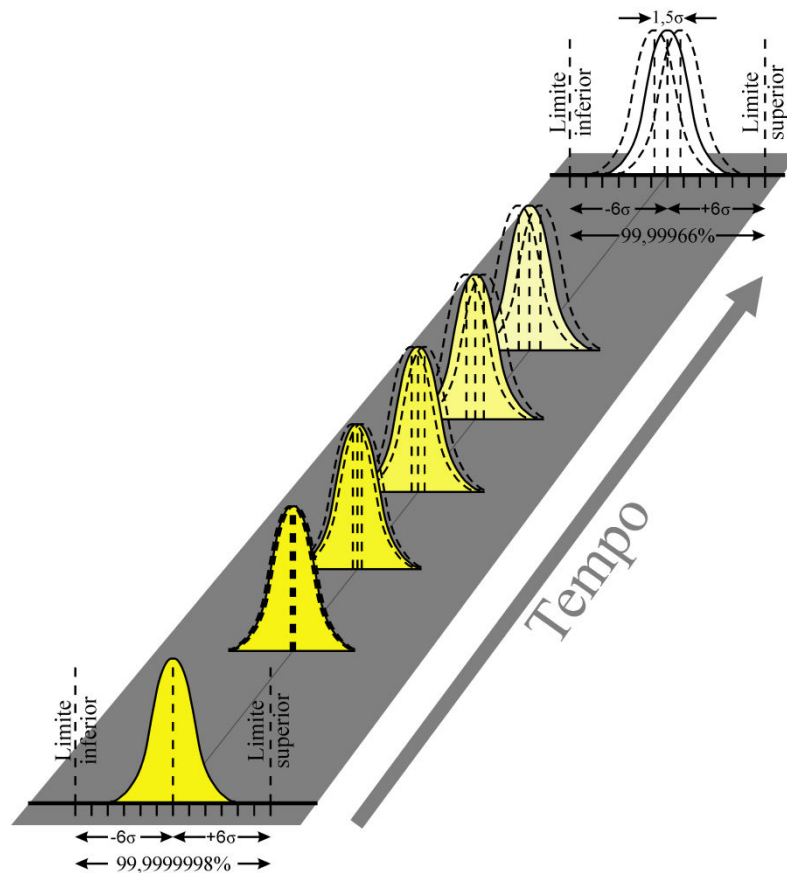


Figura 2 – Distribuição normal de seis sigmas com deslocamento ao longo do tempo

## 2.2 Dinâmica do Seis Sigma

O lucro e a sobrevivência em longo prazo são os objetivos da maioria das organizações. Contudo muitas esquecem que a lucratividade e a sobrevivência estão diretamente relacionadas à satisfação e ao encantamento do cliente (ECKES, 2001). No Seis Sigma tem-se isso bem claro: os clientes demandam necessidades a serem atendidas; os processos são trabalhados de forma a melhor atender as necessidades demandadas pelos clientes; e os demais recursos, princípios e métodos são utilizados nos processos para projetá-los, melhorá-los, controlá-los e integrá-los (RODRIGUES, 2004).

Surge a questão: mas afinal, qual é a dinâmica do Seis Sigma? A resposta é simples: o Seis Sigma está fundamentado em princípios e métodos que fazem tudo acontecer com o auxílio de recursos, como por exemplo, pessoas, ferramentas e métodos. A organização deve adotar a iniciativa Seis Sigma como uma abordagem estratégica e com a difusão do pensamento estatístico, sendo o controle do desempenho fundamental para a melhoria dos resultados (ROTONDARO, 2002). O Seis Sigma pode ser utilizado de modo associado a outras iniciativas de gestão da qualidade, ou como a única iniciativa para a gestão da qualidade (MCADAM e LAFFERTY, 2004).

A abordagem estratégica do Seis Sigma possibilita a melhoria de resultados em toda organização a partir seguimento de objetivos estratégicos (HOLTZ e CAMPBELL, 2004; BYRNE, LUBOWE e BLITZ, 2007). Os objetivos estratégicos abrangem todos os níveis hierárquicos, orientando a organização no sentido da melhoria de resultados. Seguindo as definições de Slack, Chambers e Johnston (2002), os três níveis estratégicos hierárquicos em uma organização são: estratégia corporativa, estratégia de negócio, e estratégia funcional.

A difusão do pensamento estatístico em toda organização é fundamental para que a iniciativa Seis Sigma possa ser utilizada no seguimento de objetivos estratégicos (HONG e GOH, 2003). O pensamento estatístico permite além da obtenção da métrica fundamental de desempenho Seis Sigma, outras métricas importantes para a iniciativa Seis Sigma como, por exemplo: a validação de causas raiz de problemas, a identificação de fontes de variações nos processos, e a determinação de alternativas mais promissoras para a melhoria dos resultados (HONG e GOH, 2003; SNEE, 2003a).

Como já foi descrito, o controle do desempenho no Seis Sigma é fundamental para a melhoria dos resultados. O referencial teórico sobre o controle do desempenho no Seis Sigma é apresentado no capítulo 4, onde outros importantes modelos de controle do desempenho são apresentados.

A iniciativa Seis Sigma é efetivamente introduzida numa organização através da utilização de diferentes métodos de intervenção: **DMAIC** (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) (NAVE, 2002), **DFSS** (*Design For Six Sigma*) (BLACK e REVERE, 2006), **CDSS** (*Customer-Driven Six Sigma*) (MCCARTY e FISHER, 2007), **DMADV** (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) (SNEE, 2005), **DMADOV** (*Define, Measure, Analyze, Design, Optimize, Verify*) (YANG et al., 2007), **DABTL** (*Define, Architect, Build, Test, Launch*) (YANG et al., 2007), **DMAEV** (*Define, Measure, Analyze, Enable, Verify*) (YANG et al., 2007), **ICOV** (*Identify, Characterize, Optimize, Verify*) (MADER, 2002), **IDOV** (*Identify, Design, Optimize, Validate*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007), **DCCDI** (*Define, Customer Concept, Design, Implement*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007), **DMEDI** (*Define, Measure, Explore, Develop, Implement*) (CHAKRABARTY e TAN, 2007).

Contudo, o método mais difundido e usual é o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*). Este método, assim como os demais, possui uma abordagem cíclica. De modo resumido pode-se definir cada fase da seguinte maneira: 1. Definir, tradução de *Define*, é a etapa onde se identifica o problema a ser resolvido, definem-se os requisitos, e estabelecem-se metas; 2. Medir, tradução de *Measure*, é a etapa onde se valida o problema, e mede-se o desempenho atual; 3. Analisar, tradução de *Analyze*, é a etapa onde se desenvolvem hipóteses, identificam-se as causas raiz de problemas, e validam-se as hipóteses; 4. Melhorar, tradução de *Improve*, é a etapa onde se desenvolve idéias para remover causas raiz, testam-se soluções, padronizam-se soluções, e mede-se o novo desempenho; 5. Controlar, tradução de *Control*, é a etapa onde se estabelecem padrões para manter o desempenho, controla-se o desempenho, e corrigem-se os problemas quando necessário (HOLTZ e CAMPBELL, 2004; SENAPATI, 2004; SEKHAR e MAHANTI, 2006; THOMAS, BARTON e BYARD, 2008).

Indiferente do método que seja utilizado pela organização, a maneira mais usual de intervenção utilizando os métodos é através dos projetos Seis Sigma. Os projetos Seis Sigma, em geral, são derivados dos objetivos estratégicos, possuindo como propósito principal a redução da variabilidade nos processos. Num projeto Seis Sigma são definidos objetivos, etapas, responsáveis, recursos, tempos necessários, benefícios esperados, ou seja, é uma melhoria dos resultados agendada previamente (ANTONY, 2006; SNEE, 2001).

Indiferente do método, muitas ferramentas de subsídio à gestão da qualidade podem ser utilizadas nos projetos Seis Sigma para auxiliar na obtenção de resultados de sucesso. Alguns exemplos de ferramentas são: *team charter*, *benchmarking*, *brainstorming*, *failure mode and effects analysis*, *box plot*, *Poka Yoke*, mapeamento, fluxograma, matriz de priorização, análise de capacidade do processo, histograma, gráfico de Pareto, diagrama de



Ishikawa, diagrama seqüencial, análise de correlação e regressão, teste de hipóteses, planejamento de experimento, controle estatístico de processo, plano de ação, plano de controle, documentação e padronização (ANTONY, 2006; ANTONY et al., 2007b; ANTONY, KUMAR e MADU, 2005; BANUELAS et al., 2006; CHAKRABARTY e TAN, 2007; CONKLIN, 2004; ECKES, 2001; HAHN, DOGANAKSOY e STANARD, 2001; MADER, 2005; MAHANTI e ANTONY, 2005; MUNRO, 2000; PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001; RAISINGHANI et al., 2005; ROTONDARO, 2002; SNEE, 2003a).

A condução dos projetos Seis Sigma é atribuída a pessoas com um perfil próprio para a intervenção: os *champions* e os *belts*, nomes originais da iniciativa Seis Sigma (INGLE e ROE, 2001; LEE-MORTIMER, 2006a). Os *champions* são líderes organizacionais, os patrocinadores que lideram a iniciativa Seis Sigma. Os *belts* são classificados em *master black belts*, *black belts* e *green belts*. Os *master black belts* são líderes em gestão da qualidade, desempenhando um papel estratégico e gerencial frente aos projetos Seis Sigma. Os *black belts* são gerentes que atuam no nível operacional, liderando um certo número de projetos Seis Sigma específicos. Os *green belts* são pessoas que atuam no nível operacional, executando comumente apenas um projeto Seis Sigma específico de cada vez (HAIKONEN, SAVOLAINEN e JARVINEN, 2004).

### **2.3 Síntese do referencial teórico sobre Seis Sigma**

Neste capítulo foi apresentada uma síntese do referencial teórico sobre Seis Sigma. Como descrito previamente, esta dissertação suprime a abordagem generalista do contexto Seis Sigma e busca contribuir de modo focado: especificamente no controle do desempenho Seis Sigma. De tal modo, o controle do desempenho Seis Sigma será abordado nos capítulos seguintes.

Para o leitor, que pretende verificar a abordagem generalista do contexto Seis Sigma, foi elaborada uma classificação de referenciais teóricos para elucidar aspectos importantes sobre o Seis Sigma, como por exemplo: resultados organizacionais com a utilização do Seis Sigma, benefícios e limitações com a utilização do Seis Sigma, futuro do Seis Sigma, e estudos de caso com a utilização do Seis Sigma. Assim sendo, o Apêndice A apresenta os principais aspectos dentro do contexto generalista do Seis Sigma e relaciona-os aos referenciais teóricos.

## **3 MÉTODO**

### **3.1 Delineamento metodológico da pesquisa**

O delineamento metodológico desta pesquisa propõe uma dinâmica que visa à obtenção de resultados capazes de sustentar a construção de um conhecimento mais sólido sobre o controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Uma breve visão sobre o delineamento metodológico desta pesquisa pode ser visualizada na Figura 3, facilitando assim, a compreensão das escolhas realizadas quanto às abordagens, aos métodos e aos procedimentos utilizados. Nesta figura estão expressos também aproximações dos tempos empregados para a conclusão de cada momento.

O delineamento metodológico desta pesquisa está apoiado numa dinâmica que aborda seis momentos, sendo que estes foram definidos de acordo com que se atingiram os objetivos da dissertação. O termo dissertação é definido por Müller e Cornelsen (2007), ABNT (2005), Serra Negra e Serra Negra (2004).

O primeiro momento consistiu na formulação do problema de pesquisa e na definição dos objetivos e delimitações do trabalho para a obtenção dos resultados capazes de resolver o problema de pesquisa formulado: como controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua?

O segundo momento consistiu na concretização do referencial teórico sobre o tema Seis Sigma e respectivos modelos de controle do desempenho disponíveis. Este momento foi importante para subsidiar a proposição do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, modelo este, que pretende ser a solução do problema de pesquisa.

O terceiro momento versou como base para a proposição do modelo, identificando peculiaridades, no contexto teórico e principalmente no organizacional, quanto ao controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Foi o momento determinante para a proposição do modelo.

O quarto momento consistiu na proposição do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processo de produção contínua. As informações obtidas no segundo e no terceiro momentos da pesquisa foram trabalhadas a fim de constituir a base para a proposição do modelo. A modelagem matemática foi utilizada para auxiliar no desenvolvimento do modelo.

O quinto momento consistiu na avaliação do modelo, utilizando como base, dados coletados em processos de produção contínua. A avaliação do modelo teve o emprego de planos de experimento para auxiliar na conclusão sobre a avaliação do modelo.

O sexto momento compôs a conclusão da pesquisa, baseando-se na interpretação dos resultados realizada no quinto momento. Assim, finalizou-se a dissertação concluindo-se sobre o desempenho do modelo frente aos dados coletados em processos de produção contínua.

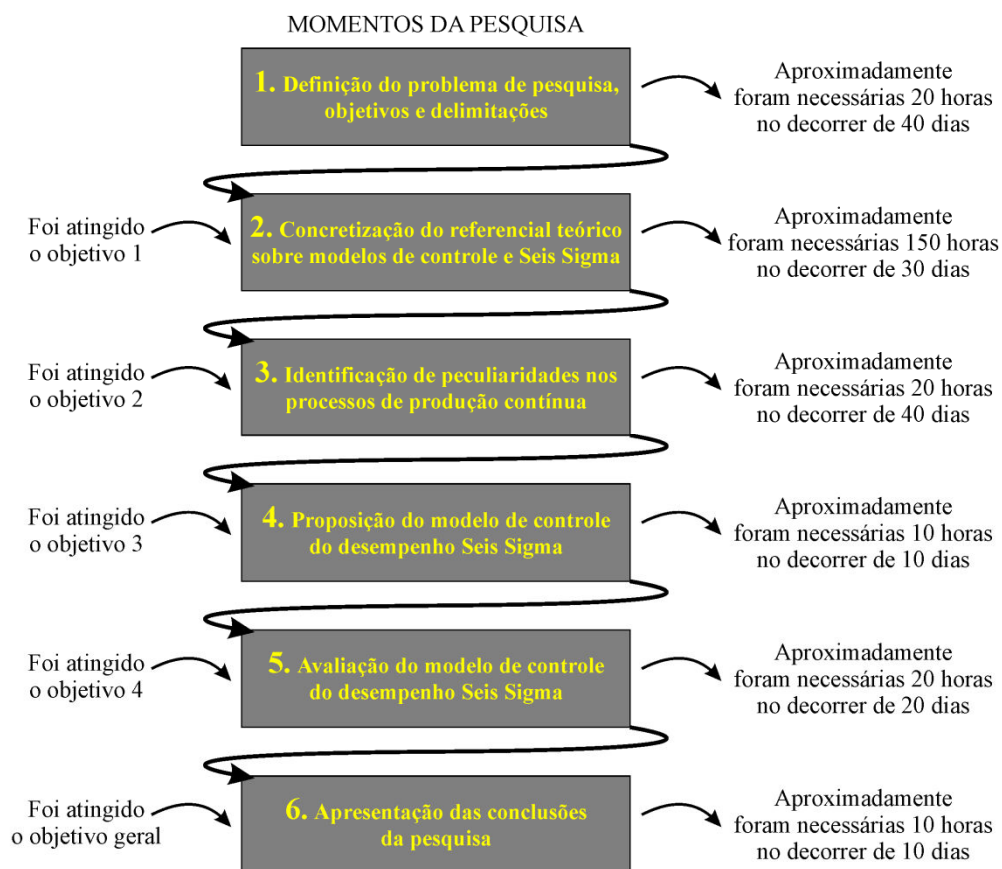


Figura 3 – Delineamento metodológico da pesquisa

### **3.2 Abordagens de pesquisa**

Seguindo as definições de Bell (2008), as abordagens de pesquisa, que orientaram o processo de investigação, e que estabeleceram formas de aproximação aos objetivos desta dissertação, são a abordagem quantitativa e a qualitativa (Figura 4). Como o referencial teórico sobre o contexto do controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua é limitado, a abordagem qualitativa foi utilizada em maior parte, isto é, em todos os momentos da pesquisa.

A abordagem quantitativa foi utilizada em momentos que se buscou objetividade no tratamento das informações. No delineamento metodológico da pesquisa estes momentos correspondem aos de proposição e avaliação do modelo de controle do desempenho Seis Sigma. A abordagem qualitativa está relacionada ao tipo de problema de pesquisa que motiva o desenvolvimento desta dissertação, o que sob a ótica de Yin (2005), é determinante para se optar por uma abordagem ou outra.

### **3.3 Métodos de pesquisa**

Seguindo as definições de Salomon (2001), os métodos de pesquisa utilizados para dar sustentação aos resultados obtidos nesta dissertação foram o indutivo e o dedutivo (Figura 4). O método de pesquisa indutivo foi utilizado em maior parte, pois nesta dissertação partiu-se de peculiaridades e caminhou-se para generalizações: no delineamento metodológico da pesquisa, a utilização do método indutivo corresponde aos momentos de proposição e avaliação do modelo, bem como ao de identificação de peculiaridades nos processos de produção contínua, peculiaridades estas que ajudaram a compreender melhor a proposta que se pretendeu generalizar. O método de pesquisa dedutivo foi utilizado toda vez que se passou a agir no contexto da justificação.

### **3.4 Procedimentos de pesquisa**

Seguindo as definições de Gil (2002), esta pesquisa, com base nos objetivos, é classificada em pesquisa exploratória e, com base nos procedimentos técnicos, é classificada em pesquisa bibliográfica, pesquisa do tipo estudo de caso e pesquisa experimental (Figura 4).

A pesquisa bibliográfica foi o procedimento utilizado não como fim nesta dissertação, mas sim como meio para se chegar aos objetivos do trabalho. A pesquisa bibliográfica desenvolvida foi caracterizada por intenso referencial teórico e por poucas descrições explicativas sobre o assunto abordado, classificando-se assim, esta pesquisa bibliográfica, como para não leigos no tema Seis Sigma.

O problema de pesquisa formulado para a pesquisa bibliográfica foi: que modelos objetivos de controle do desempenho Seis Sigma estão disponíveis no referencial teórico? Na sequência foi elaborado um plano para a coleta dos referenciais teóricos, sendo utilizados principalmente livros e periódicos científicos como fontes capazes de fornecer respostas à solução do problema. Em maior parte nos capítulos 2 e 4 desta dissertação, estão apresentados e organizados de modo lógico os subsídios compostos pela pesquisa bibliográfica, bem como as conclusões obtidas para o problema de pesquisa.

A pesquisa do tipo estudo de caso foi o procedimento utilizado também como meio para se chegar aos objetivos do trabalho. Como estímulos a novas descobertas e a simplicidade nos procedimentos, foram desenvolvidos três estudos de caso classificando-se assim, esta pesquisa do tipo estudo de caso, em múltiplos casos. A formulação do problema de pesquisa dos estudos de caso foi realizada na sequência: quais as principais peculiaridades dos processos de produção contínua? A definição da unidade de análise foi realizada com base num critério determinante: ser classificado como processo de produção contínua.

Um protocolo de coleta de dados foi desenvolvido para facilitar o estudo da unidade de análise. As fontes de evidência primária utilizadas foram os gerentes de produção. Como fontes de evidência secundárias foram utilizadas informações qualitativas e quantitativas disponibilizadas, bem como respostas de questionamentos realizados aos gerentes de produção. Assim, a construção da base de dados foi realizada, com base nas evidências, num armazenamento por unidade de análise. Para a análise das evidências foi utilizada a estratégia das descrições de caso (YIN, 2005). Em maior parte no capítulo 4 desta dissertação, estão apresentados os estudos de caso, bem como as conclusões e as generalizações analíticas feitas a partir da pesquisa do tipo estudo de caso.

A pesquisa experimental foi o procedimento utilizado como meio e como fim nesta dissertação, pois possibilitou a concretização de um modelo objetivo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, modelo este, que é objetivo geral deste trabalho. Segundo Gil (2002), a pesquisa experimental constitui o melhor e mais prestigiado exemplo de pesquisa científica.

Os problemas de pesquisa formulados na pesquisa experimental foram: (A) qual função de perda possui menor erro associado? (B) a atribuição de diferentes pesos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda interfere na orientação objetiva do modelo? As hipóteses construídas para os problemas de pesquisa foram: (H-A) se for utilizada a função de perda proposta, então será menor o erro associado ao valor de perda real; (H-B) se for atribuído diferentes pesos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, então serão diferentes as orientações objetivas do modelo.

O objeto de estudo da pesquisa experimental realizada, para o primeiro problema de pesquisa, é o erro associado ao valor de perda real; a variável que seria capaz de influenciar o objeto de estudo é a função de perda; e a forma de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto são as medições resultantes da utilização da função de perda. O objeto de estudo da pesquisa experimental realizada, para o segundo problema de pesquisa, é a interferência na orientação objetiva do modelo; a variável que seria capaz de influenciar o objeto de estudo é o peso atribuído aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda; e a forma de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto são os *rankings* de priorização resultantes. Desta maneira, o plano experimental foi definido para cada problema de pesquisa conforme a Tabela 3 e a Tabela 4 respectivamente. Os valores de *B1* e *B2* foram atribuídos arbitrariamente, sendo que podem ser quaisquer valores positivos cuja soma seja 1.

Tabela 3 – Plano de experimento relacionado ao primeiro problema

Utilização da função de perda com menor erro associado		
<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>
Função de perda tradicional	Função de perda de Taguchi	Função de perda proposta
Resultados na variável dependente (erro associado)		

Tabela 4 – Plano de experimento relacionado ao segundo problema

Utilização de pesos com interferência na orientação objetiva do modelo	
<i>B1</i>	<i>B2</i>
0	1
0,1	0,9
0,15	0,85
0,5	0,5
0,85	0,15
1	0
Resultados na variável dependente (orientação objetiva do modelo: <i>ranking</i> )	

Ainda para a pesquisa experimental, determinou-se o sujeito da pesquisa como sendo os processos de produção contínua. O ambiente de pesquisa foi assim caracterizado: ambiente de campo com a garantia de que o fenômeno ocorreu de maneira suficientemente pura e notável. Os dados utilizados na pesquisa experimental foram coletados dos processos de produção contínua. A pesquisa experimental e respectiva interpretação dos dados, bem como as conclusões obtidas, estão apresentadas em maior parte nos capítulos 5 e 6 desta dissertação.

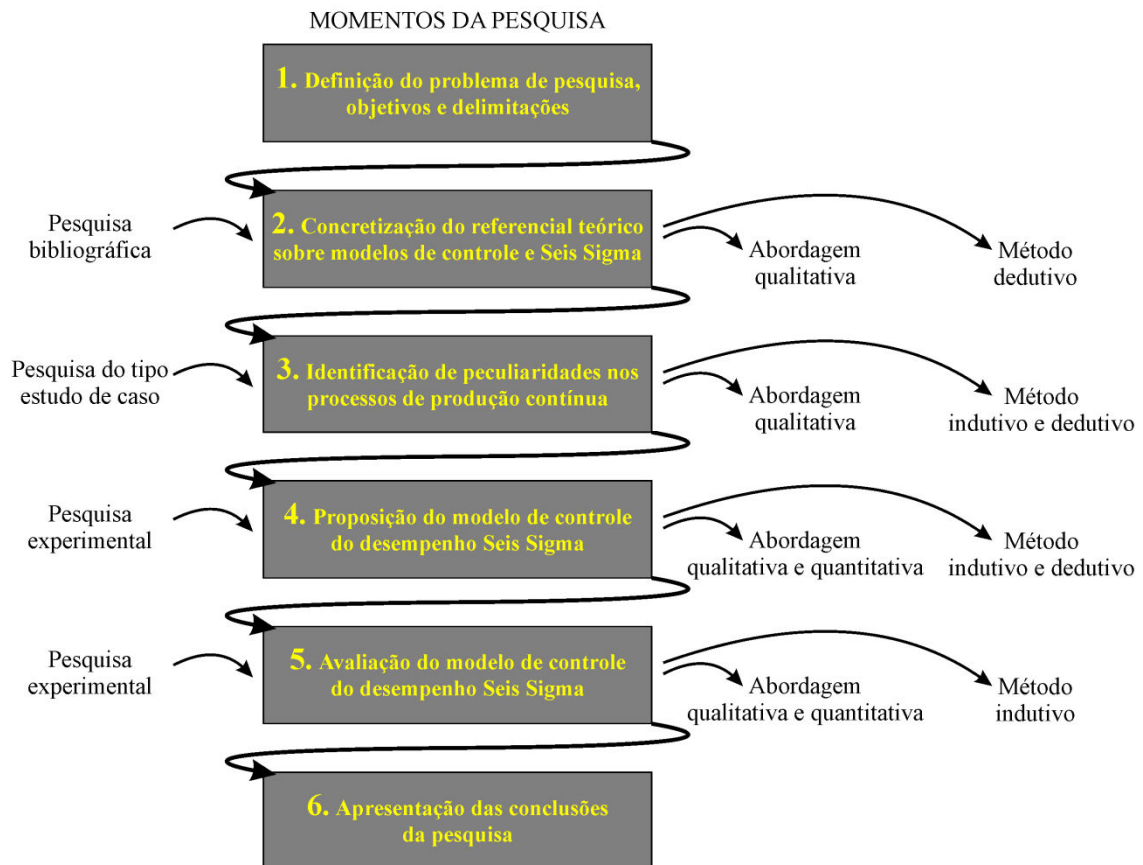


Figura 4 – Abordagens, métodos e procedimentos de pesquisa

## **4 PROÊMIO DO MODELO**

### **4.1 Considerações iniciais**

Neste capítulo é apresentado o prêmio do modelo a ser proposto para controlar o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Assim sendo, são apresentadas definições relevantes para processos de produção contínua e para modelos de controle do desempenho, sendo apresentados os mais significantes modelos de controle do desempenho contidos no referencial teórico. Para complementar o prêmio do modelo, são apresentadas peculiaridades, principalmente no contexto organizacional, quanto ao controle do desempenho em processos de produção contínua.

### **4.2 Processo de produção**

Para o Engenheiro de Produção, a classificação do processo de produção no qual ele irá trabalhar no projeto, na implantação ou na melhoria, é muito importante. Da mesma maneira que o profissional de Medicina precisa distinguir pacientes em função de suas particularidades, o profissional de Engenharia de Produção precisa classificar processos de produção em função de suas peculiaridades.

Diferentes classificações são atribuídas aos processos por diferentes pesquisadores, contudo existe uma convergência ao afirmarem, mesmo que intrinsecamente, que os processos existem para a produção de bens e de serviços (Apêndice B). As subclassificações dos processos de produção de bens e de serviços podem tornar-se complexas e detalhadas em razão da grande quantidade de classificações propostas no contexto científico e organizacional.



Nesta dissertação foi adotada uma proposta de classificação aceita nos dois contextos: a proposta de Slack, Chambers e Johnston (2002), que é semelhante à proposta de Meredith e Shafer (2002). Segundo esta proposta os processos de produção de bens podem ser apresentados numa relação de volume versus variedade (Figura 5). A proposta de subclassificação dos processos de produção de bens é: 1 - processos de projeto; 2 - processos de *jobbing*; 3 - processos em lotes ou bateladas; 4 - processos de produção em massa; 5 - processos contínuos.

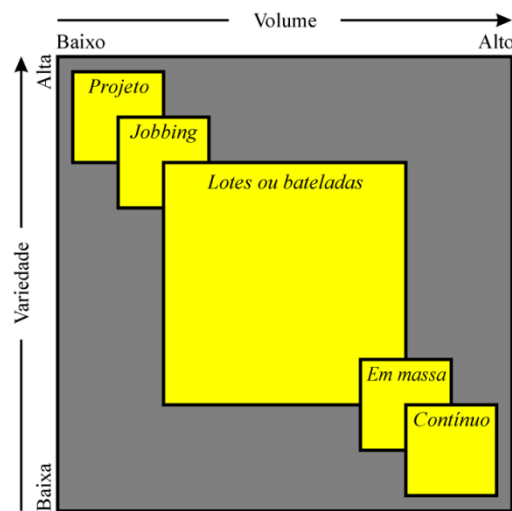


Figura 5 – Tipos de processos em produção de bens

De modo análogo os processos de produção de serviços podem ser apresentados numa relação de volume versus variedade (Figura 6). A proposta de subclassificação dos processos de produção de serviços segundo Slack, Chambers e Johnston (2002) é: 1 - serviços profissionais; 2 - lojas de serviços; 3 - serviços de massa.

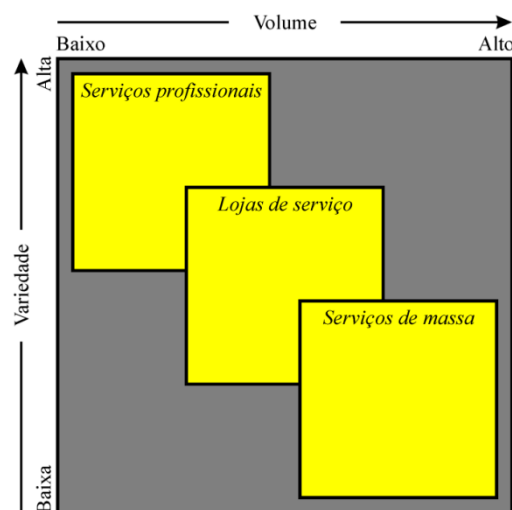


Figura 6 – Tipos de processos em produção de serviços

Da classificação de Slack, Chambers e Johnston (2002), é retirada a definição de processo de produção contínua a ser considerada nesta dissertação: processo de produção contínua é aquele que opera em altíssimos volumes e em baixíssimas variedades, na maioria das vezes com variedade nula. Normalmente operam por longos períodos de tempo, sendo que muitas vezes são literalmente contínuos, isto é, quando os produtos são inseparáveis e produzidos em fluxo ininterrupto (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). Uma prática comum deste processo de produção é a operação vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana para diluir seus custos fixos extremamente elevados no maior volume de produção possível, reduzindo desta maneira o custo unitário (MEREDITH e SHAFER, 2002).

Também são classificados em processos de produção contínua em razão de a produção ter que suprir os produtos sem uma parada e também em razão de muitas vezes estarem associados a tecnologias relativamente inflexíveis, de capital intenso e com fluxo altamente previsível (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). O motivo de operarem sem uma parada é que interromper e reiniciar um processo de produção contínuo pode ser proibitivamente caro (MEREDITH e SHAFER, 2002).

Como exemplos de processos de produção contínua têm-se as indústrias de transformação do petróleo, siderúrgicas, estações de tratamento de água, instalações de eletricidade, algumas fábricas de papéis, dentre outras (MEREDITH e SHAFER, 2002; MOREIRA, 2008; RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). O *layout* deste tipo de processo normalmente acompanha as fases de processamento do produto, sendo que a capacidade do processo é controlada pela capacidade dos processos intermediários, os gargalos do processo (MEREDITH e SHAFER, 2002). A necessidade de pessoas é baixa, restringindo-se na maioria dos casos ao controle e a manutenção do processo (MEREDITH e SHAFER, 2002).

### **4.3 Controle do desempenho**

No mundo dos negócios o controle do desempenho é um importante instrumento gerencial. O controle do desempenho permite a tomada oportuna de decisões eficientes e eficazes para manter ou melhorar o desempenho de processos de produção. Muitos modelos de controle do desempenho já foram apresentados na esfera científica e na organizacional, contudo nesta dissertação serão apresentados apenas modelos que mais se destacam: como é o caso do controle estatístico de processo (CEP).

O CEP é um modelo que busca controlar variações num processo, onde basicamente se tem a medição e avaliação do desempenho de um processo sob a óptica estatística. No Apêndice B estão referenciados autores que apresentam o controle estatístico de processo.

Outro modelo de controle do desempenho que merece lugar de destaque é a função de perda. A função de perda relaciona o custo da falta de qualidade de um produto ou um serviço com perdas devido à dispersão e aos desvios da meta, razão pela qual, caracteriza-se como um modelo de controle que expõem mais do processo quando comparados aos índices usuais de capacidade e desempenho do controle estatístico de processo. A função de perda possui duas subclassificações: 1 - função de perda tradicional; 2 - função de perda de Taguchi.

Na função de perda tradicional, a aceitação ou a rejeição de um produto depende da inclusão, ou não, dos seus parâmetros nas respectivas especificações pré-definidas, sob a forma de um intervalo de valores (DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001; FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2005; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002), conforme mostra a Figura 7.

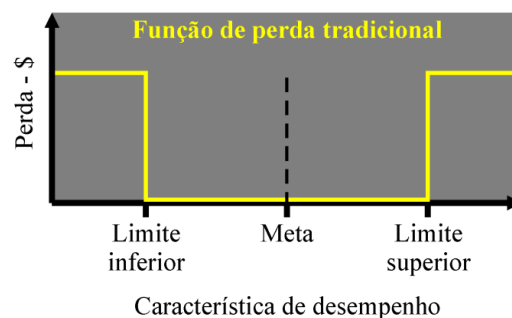


Figura 7 – Função de perda tradicional

Na função de perda de Taguchi tem-se uma evolução em relação à função de perda tradicional. Taguchi idealizou um conceito de qualidade distinto que, refletindo considerações de ordem socioeconômica, revolucionou os objetivos da produção de bens e serviços (BEN-DAYA e DUFFUAA, 2003; CORRÊA, 2003; DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001; FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2005; GAITHER e FRAZIER, 2001; PALADINI, 2006; PAN, 2007; RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002; TANNOCK, BALOGUN e HAWISA, 2007).

As idéias de Taguchi podem ser divididas em dois princípios fundamentais. Primeiro, as perdas de qualidade aumentam assim que desvios em relação ao alvo ocorrem, ao invés de anunciar zero defeito até que os limites arbitrários de controle sejam excedidos como é o caso da função tradicional, a função de Taguchi quantifica esta perda para a sociedade. O termo sociedade inclui os fornecedores, os fabricantes, os consumidores e todo restante da

sociedade. O segundo princípio é a obtenção de sistemas de alta qualidade através de projeto do processo de manufatura, o que também distancia os métodos de Taguchi do tradicional. A qualidade é projetada, não manufaturada no produto (SESTREN e FIOD, 2001).

Ajustar um valor médio a uma meta - valor alvo - não é o ideal para a condução de processos de produção insensíveis a qualquer fonte de variação, tendo-se a necessidade de diminuir a variabilidade em torno da meta. Assim, é necessário identificar as características que afetam a média - efeitos de locação - e as características que afetam a variabilidade - efeitos de dispersão - do resultado (MATTOS, BARBETTA e SAMOHYL, 2004).

A função de perda de Taguchi (Figura 8) propõe que mesmo os produtos dentro dos limites de especificação, se estiverem afastados do valor nominal, incluem perdas. Quanto maior for o afastamento da especificação nominal, maior será o custo da má qualidade, pois estes desvios podem gerar re-trabalhos, reposições, devoluções, e outros inconvenientes; por outro lado, quando os produtos estão fora dos limites de especificação, estes não atendem as especificações, tendo-se assim além do custo total, que corresponde à perda total do produto, um custo adicional com a perda de credibilidade com a sociedade, como também reembolsos, indenizações, etc.

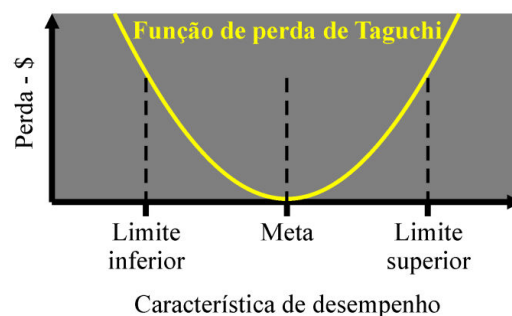


Figura 8 – Função de perda de Taguchi

Para Corrêa (2003, p.120), inegavelmente o Seis Sigma é inspirado nas idéias de Taguchi “de que seria compensador, em termos de reduzir ‘perdas sociais’, continuar a se colocar esforços em iniciativas que visem à redução de variabilidade, mesmo que esta já esteja ocorrendo dentro dos limites de tolerância especificados em projeto”.

No Seis Sigma um modelo próprio é utilizado para o controle do desempenho dos processos de produção: o nível sigma. O nível sigma é a conversão da quantidade de defeitos ou não conformidades identificadas num processo de produção. A quantidade de defeitos ou não conformidades é determinada a partir da contagem direta de defeitos por um determinado número de oportunidade de defeitos ou não conformidades.

O Seis Sigma utiliza a contagem relacionada a oportunidades para poder comparar processos complexos com não complexos. Em outras palavras, é possível comparar um simples processo de produção de pregos com um complexo processo de produção de computadores, em razão de se contar defeitos por oportunidades para defeitos, e não em razão de se contar defeitos por unidade de produto ou de serviço consumido pelo cliente.

Assim, o modelo de controle do desempenho proposto pelo Seis Sigma leva em consideração a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) para a conversão em nível sigma. Neste contexto, quanto maior o nível sigma, melhor será o desempenho do processo. Conforme mencionado no capítulo 2, o objetivo de desempenho é o de seis sigmas como nível sigma, correspondendo a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. A Tabela 5, apresentada por Pande, Neuman e Cavanagh (2001), traz as principais conversões de DPMO para nível sigma, bem como a relação com o rendimento do processo em porcentagem.

Tabela 5 – Tabela de conversão Seis Sigma

Rendimento (%)	DPMO	Nível Sigma	Rendimento (%)	DPMO	Nível Sigma
<b>0,000</b>	<b>1000000,00</b>	<b>0</b>	<b>93,319</b>	<b>66810,63</b>	<b>3</b>
3,248	967515,49	0,125	94,792	52083,14	3,125
6,559	934409,27	0,25	95,994	40060,13	3,25
9,990	900101,73	0,375	96,960	30396,84	3,375
13,591	864094,80	0,5	97,725	22750,35	3,5
17,399	826006,34	0,625	98,321	16793,40	3,625
21,440	785597,15	0,75	98,778	12224,51	3,75
25,721	742788,99	0,875	99,123	8774,50	3,875
<b>30,233</b>	<b>697672,15</b>	<b>1</b>	<b>99,379</b>	<b>6209,79</b>	<b>4</b>
34,950	650502,20	1,125	99,567	4332,50	4,125
39,831	601686,09	1,25	99,702	2979,82	4,25
44,824	551758,47	1,375	99,798	2020,21	4,375
49,865	501349,97	1,5	99,865	1349,97	4,5
54,885	451150,83	1,625	99,911	889,09	4,625
59,813	401870,81	1,75	99,942	577,09	4,75
64,580	354199,42	1,875	99,963	369,13	4,875
<b>69,123</b>	<b>308770,21</b>	<b>2</b>	<b>99,977</b>	<b>232,67</b>	<b>5</b>
73,387	266129,98	2,125	99,986	144,52	5,125
77,328	226715,72	2,25	99,991	88,44	5,25
80,916	190840,24	2,375	99,995	53,33	5,375
84,131	158686,95	2,5	99,997	31,69	5,5
86,969	130313,11	2,625	99,998	18,55	5,625
89,434	105660,53	2,75	99,999	10,70	5,75
91,543	84571,86	2,875	99,999	6,08	5,875
			<b>100,000</b>	<b>3,40</b>	<b>6</b>

Fonte: Pande, Neuman e Cavanagh (2001)

A conversão de DPMO para nível sigma é usualmente realizada utilizando-se a tabela de conversão para evitar-se o uso de métodos de integração numérica.

No Seis Sigma é comum utilizar-se o controle estatístico de processo associado ao nível sigma para o controle do desempenho dos processos e a fim de nortear a interação sistêmica de melhoria dos resultados (CARVALHO e PALADINI, 2006; ROTONDARO, 2002; PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2001). Já a utilização da função de perda associada ao nível sigma não foi verificada no referencial teórico.

Desta maneira, constatou-se que é simples a resposta da pergunta: que modelos objetivos de controle do desempenho Seis Sigma estão disponíveis no referencial teórico? Existe um considerável leque de modelos de controle do desempenho disponíveis no referencial teórico, como por exemplo, os modelos de maior destaque e que foram apresentados neste capítulo. Contudo não se identificou nenhum modelo pronto para ser utilizado especificamente no contexto do Seis Sigma.

#### **4.4 Peculiaridades nos processos de produção contínua**

Para identificar nos processos de produção contínua possíveis peculiaridades não apresentadas no referencial teórico foram realizados três estudos de caso em organizações distintas. As organizações abordadas foram duas indústrias de produção de biodiesel, comumente conhecidas como usinas de biodiesel e uma indústria de produção de aço, comumente conhecidas como siderúrgicas. Estes estudos de caso estão apresentados na seqüência, buscando responder a pergunta: quais as principais peculiaridades dos processos de produção contínua?

As indústrias de produção de biodiesel não utilizam sistemas de gestão da qualidade por serem organizações de criação recente, contudo utilizam modelos de controle do desempenho. Nestas organizações não foi possível disponibilizar dados puramente relacionados ao Seis Sigma. Já a indústria de produção de aço utiliza sistemas de gestão da qualidade, dentre estes, a iniciativa Seis Sigma. Nesta organização foi possível disponibilizar dados puramente relacionados ao Seis Sigma.

O motivo de estudar as indústrias de produção de biodiesel é sustentado pelo argumento destas organizações operarem essencialmente com processos de produção contínua e serem de origem recente, constituindo assim, pouco histórico no contexto da gestão da qualidade. Diferente da indústria de transformação do petróleo que está no topo das discussões, sendo referência em princípios e métodos de gestão, a indústria de transformação do biodiesel está em ascensão e está aberta para novas propostas que possam otimizar resultados, fato que facilita a realização de pesquisas científicas nestas organizações.

O motivo de estudar a indústria de produção de aço é sustentado pelo argumento desta organização operar essencialmente com processos de produção contínua e por ter facilitado a realização do estudo de caso: a conveniência pesou no momento da decisão pela organização.

### ***Estudo na organização 1:***

O primeiro estudo de caso foi realizado numa indústria de produção de biodiesel de grande porte, com uma capacidade de produção de aproximadamente 110 milhões de litros por ano. Esta indústria possui apenas um processo de negócio, sendo este classificado em processo de produção contínua. Assim sendo, a unidade de análise estudada na indústria foi o processo de produção contínua. Procedeu-se com um protocolo de coleta de dados para buscar respostas à pergunta que caracteriza o problema desta pesquisa do tipo estudo de caso.

O processo de produção contínua estudado na organização 1 é uma linha de produção de biodiesel, na qual o principal processo químico de produção do biodiesel que ocorre é chamado de transesterificação. De modo geral, a organização recebe como matéria-prima óleo bruto, de origem vegetal e/ou animal, filtrando-o, desidratando-o e estabilizando sua acidez. O óleo em processo é então aquecido e a este acrescentado álcool e soda cáustica, ocorrendo a transesterificação. Após um determinado tempo, a transesterificação é concluída, sendo resultantes o biodiesel e o glicerol ou glicerina. O biodiesel ainda passa por um processo de limpeza no qual se utiliza água acidulada para remoção de traços de metanol e/ou etanol, bem como outras impurezas. Para finalizar, o biodiesel é filtrado, gerando desta forma, o produto final do processo de produção. O *lead time* médio do processo de produção contínua estudado é de oito horas.

Foram conduzidas perguntas abertas a um gerente de produção, sendo levantadas fontes de informações qualitativas e quantitativas para o estudo. As principais peculiaridades identificadas nestes processos de produção contínua em comparação ao que é apresentado no referencial teórico são duas: a importância do controle do desempenho nestes processos de produção contínua; e o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes.

A primeira constatação, a importância do controle do desempenho nestes processos de produção contínua, destacou-se em função de que quando um produto estiver com qualquer parâmetro de controle fora dos limites de especificação, este produto deve ser imediatamente desviado da linha de produção para tanques de reprocesso. Este procedimento é muito importante, evitando-se o risco de comprometer a qualidade de todo o restante do produto acabado, se um produto não conforme seguir para os tanques de armazenamento.

A segunda constatação, o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes, destacou-se em função do rígido controle exercido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A ANP tem a atribuição de regular e fiscalizar as atividades relativas à produção, controle de qualidade, distribuição, revenda e comercialização do biodiesel e da mistura do óleo diesel com o biodiesel. Pode-se perceber que a primeira constatação está relacionada com a segunda. A indústria de transformação do biodiesel iniciou suas operações no segundo semestre de 2007 e nunca expediu produtos não conformes.

### ***Estudo na organização 2:***

O segundo estudo de caso foi realizado numa indústria de produção de biodiesel de grande porte, com uma capacidade de produção de aproximadamente 100 milhões de litros por ano. Esta indústria também possui apenas um processo de negócio, sendo este classificado em processo de produção contínua. Assim sendo, a unidade de análise estudada na indústria foi o processo de produção contínua. Procedeu-se com um protocolo de coleta de dados para buscar a identificação das peculiaridades do processo de produção contínua em questão.

O processo de produção contínua estudado na organização 2 é uma linha de produção de biodiesel idêntica a linha de produção da organização 1 no que diz respeito a matéria-prima, etapas de produção e *lead time* médio.

Conduziram-se perguntas abertas a um gerente de unidade, sendo levantadas fontes de informações qualitativas e quantitativas para o estudo de caso. Ao se comparar este processo de produção contínua com o referencial teórico pôde-se identificar uma peculiaridade em especial: o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes. Esta peculiaridade destacou-se novamente em função do rígido controle exercido pela ANP. A indústria de transformação do biodiesel iniciou suas operações no segundo semestre de 2007 e nunca expediu produtos não conformes.

### ***Estudo na organização 3:***

O terceiro estudo de caso foi realizado numa indústria de produção de aço de grande porte, com uma capacidade de produção de aproximadamente 0,6 milhões de toneladas por ano. Esta indústria possui oito processos de negócio, sendo seis classificados em processos de produção contínua e dois em processos de produção em massa. A unidade de análise estudada



na indústria foi um processo de produção contínua. Procedeu-se com um protocolo de coleta de dados para buscar a identificação das peculiaridades do processo de produção contínua em questão.

De modo geral, a organização recebe como matéria-prima, para o processo estudado, sucata, gusa, ferro ligas e fundente. Esta matéria-prima é combinada e fundida em fornos, sendo processada na seqüência em equipamentos de refino de aço. O material em processo está então apto a sofrer o processo de solidificação numa máquina de lingotamento contínuo, resultando em tarugos. Para finalizar, os tarugos são direcionados a equipamentos laminadores, resultando em barras laminadas, que são o produto final do processo de produção. O *lead time* médio dos processos de produção contínua estudados é de seis horas. A organização utiliza a iniciativa Seis Sigma no processo de produção contínua em questão há 39 meses. O desempenho Seis Sigma global no processo variou de 3,3 sigmas à 5,2 sigmas.

Conduziram-se perguntas abertas a um coordenador de *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, sendo levantadas fontes de informações qualitativas e quantitativas para o estudo de caso. Ao se comparar o processo de produção contínua abordado com o referencial teórico pôde-se identificar uma peculiaridade em especial: o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes. A organização, para a linha de produção abordada, exerce um rigoroso controle do desempenho de modo que produtos não conformes não são expedidos pela empresa, isto porque os clientes buscam este nível de qualidade nos produtos.

### ***Estudo comparativo:***

Ao se finalizar os três estudos de caso foi possível verificar duas peculiaridades em especial: a importância do controle do desempenho nos processos de produção contínua; e o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes. No segundo estudo de caso, a importância do controle do desempenho nos processos de produção contínua não foi especialmente verificada na coleta de dados, pois segundo o gerente de produção, esta é uma característica intrínseca a este ramo de atividade. Isto é, para esta indústria, o controle do desempenho nos processos de produção contínua não deixa de ser importante, apenas é classificado como característica fundamental.

A verificação da importância do controle do desempenho nos processos de produção contínua sustentou mais de perto o problema de pesquisa, pois despertou mais uma vez a necessidade de um modelo de controle objetivo do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua.

A verificação do cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes despertou a necessidade de se contemplar esta característica cada vez mais presente nos processos de produção. A maneira de contemplar o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes, ao se controlar o processo de produção contínua, é de fundamental importância na mensuração de custos, como pode ser verificado em um trabalho precedente: segundo Roos et al. (2008), a expedição de produtos não conformes afeta principalmente e fundamentalmente a maneira como se mede os custos relacionados a falta de qualidade.

Neste sentido, as conclusões e as generalizações analíticas que se pretende fazer a partir da pesquisa do tipo estudo de caso (múltiplos casos) são simples. Foi verificado que as organizações abordadas possuíam uma característica peculiar a qual lhe conferia um grau de tolerância diferenciado no que se refere à qualidade de conformação de seus produtos: não expedem produtos não conformes.

Assim, diferente de empresas como de peças automotivas, por exemplo, onde quanto maior for o desvio das características de uma peça dos limites de especificação, tanto maior será o custo associado; as características da qualidade do biodiesel e do aço, quando estão fora dos limites de especificação, não geram custos adicionais ao custo da perda total do produto, sendo expressos conforme uma constante que se refere ao custo da perda total do produto. Isto porque não existem reposições, devoluções, insatisfações, descontentamentos, perdas com credibilidade da empresa ou outras ações neste sentido, ou seja, em razão do rígido controle da qualidade exercido pela organização, os produtos que possuem suas características fora dos limites de especificação simplesmente não são expedidos pela empresa, tendo-se a perda ou reprocesso do produto. Logo, o que se pretende concluir e generalizar analiticamente é: organizações que não expedem produtos não conformes devem rever o método que utilizam para medir e controlar custos relacionados à falta de qualidade.

#### **4.5 Considerações finais**

Neste capítulo apresentou-se a definição de processo de produção contínua adotada para esta dissertação, bem como, modelos de controle do desempenho que visam contribuir com o proêmio do modelo a ser proposto. De modo análogo, apresentaram-se peculiaridades, principalmente no contexto organizacional, quanto ao controle do desempenho em processos de produção contínua. Foi um momento determinante para a proposição do modelo, momento no qual se verificou o quanto importante é o controle do desempenho em processos de produção contínua, bem como o cuidado exercido com a expedição de produtos não

conformes. A verificação da importância do controle do desempenho sustentou mais de perto o problema de pesquisa, pois despertou mais uma vez a necessidade de um modelo de controle objetivo do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. A verificação do cuidado com a expedição de produtos não conformes despertou a necessidade de se contemplar esta característica cada vez mais presente nos processos de produção.

## **5 PROPOSTA DO MODELO**

### **5.1 Considerações iniciais**

Neste capítulo é apresentada inicialmente a proposta de um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Na sequência é apresentada uma proposta que visa complementar o modelo proposto, sendo seguida de equações matemáticas, e finalmente, é apresentado um método de priorização relacionado ao modelo proposto.

### **5.2 Modelo proposto**

Segundo Fleury (2008), o Engenheiro de Produção deve ser capaz de desenvolver modelos que sejam utilizados para subsidiar os processos de tomada de decisões nos sistemas de produção. Para o autor, um modelo constitui uma representação simplificada de uma determinada realidade, sendo que são utilizados na Engenharia de Produção para resolver problemas complexos encontrados nas organizações. Os modelos podem ter subclassificações, sendo que uma proposta bem aceita é a apresentada por Moreira (2008), em que se têm três tipos de modelos: 1 - modelos icônicos; 2 - modelos analógicos; 3 - modelos matemáticos.

O modelo que será proposto caracteriza-se como um modelo matemático, que segundo Moreira (2008), é aquele modelo na qual as situações-problema ou as propriedades de um objeto são representadas através de símbolos e relações matemáticas. Um dos instrumentos mais importantes no trabalho do Engenheiro de Produção é o desenvolvimento de modelos que englobem as dimensões mais importantes de uma problemática e que gerem respostas para a adoção de decisões bem fundamentadas, problemática esta, em geral, complexa demais para ser tratada a partir da intuição e da experiência (FLEURY, 2008).

O modelo que é proposto para o controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua está fundamentado em dois indicadores de desempenho: um indicador tradicional de desempenho Seis Sigma e um indicador tradicional de desempenho em unidades monetárias, que fornece parâmetros da perda monetária em função da falta de qualidade no processo de produção. Estes indicadores de desempenho foram denominados como nível sigma e nível de perda, respectivamente.

Na estatística, dois parâmetros comuns se complementam: média e desvio padrão. Fazendo-se uma analogia com os dois indicadores de desempenho do modelo proposto, afirma-se que estes foram propostos justamente para se complementarem. Enquanto um indicador vai informar o quanto o processo de produção está gerando não conformidades o outro vai informar o quanto está se perdendo com as não conformidades e a variabilidade do processo. O modelo proposto remete a uma característica: quando estes parâmetros são utilizados concomitantemente podem trazer informações essenciais para o balizamento das tomadas de ações no Seis Sigma. A Figura 9 exemplifica como é designada a aplicação dos dois indicadores de desempenho, quando no controle de um processo de negócio composto por quatro processos: para cada processo utilizam-se tantos pares de indicadores quantas forem as características da qualidade controladas.

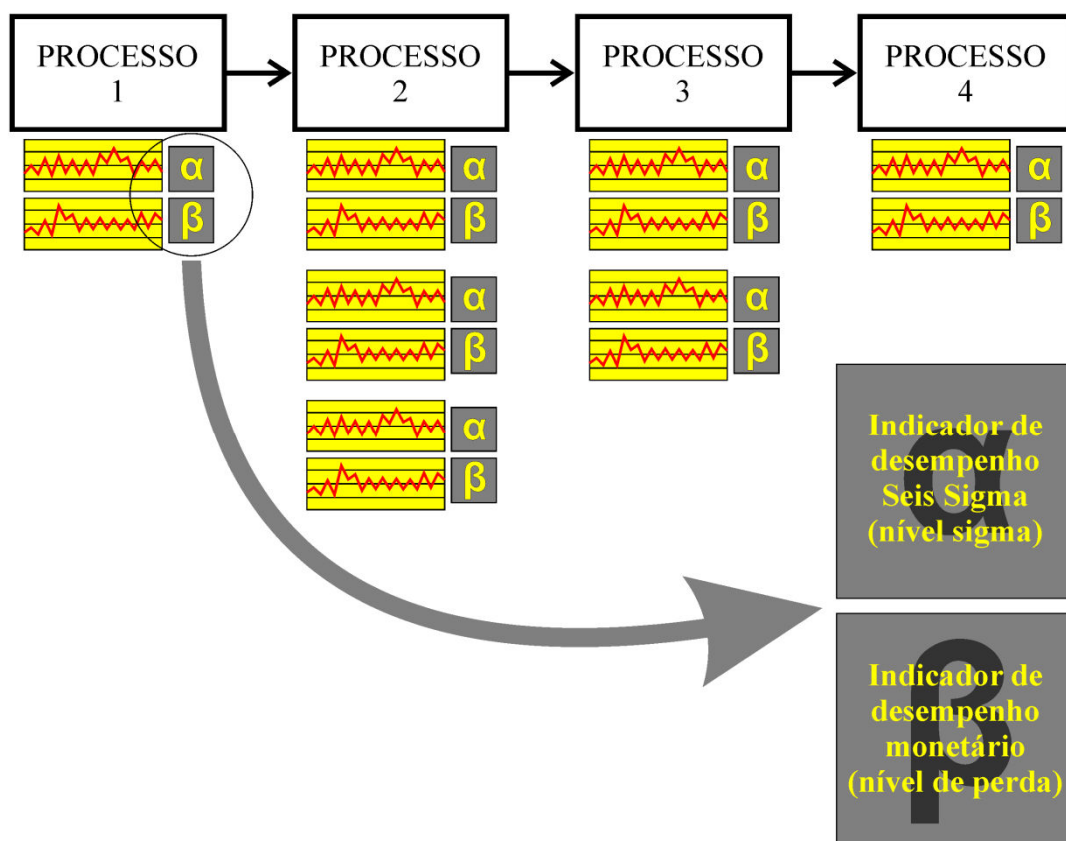


Figura 9 – Como é designada a aplicação do modelo proposto

O indicador de desempenho nível sigma é determinado a partir dos defeitos por milhão de oportunidades e da tabela de conversão Seis Sigma. Já o indicador de desempenho nível de perda é determinado a partir das funções de perda, que comumente são utilizadas associadas ao controle estatístico de processo. Desta maneira, quanto maior for o indicador de desempenho nível sigma, melhor será o desempenho do processo em questão; e quanto menor for o indicador de desempenho nível de perda, melhor será o desempenho do processo em questão (Figura 10).

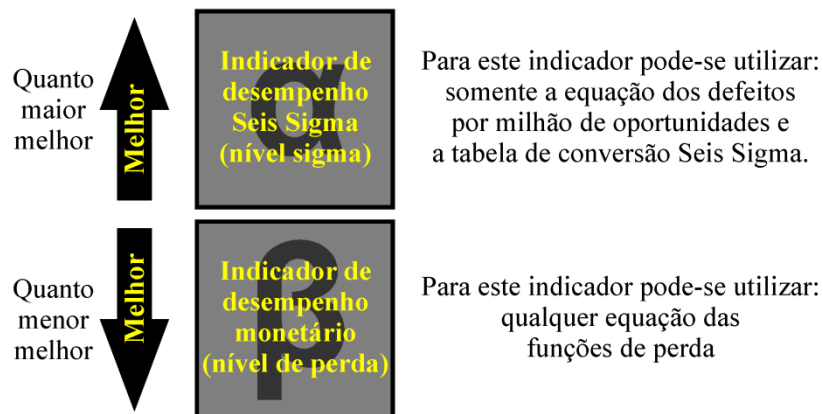


Figura 10 – Modelo proposto

O exemplo apresentado na Figura 11 busca ilustrar o modelo proposto: o processo 1 e o processo 2 são idênticos, processam o mesmo produto, sendo o nível sigma e o nível de perda, de cada processo, relacionados ao mesmo volume de produção. Olhando-se apenas para o nível sigma de cada processo, o processo 2 seria o mais indicado para a intervenção visando melhorias. Contudo, olhando-se para o nível de perda de cada processo, considerando-se a questão financeira, o processo 1 seria o mais indicado para a intervenção visando melhorias financeiras.

PROCESSO 1		PROCESSO 2	
Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	4,5 sigmas	Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	3,5 sigmas
Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 200,00	Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 180,00

Figura 11 – Exemplo do modelo proposto

Outro exemplo para ilustrar o modelo é apresentado na Figura 12: o processo 1 e o processo 2 possuem características diferentes, contudo processam o mesmo produto, sendo o nível sigma e o nível de perda, de cada processo, relacionados ao mesmo volume de produção. Olhando-se apenas para o tempo 1 e considerando a questão financeira, o processo 2 seria o mais indicado para a intervenção visando melhorias financeiras. Contudo olhando-se para o tempo 2, que seria uma projeção caso se alcançasse um nível sigma de 6, o processo 1, seria o mais indicado para a intervenção visando melhorias financeiras, pois processo 1 seria possível atingir um nível de perda menor do que no processo 2.

	PROCESSO 1		PROCESSO 2	
TEMPO 1	Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	4,5 sigmas	Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	3,5 sigmas
	Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 300,00	Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 300,00
TEMPO 2	Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	6 sigmas	Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)	6 sigmas
	Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 40,00	Indicador de desempenho monetário (nível de perda)	R\$ 60,00

Figura 12 – Exemplo do modelo proposto

### 5.3 Complemento ao modelo proposto

Uma mudança em alguns paradigmas de mercado está transformando a maneira como se mensura as perdas monetárias associadas à falta de qualidade em determinados processos de produção. Como pode ser verificado em um trabalho precedente, Roos et al. (2008), é menos oneroso ter-se um sistema de gestão da produção robusto, que evite a expedição de produtos não conformes, do que expedir produtos não conformes que são identificados quando já estão com o cliente. Seja na produção *make-to-order* ou *make-to-stock*, certos ramos organizacionais estão voltando a produzir e estocando o produto final até que todas as análises de controle da qualidade estejam concluídas, classificando o produto como conforme ou não conforme, e conseqüentemente expedindo-o ou não.

Esta mudança de paradigmas de mercado também foi verificada nos três estudos de caso realizados nesta dissertação. O que se pretendeu concluir e generalizar analiticamente a partir destes estudos de caso em processos de produção contínua é: organizações que não expedem produtos não conformes devem rever o método que utilizam para medir e controlar custos relacionados à falta de qualidade.

Desta maneira, a proposição do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua não poderia ser concluído sem que esta generalização analítica fosse contemplada. Como nos processos de produção contínua, a medição de custos relacionados à falta de qualidade é comumente resultante de uma função de perda, ingressou-se neste campo. Desenvolveu-se uma função de perda (Figura 13), para melhor se adaptar à realidade das organizações que não expedem produtos não conformes. Esta função de perda, pelo menos teoricamente, é considerada mais adequada para medir e controlar custos relacionados à falta de qualidade. A função proposta possui uma intersecção de duas importantes funções de perda: função de perda tradicional e função de perda de Taguchi. A modelagem matemática foi utilizada, sendo que para isto, optou-se pelo software Maple® versão 13.

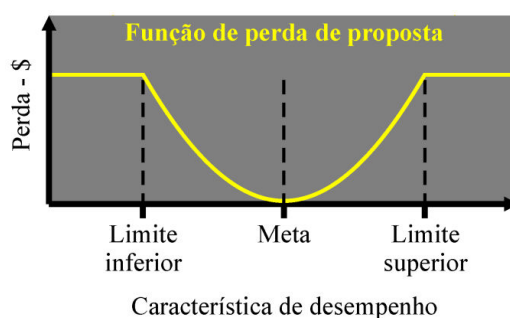


Figura 13 – Função de perda proposta

A função de perda desenvolvida está teoricamente fundamentada na situação das empresas que não expedem produtos não conformes. Isto porque nas situações em que se têm produtos não conformes, abaixo do limite inferior de especificação e acima do limite superior de especificação, não se tem custos adicionais à perda total do produto. A seção constante da função de perda corresponde à perda total do produto, sem a adição de custos relacionados a reposições, devoluções, insatisfações, descontentamentos, perdas com credibilidade da empresa ou outras ações neste sentido, adição esta contemplada na função de perda de Taguchi.

A função de perda desenvolvida possui sua aplicabilidade em características da qualidade do tipo “nominal é melhor” (Figura 13), “maior é melhor” (Figura 14), e “menor é



melhor” (Figura 15). Características da qualidade do tipo “nominal é melhor” são aquelas que possuem um valor nominal especificado com tolerância para mais e para menos e quanto maior for o afastamento da especificação nominal, maior será o custo associado à falta de qualidade. Características da qualidade do tipo “maior é melhor” são aquelas que têm um valor mínimo estabelecido e, tanto melhor será quanto mais se superar este valor. Características do tipo “menor é melhor” são aquelas que se têm um valor máximo estabelecido e, tanto melhor será quanto mais baixo forem os valores em questão.

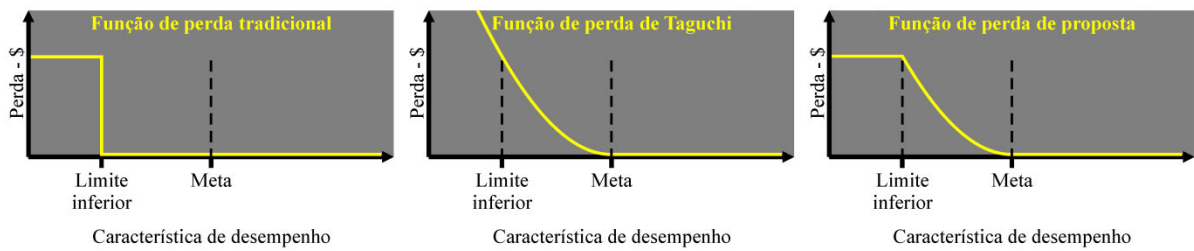


Figura 14 – Funções de perda para características do tipo maior é melhor

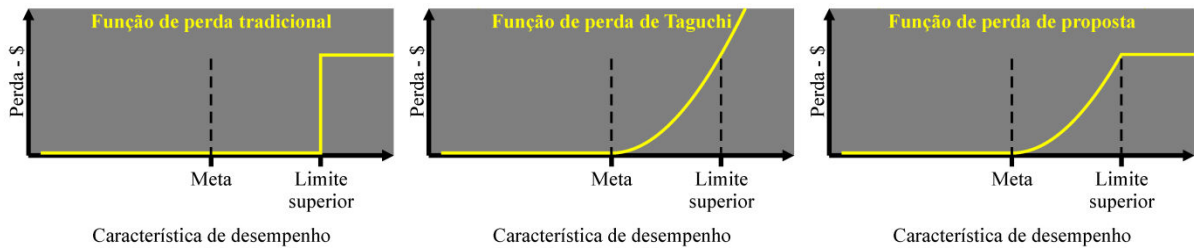


Figura 15 – Funções de perda para características do tipo menor é melhor

#### 5.4 Equações para o modelo proposto

As equações que levam a obtenção do nível sigma ( $\alpha$ ) e do nível de perda ( $\beta$ ) estão descritas na seqüência. A função de perda tradicional é dada pela equação 1, quando o objeto em estudo está dentro das especificações, e pela equação 2, quando o objeto em estudo não está dentro das especificações (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_i$  é a perda monetária associada com o desvio da meta, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste;  $LEI$  é o limite de especificação inferior para a característica de qualidade em estudo; e  $LES$  é o limite de especificação superior para a característica de qualidade em estudo.

$$L_i = 0 \leftrightarrow LEI < y_i < LES \quad (1)$$

$$L_i = A_0 \leftrightarrow LEI > y_i > LES \quad (2)$$

A função de perda de Taguchi é dada pela equação 3 (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_i$  é a perda monetária associada com o desvio da meta, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $m$  é a meta para a característica de qualidade em estudo; e  $k$  é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do alvo em valores monetários. O coeficiente de perda  $k$  é dado pela equação 4, onde:  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste;  $\Delta$  é o desvio da meta que exigiria substituição, re-trabalho ou reparo.

$$L_i = k(y_i - m)^2 \quad (3)$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta^2} \quad (4)$$

A função de perda proposta é dada pela equação 5, quando o objeto em estudo está dentro das especificações, e pela equação 6, quando o objeto em estudo não está dentro das especificações, onde:  $L_i$  é a perda monetária associada com o desvio da meta, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica da qualidade em estudo;  $m$  é a meta para a característica da qualidade em estudo;  $k$ , dado pela equação 4, é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do alvo em valores monetários;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste;  $LEI$  é o limite de especificação inferior para a característica da qualidade em estudo; e  $LES$  é o limite de especificação superior para a característica da qualidade em estudo.

$$L_i = k(y_i - m)^2 \leftrightarrow LEI < y_i < LES \quad (5)$$

$$L_i = A_0 \leftrightarrow LEI > y_i > LES \quad (6)$$

As funções de perda para características do tipo “maior é melhor” (Figura 14), e para características do tipo “menor é melhor” (Figura 15), são apresentadas na seqüência. A função de perda tradicional, para características da qualidade do tipo “maior é melhor”, é dada pela equação 7, quando o objeto em estudo é maior em valores do que o limite de especificação inferior, e pela equação 8, quando o objeto em estudo é menor em valores do que o limite de especificação inferior (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_{ik}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação inferior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste; e  $LEI$  é o limite de especificação inferior.

$$L_{ik} = 0 \leftrightarrow y_i > LEI \quad (7)$$

$$L_{ik} = A_0 \leftrightarrow y_i < LEI \quad (8)$$

A função de perda de Taguchi, para características da qualidade do tipo “maior é melhor”, é dada pela equação 9 (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_{ik}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação inferior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $k$  é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do alvo em valores monetários. O coeficiente de perda  $k$  é dado pela equação 10, onde:  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste;  $\Delta$  é o desvio da meta que exigiria substituição, re-trabalho ou reparo.

$$L_{ik} = \frac{k}{y_i^2} \quad (9)$$

$$k = \Delta^2 \times A_0 \quad (10)$$

A função de perda proposta, para características da qualidade do tipo “maior é melhor”, é dada pela equação 11, quando o objeto em estudo é maior em valores do que o limite de especificação inferior, e pela equação 12, quando o objeto em estudo é menor em valores do que o limite de especificação inferior, onde:  $L_{ik}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação inferior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $k$ , dado pela equação 10, é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do limite de especificação inferior em valores monetários;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste; e  $LEI$  é o limite de especificação inferior para a característica da qualidade em estudo.

$$L_{ik} = \frac{k}{y_i^2} \leftrightarrow y_i > LEI \quad (11)$$

$$L_{ik} = A_0 \leftrightarrow y_i < LEI \quad (12)$$

A função de perda tradicional, para características da qualidade do tipo “menor é melhor”, é dada pela equação 13, quando o objeto em estudo é menor em valores do que o limite de especificação superior, e pela equação 14, quando o objeto em estudo é maior em valores do que o limite de especificação superior (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_{iz}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação superior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste; e  $LES$  é o limite de especificação superior para a característica da qualidade em estudo.

$$L_{iz} = 0 \leftrightarrow y_i < LES \quad (13)$$

$$L_{iz} = A_0 \leftrightarrow y_i > LES \quad (14)$$

A função de perda de Taguchi, para características da qualidade do tipo “menor é melhor”, é dada pela equação 15 (RIBEIRO e CATEN, 2007), onde:  $L_{iz}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação superior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $k$ , dado pela equação 4, é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do alvo em valores monetários.

$$L_{iz} = k \times y_i^2 \quad (15)$$

A função de perda proposta, para características da qualidade do tipo “menor é melhor”, é dada pela equação 16, quando o objeto em estudo é menor em valores do que o limite de especificação superior, e pela equação 17, quando o objeto em estudo é maior em valores do que o limite de especificação superior, onde:  $L_{iz}$  é a perda monetária associada com o desvio do limite de especificação superior, para uma unidade  $i$ ;  $y_i$  é o valor medido na unidade  $i$  para a característica de qualidade em estudo;  $k$ , dado pela equação 4, é o coeficiente de perda da qualidade, que converte o desvio do limite de especificação superior em valores monetários;  $A_0$  é o custo total do produto ou de substituição deste; e  $LES$  é o limite de especificação superior para a característica da qualidade em estudo.

$$L_{iz} = k \times y_i^2 \leftrightarrow y_i < LES \quad (16)$$

$$L_{iz} = A_0 \leftrightarrow y_i > LES \quad (17)$$

O cálculo dos defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) é realizado pela equação 18 (PANDE, NEUMAN e CAVANAGH, 2000), onde:  $DPMO$  é o número de defeitos por milhão de oportunidades;  $ND$  é o número de defeitos ou de não conformidades no período de análise;  $NU$  é o número de unidades consideradas no período de análise;  $NO$  é o número de oportunidades consideradas por unidade.

$$DPMO = \frac{ND \times 10^6}{NU \times NO} \quad (18)$$

Como já foi descrito anteriormente nesta dissertação, a conversão de DPMO para nível sigma é usualmente realizada por meio de uma tabela de conversão, pois segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), a tentativa de equacionar o sistema de pontuação nível sigma, a desvios-padrões rígidos sob uma curva normal, é um desafio. Algumas tentativas já foram feitas, mas segundo os autores, a conversão utilizando-se a tabela ainda é a maneira usual pela

qual as empresas preparam suas pontuações sigma ou nível sigma. Nesta dissertação utilizou-se a tabela de conversão sigma para a determinação dos níveis sigma (Tabela 5).

Assim, a obtenção do nível sigma ( $\alpha$ ), é feita através da tabela de conversão em relação à DPMO. Já a obtenção do nível de perda ( $\beta$ ) é feita através da soma das perdas monetárias associadas com os desvios da meta, para uma unidade  $i$ , sendo que esta soma deve considerar as mesmas amostras  $i$  consideradas para o cálculo da DPMO. A obtenção das perdas monetárias associadas com os desvios da meta é obtida através das equações das funções de perda. A Figura 16 traz uma esquematização para exemplificar os procedimentos para a obtenção de  $\alpha$  e  $\beta$ : no primeiro momento são consideradas  $n$  pontos num gráfico de controle estatístico de processo, no segundo momento utiliza-se a equação 18 para  $\alpha$  e as Equações 5 e 6 para  $\beta$ , e no terceiro momento obtém-se  $\alpha$  e  $\beta$ .

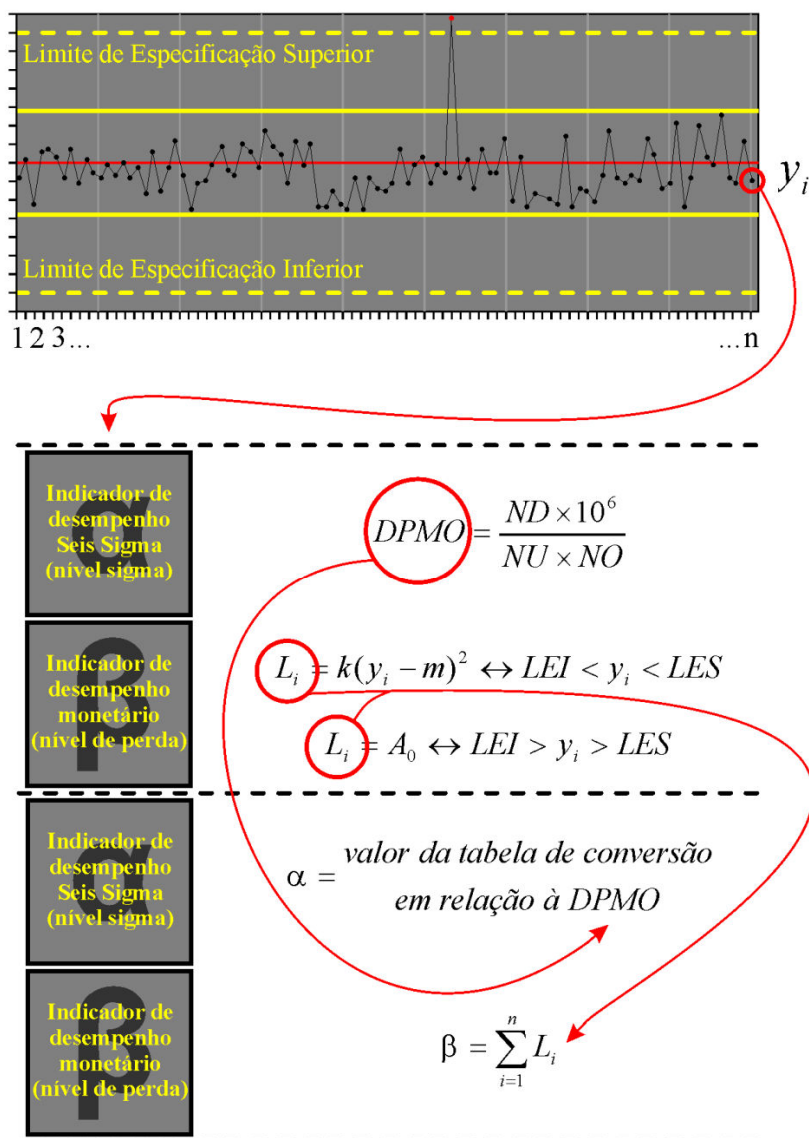


Figura 16 – Exemplo de obtenção do nível sigma e do nível de perda

O modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua proposto nesta dissertação requer que se utilize para a obtenção de  $\alpha$  somente a equação 18, enquanto que requer que se utilize para a obtenção de  $\beta$  qualquer uma das equações de 1 a 17. Cabe ressaltar que foram apresentadas apenas as funções de perda por unidades produzidas (equações de 1 a 17) em razão das características dos processos de produção contínua: comumente o controle do desempenho é realizado por unidades e não lotes de produção. Contudo, quando o processo de produção contínua possuir o controle do desempenho por lotes, as funções de perda a serem utilizadas são diferentes: levam em consideração, em cada medição, a média e o desvio padrão de cada lote.

### 5.5 Priorização no modelo proposto

Quando se tiver um número consideravelmente elevado de indicadores, nível sigma e nível de perda, num processo de negócio ou numa organização, o seu gerenciamento pode se tornar complexo. Pensando neste fato, desenvolveu-se um método de priorização baseado na teoria Grey. A teoria Grey tem um papel importante no contexto teórico (ÇAKIR, 2008; CHEN e TING, 2002; CHEN et al., 2004; DAOWU et al., 2004; GUO e LOVE, 2005; LI, YAMAGUCHI e NAGAI, 2007; ROOS e ROSA, 2008; WANG, LIN e HU, 2007; XIZHE et al., 2004; YUEHUA e WEI, 2008; ZHANG e CHEN, 2004).

O método de priorização foi desenvolvido baseando-se na teoria Grey e com o auxílio da modelagem matemática, sendo que o software Maple®, versão 14, foi utilizado para que a concretização do método fosse possível. Segundo o método desenvolvido, a priorização é feita através de uma mensuração para verificar a relação entre séries qualitativas e quantitativas discretas, onde os componentes das séries devem estar de acordo com algumas características pré-definidas.

O método desenvolvido usa uma seqüência de procedimentos para chegar a um *ranking* de priorização de indicadores nível sigma e nível de perda. Inicia-se com o estabelecimento de uma série comparativa que é representada por uma matriz (equação 19), onde:  $\alpha_i$  é o indicador sigma para o processo  $i$ ;  $\beta_i$  é o indicador de perda para o processo  $i$ ;  $X$  é a série comparativa.

$$X = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \alpha_i & \beta_i \end{bmatrix} \quad (19)$$

Na seqüência tem-se o estabelecimento de uma série padrão que é representada por uma matriz (equação 20), composta através dos menores indicadores sigma e de perda possíveis nos processos em questão, onde:  $\alpha_p$  é o menor índice nível sigma que os processos em questão admitem;  $\beta_p$  é o menor índice nível de perda que os processos em questão admitem;  $Y$  é a série padrão.

$$Y = \begin{bmatrix} \alpha_p & \beta_p \\ \alpha_p & \beta_p \\ \vdots & \vdots \\ \alpha_p & \beta_p \end{bmatrix} \quad (20)$$

A seguir subtrai-se  $Y$  de  $X$ , (equação 21), onde:  $\Delta\alpha_i$  é a subtração de  $\alpha_p$  de  $\alpha_i$  para o processo  $i$ ;  $\Delta\beta_i$  é a subtração de  $\beta_p$  de  $100/\beta_i$  para o processo  $i$ ;  $Z$  é a matriz resultante.

$$Z = \begin{bmatrix} \Delta\alpha_1 & \Delta\beta_1 \\ \Delta\alpha_2 & \Delta\beta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta\alpha_i & \Delta\beta_i \end{bmatrix} \quad (21)$$

São então calculados os pesos relativos, representados numa matriz (equação 22), onde:  $\gamma\alpha_i$  é o peso relativo do indicador sigma para o processo  $i$  (equação 23);  $\gamma\beta_i$  é o peso relativo do indicador de perda para o processo  $i$  (equação 24);  $\eta$  é uma constante dada pela equação 25;  $\xi$  é um identificador que apenas afeta o valor relativo de cada peso, podendo assumir um valor entre 0 e 1 (em geral 0,0005);  $\Delta_{MIN}$  é o menor valor contido na matriz  $Z$ ;  $\Delta_{MÁX}$  é o maior valor contido na matriz  $Z$ ;  $M$  é a matriz que contém os pesos relativos.

$$M = \begin{bmatrix} \gamma\alpha_1 & \gamma\beta_1 \\ \gamma\alpha_2 & \gamma\beta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \gamma\alpha_i & \gamma\beta_i \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\gamma\alpha_i = \frac{\eta}{\Delta\alpha_i + \xi \times \Delta_{MÁX}} \quad (23)$$

$$\gamma\beta_i = \frac{\eta}{\Delta\beta_i + \xi \times \Delta_{MÁX}} \quad (24)$$

$$\eta = \Delta_{MIN} + \xi \times \Delta_{MÁX} \quad (25)$$

No próximo passo é estabelecido o grau de relação entre o indicador sigma e o indicador de perda. Isto é expresso numa matriz (equação 26), onde:  $C_i$  é o grau de relação para o processo  $i$  (equação 27);  $\lambda_\alpha$ ,  $\lambda_\beta$  são pesos maiores ou iguais a zero atribuído ao indicador sigma e ao indicador de perda respectivamente (equação 28);  $N$  é a matriz que contém os graus de relação.

$$N = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_i \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$C_i = \gamma\alpha_i \times \lambda_\alpha + \gamma\beta_i \times \lambda_\beta \quad (27)$$

$$\lambda_\alpha + \lambda_\beta = 1 \quad (28)$$

Cabe ressaltar que os pesos atribuídos ao indicador sigma e ao indicador de perda ( $\lambda_\alpha$  e  $\lambda_\beta$ ) são valores arbitrários, em geral valores decididos pelos diretores do processo e com a interferência da opinião do cliente do processo. O *ranking* de priorização é estabelecido a partir dos graus de relação contidos na matriz  $N$ . Quanto maior é o grau de relação, melhor é o desempenho do processo. Assim o menor grau indica o processo prioritário a ser melhorado e o maior grau indica o último processo a ser melhorado.

## 5.6 Considerações finais

Neste capítulo foi proposto o modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, modelo este, que visa contribuir para o alcance do objetivo geral desta dissertação. As informações obtidas nos capítulos precedentes foram trabalhadas a fim de constituir a base para a proposição do modelo. A modelagem matemática foi utilizada para auxiliar no desenvolvimento do modelo. O modelo proposto contemplou a utilização de dois indicadores de desempenho que foram denominados nível sigma e nível de perda. Para o indicador de desempenho nível de perda propôs-se uma função de perda que contempla o cuidado que as organizações possuem com a expedição de produtos não conformes. Para a concretização do modelo proposto, foi desenvolvido um método de priorização que indica, a partir dos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, os processos prioritários para a intervenção com melhorias.



## 6 AVALIAÇÃO DO MODELO

### 6.1 Considerações iniciais

Neste capítulo é apresentada inicialmente a avaliação da função de perda proposta. Na sequência é apresentada a aplicação do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, e finalmente, são apresentadas as principais interferências na orientação objetiva do modelo sob a ótica do método de priorização proposto.

### 6.2 Avaliação do modelo proposto

A avaliação do modelo foi realizada a partir de dados de um processo de produção contínua de aço, sendo que este é o mesmo processo que foi estudado na organização 3 no capítulo 4. A coleta de dados para a avaliação do modelo foi iniciada com a formação de um grupo de estudo que foi composto por um coordenador de *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, um supervisor de produção e um pesquisador externo à organização. O grupo iniciou a coleta com uma seção de *brainstorming*, onde foram realizadas pré-análises dos processos de produção, sendo selecionado um processo de negócio específico. Este processo possui uma característica comum a maioria dos processos de produção contínua: possui a inspeção de 100% dos produtos, já que os produtos são inseparáveis e produzidos em fluxo ininterrupto.

Foram utilizados dados principalmente dos modelos de controle de desempenho que a organização possuía, como por exemplo, dados dos controles estatísticos do processo existentes. No processo de negócio existem 21 parâmetros que são controlados, contudo em apenas quatro pontos do processo o produto pode ser retirado por não atender os parâmetros controlados. Os quatro pontos do processo, onde o produto pode ser retirado, podem ser visualizados na Figura 17, onde estes pontos são chamados de processos 1, 2, 3 e 4.

O controle dos parâmetros nestes quatro processos é realizado através de medições por feixe de raios infravermelhos. Os dados do processo são obtidos automaticamente das medições, sendo estes também automaticamente inseridos por um software em gráficos de controle estatístico de processo. Os produtos não conformes são instantaneamente identificados e retirados do processo de produção por êmbolos hidráulicos que são acionados pelo software após classificar o parâmetro controlado em conforme ou não conforme.

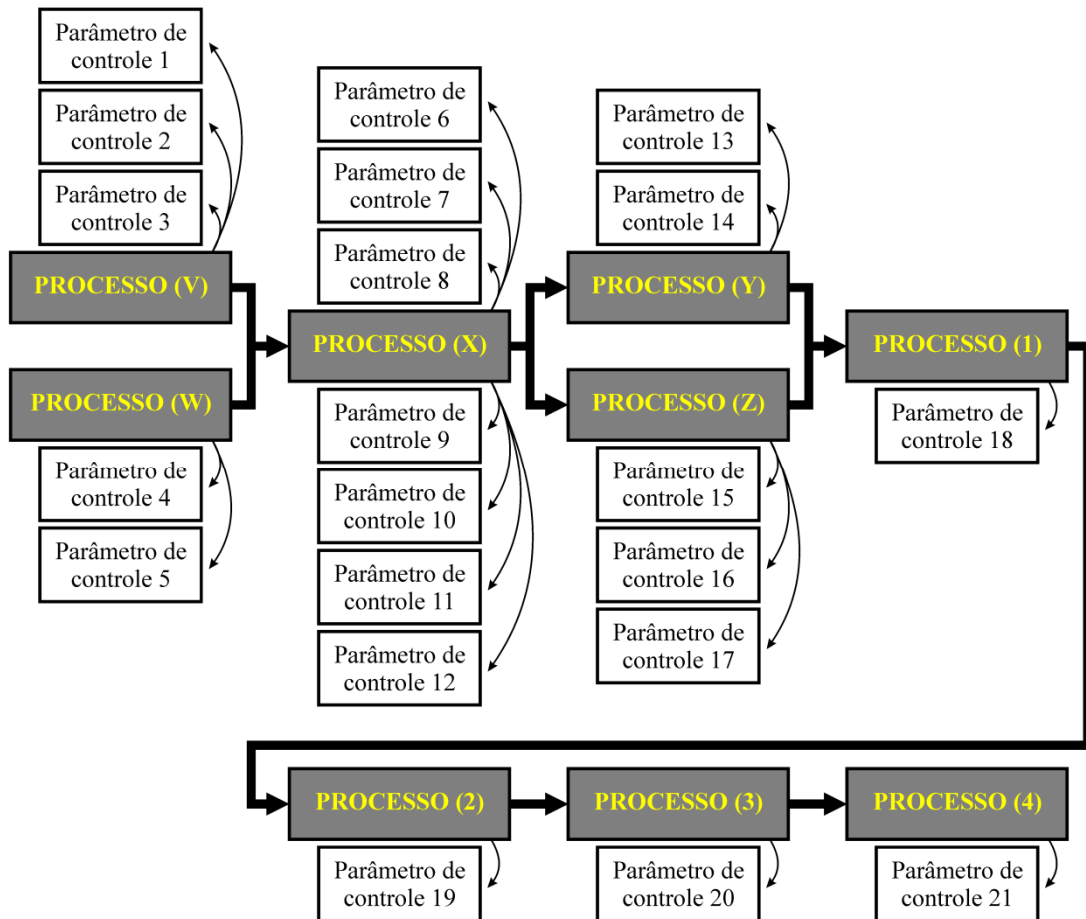


Figura 17 – Processo de negócio onde se realizou a coleta de dados

Após a coleta de dados partiu-se para a realização dos experimentos, sendo que o primeiro plano de experimento a ser considerado é aquele apresentado na Tabela 3, buscando verificar a hipótese (H-A): se for utilizada a função de perda proposta, então será menor o erro associado ao valor de perda real. O segundo plano de experimento a ser considerado é aquele apresentado na Tabela 4, buscando verificar a hipótese (H-B): se for atribuído diferentes pesos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, então serão diferentes as orientações objetivas do modelo. Dados e informações coletadas para a realização dos experimentos estão relacionados na Tabela 6.

Tabela 6 – Informações relacionadas aos processos abordados

<b>Informação</b>	<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>	<b>Processo 3</b>	<b>Processo 4</b>
Número de dados coletados	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Frequência das medições	a cada minuto	a cada minuto	a cada minuto	a cada minuto
Data do primeiro dado	22/05/2006	22/05/2006	23/05/2006	23/05/2006
Hora do primeiro dado	10h34min	16h05min	07h12min	09h49min
Data do último dado	18/06/2008	18/06/2008	18/06/2008	18/06/2008
Hora do último dado	20h27min	20h27min	20h27min	20h27min
Valor nominal	120 milímetros	120 milímetros	ângulo de 90 graus	ângulo de 90 graus
Faixa de tolerância	± 5 milímetros	± 5 milímetros	± ângulo de 1 grau	± ângulo de 1 grau
Número de unidades acima do limite de especificação superior	353	97	61	301
Número de unidades abaixo do limite de especificação inferior	304	70	58	316
Média dos dados coletados	119,9972567	119,9975197	89,99964241	89,99996203
Desvio Padrão	1,461904548	1,321721921	0,260459509	0,290445026
Valor máximo	127,8320	127,0810	91,3947	91,5557
Valor mínimo	106,0763	107,4115	87,5204	87,2343
Amplitude	21,7557	19,6695	3,8743	4,3213
Custo médio por unidade para a perda total desta	R\$ 26,71	R\$ 38,53	R\$ 42,63	R\$ 43,27
Custo total da falta de qualidade no período considerado	R\$ 1.820.948,71	R\$ 1.859.710,47	R\$ 2.083.602,03	R\$ 2.890.485,26

Para o primeiro plano de experimento procedeu-se com os cálculos para a obtenção dos custos totais da falta de qualidade segundo as funções de perda: tradicional, de Taguchi, e proposta. A representação destes cálculos e respectivos totais podem ser verificados nas Tabelas 7 e 8, que contém um intervalo de dados para a característica da qualidade em estudo ( $y_i$ ), bem como a perda monetária associada com o desvio da meta, para cada unidade  $i$  ( $L_i$ ) segundo as funções em questão:  $A1$  corresponde a função de perda tradicional,  $A2$  corresponde a função de perda de Taguchi, e  $A3$  corresponde a função de perda proposta.

Tabela 7 – Representação dos cálculos para os processos 1 e 2

PROCESSO 1					PROCESSO 2				
.	.	$A1$	$A2$	$A3$	.	.	$A1$	$A2$	$A3$
$i$	$y_i$	$L_i$	$L_i$	$L_i$	$i$	$y_i$	$L_i$	$L_i$	$L_i$
1	119,562	0,00	0,21	0,21	1	119,604	0,00	0,24	0,24
2	118,981	0,00	1,11	1,11	2	119,079	0,00	1,31	1,31
3	120,166	0,00	0,03	0,03	3	120,150	0,00	0,03	0,03
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
999.976	120,185	0,00	0,04	0,04	999.976	120,167	0,00	0,04	0,04
999.977	122,114	0,00	4,77	4,77	999.977	121,911	0,00	5,63	5,63
999.978	120,401	0,00	0,17	0,17	999.978	120,363	0,00	0,20	0,20
999.979	121,417	0,00	2,15	2,15	999.979	121,281	0,00	2,53	2,53
999.980	121,157	0,00	1,43	1,43	999.980	121,046	0,00	1,69	1,69
999.981	119,227	0,00	0,64	0,64	999.981	119,301	0,00	0,75	0,75
999.982	118,712	0,00	1,77	1,77	999.982	118,836	0,00	2,09	2,09
999.983	118,860	0,00	1,39	1,39	999.983	118,969	0,00	1,64	1,64
999.984	120,627	0,00	0,42	0,42	999.984	120,566	0,00	0,49	0,49
999.985	120,174	0,00	0,03	0,03	999.985	120,157	0,00	0,04	0,04
999.986	119,765	0,00	0,06	0,06	999.986	119,788	0,00	0,07	0,07
999.987	122,110	0,00	4,76	4,76	999.987	121,907	0,00	5,61	5,61
999.988	120,814	0,00	0,71	0,71	999.988	120,736	0,00	0,83	0,83
999.989	119,219	0,00	0,65	0,65	999.989	119,294	0,00	0,77	0,77
999.990	119,332	0,00	0,48	0,48	999.990	119,396	0,00	0,56	0,56
999.991	120,127	0,00	0,02	0,02	999.991	120,115	0,00	0,02	0,02
999.992	119,433	0,00	0,34	0,34	999.992	119,488	0,00	0,40	0,40
999.993	117,879	0,00	4,81	4,81	999.993	118,082	0,00	5,67	5,67
999.994	120,904	0,00	0,87	0,87	999.994	120,817	0,00	1,03	1,03
999.995	120,094	0,00	0,01	0,01	999.995	120,085	0,00	0,01	0,01
999.996	121,976	0,00	4,17	4,17	999.996	121,787	0,00	4,92	4,92
999.997	119,288	0,00	0,54	0,54	999.997	119,357	0,00	0,64	0,64
999.998	119,806	0,00	0,04	0,04	999.998	119,825	0,00	0,05	0,05
999.999	119,179	0,00	0,72	0,72	999.999	119,258	0,00	0,85	0,85
1.000.000	120,524	0,00	0,29	0,29	1.000.000	120,474	0,00	0,35	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>=</b>	<b>17.548,47</b>	<b>2.283.352,74</b>	<b>2.275.339,12</b>	<b>TOTAL</b>	<b>=</b>	<b>6.434,51</b>	<b>2.692.404,33</b>	<b>2.685.302,68</b>

Tabela 8 – Representação dos cálculos para os processos 3 e 4

PROCESSO 3					PROCESSO 4				
$i$	$y_i$	$A1$ $L_i$	$A2$ $L_i$	$A3$ $L_i$	$i$	$y_i$	$A1$ $L_i$	$A2$ $L_i$	$A3$ $L_i$
1	90,153	0,00	1,00	1,00	1	90,128	0,00	0,70	0,70
2	90,079	0,00	0,26	0,26	2	90,061	0,00	0,16	0,16
3	89,924	0,00	0,25	0,25	3	89,901	0,00	0,43	0,43
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
999.976	90,056	0,00	0,14	0,14	999.976	90,223	0,00	2,16	2,16
999.977	90,036	0,00	0,05	0,05	999.977	90,462	0,00	9,24	9,24
999.978	89,752	0,00	2,62	2,62	999.978	89,835	0,00	1,18	1,18
999.979	90,061	0,00	0,16	0,16	999.979	89,827	0,00	1,29	1,29
999.980	90,059	0,00	0,15	0,15	999.980	89,442	0,00	13,47	13,47
999.981	89,971	0,00	0,03	0,03	999.981	89,659	0,00	5,04	5,04
999.982	89,541	0,00	8,98	8,98	999.982	89,543	0,00	9,04	9,04
999.983	90,338	0,00	4,87	4,87	999.983	89,891	0,00	0,52	0,52
999.984	90,077	0,00	0,25	0,25	999.984	89,790	0,00	1,92	1,92
999.985	89,741	0,00	2,86	2,86	999.985	90,557	0,00	13,45	13,45
999.986	89,973	0,00	0,03	0,03	999.986	90,296	0,00	3,79	3,79
999.987	89,567	0,00	7,99	7,99	999.987	90,167	0,00	1,20	1,20
999.988	90,276	0,00	3,24	3,24	999.988	89,796	0,00	1,80	1,80
999.989	89,683	0,00	4,28	4,28	999.989	90,149	0,00	0,96	0,96
999.990	89,923	0,00	0,25	0,25	999.990	89,960	0,00	0,07	0,07
999.991	90,167	0,00	1,19	1,19	999.991	89,357	0,00	17,92	17,92
999.992	89,501	0,00	10,61	10,61	999.992	90,239	0,00	2,47	2,47
999.993	89,857	0,00	0,87	0,87	999.993	89,919	0,00	0,28	0,28
999.994	89,866	0,00	0,77	0,77	999.994	90,041	0,00	0,07	0,07
999.995	89,801	0,00	1,68	1,68	999.995	90,237	0,00	2,43	2,43
999.996	89,924	0,00	0,25	0,25	999.996	90,037	0,00	0,06	0,06
999.997	89,789	0,00	1,90	1,90	999.997	89,544	0,00	8,99	8,99
999.998	89,810	0,00	1,55	1,55	999.998	90,227	0,00	2,24	2,24
999.999	89,842	0,00	1,06	1,06	999.999	90,011	0,00	0,01	0,01
1.000.000	90,144	0,00	0,89	0,89	1.000.000	89,564	0,00	8,22	8,22
<b>TOTAL</b>	<b>=</b>	<b>5.072,97</b>	<b>2.891.985,77</b>	<b>2.884.048,03</b>	<b>TOTAL</b>	<b>=</b>	<b>26.697,59</b>	<b>3.650.180,61</b>	<b>3.636.112,13</b>

Para o segundo plano de experimento procedeu-se inicialmente com os cálculos para a obtenção dos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda segundo os quatro processos em questão. Para a obtenção dos resultados (Figura 18), utilizaram-se as equações previamente apresentadas nesta dissertação: para o nível sigma foi utilizada a equação 18 e a tabela de conversão Seis Sigma; para o nível de perda foram utilizadas as equações 5 e 6, equações estas, relacionadas a função de perda proposta.

Pode-se verificar que o processo 3 apresenta o melhor índice de desempenho Seis Sigma, com nível sigma igual a 5,125. Por outro lado, pode-se verificar que os processos 1 e 4

apresentam os piores índices de desempenho Seis Sigma, com nível sigma igual a 4,625. Pode-se verificar também que o processo 1 apresenta o melhor índice de desempenho monetário, com nível de perda igual a R\$ 2.275.339,12, sendo seguido pelo processo 2, pelo processo 3 e pelo processo 4, este último com o pior índice de desempenho monetário, com nível de perda igual a R\$ 3.636.112,13.

<b>Indicador de desempenho Seis Sigma (nível sigma)</b>	<b>PROCESSO 1</b>	<b>4,625</b>
	<b>PROCESSO 2</b>	<b>5,000</b>
	<b>PROCESSO 3</b>	<b>5,125</b>
	<b>PROCESSO 4</b>	<b>4,625</b>
<b>Indicador de desempenho monetário (nível de perda)</b>	<b>PROCESSO 1</b>	<b>2.275.339,12</b>
	<b>PROCESSO 2</b>	<b>2.685.302,68</b>
	<b>PROCESSO 3</b>	<b>2.884.048,03</b>
	<b>PROCESSO 4</b>	<b>3.636.112,13</b>

Figura 18 – Resultados dos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda

Na seqüência buscou-se verificar as interferências na orientação objetiva do modelo sob a ótica do método de priorização proposto. Para isto, procedeu-se com os cálculos para a obtenção dos *rankings* de priorização utilizando-se as equações 19 a 28. A Tabela 9 contém a representação completa dos cálculos e o *ranking* formado atribuindo-se peso igual aos indicadores de desempenho em questão, ou seja,  $\lambda_\alpha = B1 = 0,5$  e  $\lambda_\beta = B2 = 0,5$ .

As Tabelas 10 e 11 contêm a representação dos resultados e os *rankings* formados atribuindo-se diferentes pesos aos indicadores de desempenho em questão:  $B1$  ( $\lambda_\alpha$ ) corresponde aos pesos atribuídos ao indicador de desempenho nível sigma e  $B2$  ( $\lambda_\beta$ ) corresponde aos pesos atribuídos ao indicador de desempenho nível de perda. Nas Tabelas 9, 10 e 11 o identificador que afeta o valor relativo de cada peso ( $\xi$ ), deve ser considerado igual a 0,0005; o menor índice nível sigma que os processos em questão admitem ( $\alpha_p$ ), deve ser considerado igual a 1; e o menor índice nível de perda que os processos em questão admitem ( $\beta_p$ ), deve ser considerado igual a 0.

Tabela 9 – Representação dos cálculos segundo o método de priorização proposto

	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>Ranking</i>
<i>Processo</i>						
1	$X = \begin{bmatrix} 4,625 & 2.275.339,12 \\ 5,000 & 2.685.302,68 \\ 5,125 & 2.884.048,03 \\ 4,625 & 3.636.112,13 \end{bmatrix}$	$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$Z = \begin{bmatrix} 20,6216 & 2275338 \\ 19,0000 & 2685302 \\ 18,5122 & 2884047 \\ 20,6216 & 3636111 \end{bmatrix}$	$M = \begin{bmatrix} 0,9989 & 0,0008 \\ 0,9997 & 0,0007 \\ 1,0000 & 0,0006 \\ 0,9989 & 0,0005 \end{bmatrix}$	$N = \begin{bmatrix} 0,4998 \\ 0,5002 \\ 0,5003 \\ 0,4997 \end{bmatrix}$	2°
2						3°
3						4°
4						1°

Tabela 10 – Representação dos resultados segundo o método de priorização proposto

		$B1 = 0$ e $B2 = 1$	$B1 = 0,1$ e $B2 = 0,9$	$B1 = 0,15$ e $B2 = 0,85$			
<i>Processo</i>		<i>Ranking</i>	<i>Ranking</i>	<i>Ranking</i>			
1	$N =$	$\begin{bmatrix} 0,0008065 \\ 0,0006835 \\ 0,0006364 \\ 0,0005048 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4^\circ \\ 3^\circ \\ 2^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,1006111 \\ 0,1005886 \\ 0,1005728 \\ 0,1003396 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4^\circ \\ 3^\circ \\ 2^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,1505135 \\ 0,1505411 \\ 0,1505409 \\ 0,1502570 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2^\circ \\ 4^\circ \\ 3^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$
2							
3							
4							

Tabela 11 – Representação dos resultados segundo o método de priorização proposto

		$B1 = 0,5$ e $B2 = 0,5$	$B1 = 0,85$ e $B2 = 0,15$	$B1 = 1$ e $B2 = 0$			
<i>Processo</i>		<i>Ranking</i>	<i>Ranking</i>	<i>Ranking</i>			
1	$N =$	$\begin{bmatrix} 0,4998296 \\ 0,5002090 \\ 0,5003182 \\ 0,4996788 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2^\circ \\ 3^\circ \\ 4^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,8491458 \\ 0,8498768 \\ 0,8500955 \\ 0,8491006 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2^\circ \\ 3^\circ \\ 4^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,9988527 \\ 0,9997345 \\ 1,0000000 \\ 0,9988527 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1^\circ \\ 3^\circ \\ 4^\circ \\ 1^\circ \end{bmatrix}$
2							
3							
4							

### 6.3 Resultados

Para facilitar a conclusão do primeiro plano de experimento (Tabela 3) sobre qual função de perda possui menor erro associado, possivelmente melhor se adaptando e retratando a realidade dos parâmetros controlados, construiu-se um gráfico (Figura 19) que apresenta o erro associado a cada função de perda quando comparada ao valor de perda real informado pelo centro de custo: custo total da falta de qualidade no período considerado (Tabela 6).

No gráfico da Figura 19 verifica-se que a função de perda que apresenta menor erro associado ao desvio do valor de perda real nos processos 1, 2, 3, e 4 é a função proposta, com percentuais de erro iguais a 24,95%, 44,39%, 38,42%, e 25,80% respectivamente. A função de perda de Taguchi apresentou percentuais de erro iguais a 25,39%, 44,78%, 38,80%, e 26,28% respectivamente. Com pior desempenho apresenta-se a função de perda tradicional com percentuais de erro iguais a 99,04%, 99,65%, 99,76%, e 99,08% respectivamente.

Os resultados mostraram que a função de perda proposta nesta dissertação possui melhor aplicabilidade quando comparada às funções de perda tradicional e de Taguchi, confirmando a hipótese (H-A): se for utilizada a função de perda proposta, então será menor o erro associado ao valor de perda real. Contudo, a diferença do erro associado ao valor de perda real, quando consideradas as funções de perda de Taguchi e a proposta é pouco significativa. Num trabalho citado anteriormente, Roos et al. (2008), a diferença do erro associado ao valor de perda real é mais significativa: a função de perda de Taguchi apresentou





Verifica-se que as seis alterações de variáveis (pesos de *B1* e *B2* atribuídos aos indicadores nível sigma e nível de perda respectivamente) resultaram em quatro diferentes formações de *rankings*, conforme destacado pelas setas coloridas no Quadro 1. Isto é um indicio para se confirmar a hipótese (H-B): se for atribuído diferentes pesos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, então serão diferentes as orientações objetivas do modelo. Assim, dependendo da estratégia da organização, diferentes pesos podem ser atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, conduzindo a diferentes orientações objetivas do modelo.

Quando são abordados poucos processos de produção, como é o caso desta dissertação, fica facilitada a formação de uma lógica informal que permita priorizar certo indicador de desempenho. Contudo, quando é abordado um número maior de processos, acima de 20 processos, a utilização do método de priorização é fundamental para facilitar a formação de estratégias que permitam valorizar certo indicador de desempenho. Assim, após proceder-se com a interpretação dos resultados, o grupo de estudo finalizou as atividades com uma apresentação da conclusão à organização.

#### **6.4 Considerações finais**

Este capítulo consistiu na avaliação do modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Os resultados demonstraram que o modelo de controle do desempenho apresenta características capazes de trazer mais objetividade no controle do desempenho em processos de produção contínua, pois quando diferentes pesos são atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, têm-se diferentes orientações objetivas do modelo. Assim, dependendo da estratégia da organização, pode-se optar em melhorar processos com maior incidência de defeitos ou processos com maiores custos relacionados à falta de qualidade. Já em relação à função de perda proposta, os resultados mostraram que esta possui melhor desempenho já que possui menor erro associado ao desvio do valor de perda real.

## 7 CONCLUSÃO

Nesta dissertação os contextos da Engenharia de Produção e do Seis Sigma foram abordados, buscando uma resposta para a pergunta que concretizou o problema de pesquisa ascendente desta pesquisa: como controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua? Ao final desta pesquisa defende-se uma resposta que é fundamentada nos argumentos apresentados no decorrer do texto, seja esta: para controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua pode-se utilizar o modelo proposto nesta dissertação. O Quadro 2 apresenta uma síntese conclusiva.

O modelo proposto é fundamentado numa lógica que permite controlar de modo particular o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, possibilitando, de modo simples e imediato, a realização de previsões de desempenhos futuros, bem como a execução de ações gerenciais nos processos de produção, ações estas capazes de aumentar a satisfação dos clientes, o que interfere na lucratividade e sobrevivência das organizações. O princípio de utilizar indicadores de desempenho monetários associados aos indicadores de desempenho Seis Sigma é defendido pelo fato dos indicadores monetários poderem trazer uma visão real de perdas associadas à falta de qualidade nos processos de produção.

Analisando-se as perdas monetárias associadas à falta de qualidade, evidencia-se o quanto uma empresa perde quando não se tem o cuidado com as causas comuns e especiais de variação. De tal modo, é conclusivo que as vantagens em se utilizar a iniciativa Seis Sigma e as funções de perda são dadas principalmente em razão da continuidade dos procedimentos de melhoria contínua, visto que se busca atingir a perfeição, isto é, um processo centrado à especificação nominal e com variabilidade zero. Um dos escopos do Engenheiro de Produção, em qualquer processo de produção, é minimizar ao máximo as perdas no processo, e para tanto considerar as perdas monetárias associadas à falta de qualidade nas decisões gerenciais, é fator fundamental para balizar o futuro dos processos de produção de bens e serviços.

Quadro 2 – Objetivos, resultados e conclusões obtidas na pesquisa

<b>Objetivo geral:</b> Desenvolver, no contexto do Seis Sigma, um modelo objetivo de controle do desempenho em processos de produção contínua.
<b>Resultado:</b> Foi desenvolvido, no contexto do Seis Sigma, um modelo objetivo de controle do desempenho em processos de produção contínua.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que o modelo apresenta características capazes de trazer mais objetividade no controle do desempenho em processos de produção contínua, pois quando diferentes pesos são atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, têm-se diferentes orientações objetivas do modelo.
<b>Objetivo específico:</b> Investigar em referenciais teóricos modelos de controle do desempenho associados ao Seis Sigma.
<b>Resultado:</b> Foram identificados e descritos três modelos de controle do desempenho associados ao Seis Sigma: controle estatístico de processo, função de perda e defeitos por milhão de oportunidades.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que são modelos bem difundidos e muito importantes no contexto do Seis Sigma.
<b>Objetivo específico:</b> Detectar no contexto organizacional peculiaridades quanto ao controle do desempenho em processos de produção contínua.
<b>Resultado:</b> Foram detectadas duas peculiaridades em especial: a importância do controle do desempenho em processos de produção contínua, e o cuidado exercido com a expedição de produtos não conformes.
<b>Conclusão:</b> Para a primeira peculiaridade concluiu-se que esta sustentou mais de perto o problema de pesquisa, pois despertou mais uma vez a necessidade de um modelo de controle objetivo do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. Para a segunda peculiaridade concluiu-se que esta despertou a necessidade de uma nova maneira para medir e controlar custos relacionados à falta de qualidade.
<b>Objetivo específico:</b> Propor um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua.
<b>Resultado:</b> Foi proposto um modelo de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, modelo que contemplou a utilização de dois indicadores de desempenho que foram denominados nível sigma e nível de perda.
<b>Conclusão:</b> Conclui-se que o modelo busca contribuir para o alcance do objetivo geral desta dissertação.
<b>Objetivo específico:</b> Avaliar o modelo proposto com dados originários de processos de produção contínua.
<b>Resultado:</b> Foi avaliado positivamente o resultado obtido depois que diferentes pesos foram atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda.
<b>Conclusão:</b> Concluiu-se que diferentes pesos podem ser atribuídos aos indicadores de desempenho nível sigma e nível de perda, e que isto conduzirá a diferentes orientações objetivas do modelo.

A continuidade desta pesquisa está sendo dada na investigação de outros processos de produção contínua, bem como na modelagem de função de perda para o cálculo da perda média unitária num lote de produtos, onde neste caso se considera a média e o desvio-padrão de um lote para estimar a perda média por unidade. A intenção da continuidade desta pesquisa é motivada principalmente pela intenção de expandir o modelo, de controle do desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua, para os demais tipos de processos de produção.

Assim, a conclusão desta dissertação proporcionou uma reflexão acerca do quão importante o modelo proposto pode ser nos processos abordados e para aquelas organizações que necessitam deste mesmo recurso para controlar de maneira objetiva o desempenho Seis Sigma em processos de produção contínua. A limitação deste estudo é o foco em quatro processos de produção contínua. Ainda que a dissertação forneça evidências de que o modelo proposto possui boa aplicabilidade, bem como de que a função de perda proposta possui melhor desempenho quando comparada às funções de perda tradicional e de Taguchi, é reconhecido que são resultados limitados a apenas quatro processos de produção. Metodologicamente, não se podem generalizar as inconsistências específicas nos resultados para outros contextos empíricos e científicos. Pesquisas futuras devem focar em outros processos de produção para investigar se há diferenças significantes nos resultados.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. **The TQM Magazine**, v.18, n.3, p.282-296, 2006.
- ANTONY, J. Can six sigma be effectively implemented in SMEs? **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.57, n.5, p.420-423, 2008b.
- ANTONY, J. Design for six sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage. **Work Study**, v.51, n.1, p.6-8, 2002.
- ANTONY, J. et al. Can six sigma be the “cure” for our “ailing” NHS? **Leadership in Health Services**, v.20, n.4, p.242-253, 2007a.
- ANTONY, J. et al. Six sigma in service organizations: benefits, challenges and difficulties, common myths, empirical observations and success factors. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.24, n.3, p.294-311, 2007b.
- ANTONY, J. Is six sigma a management fad or fact? **Assembly Automation**, v.27, n.1, p.17-19, 2007.
- ANTONY, J. Six sigma for service processes. **Business Process Management Journal**, v.12, n.2, p.234-248, 2006.
- ANTONY, J. Six Sigma in the UK service organisations: results from a pilot survey. **Managerial Auditing Journal**, v.19, n.8, p.1006-1013, 2004a.
- ANTONY, J. Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.303-306, 2004b.
- ANTONY, J. What is the role of academic institutions for the future development of six sigma? **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.57, n.1, p.107-110, 2008a.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of six sigma program. **Measuring Business Excellence**, v.6, n.4, p.20-27, 2002.
- ANTONY, J.; CORONADO, R. B. A strategy for survival. **Manufacturing Engineer**, v.80, n.3, p.119-121, 2001.

ANTONY, J.; DOUGLAS, A.; ANTONY, F. J. Determining the essential characteristics of six sigma black belts: results from a pilot study in UK manufacturing companies. **The TQM Magazine**, v.19, n.3, p.274-281, 2007.

ANTONY, J.; FERGUSSON, C. Six sigma in the software industry: results from a pilot study. **Managerial Auditing Journal**, v.19, n.8, p.1025-1032, 2004.

ANTONY, J.; KUMAR, M.; MADU, C. N. Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: some empirical observations. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.22, n.8, p.860-874, 2005.

ARNHEITER, E. D.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and six sigma. **The TQM Magazine**, v.17, n.1, p.5-18, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2005.

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. (Coord.) **Administração da qualidade e da produtividade: abordagens do processo administrativo**. São Paulo: Atlas, 2001. 484 p.

BANUELAS, R. et al. Selection of six sigma projects in the UK. **The TQM Magazine**, v.18, n.5, p.514-527, 2006.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Going from six sigma to design for six sigma: an exploratory study using analytic hierarchy process. **The TQM Magazine**, v.15, n.5, p.334-344, 2003.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Six sigma or design for six sigma? **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.250-263, 2004.

BATALHA, M. O. (Org.) **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 312 p.

BELL, J. **Projeto de pesquisa: guia para pesquisadores iniciantes em educação, saúde e ciências sociais**. Tradução Magda França Lopes. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 224 p.

BEN-DAYA, M.; DUFFUAA, S. O. Integration of Taguchi's loss function approach in the economic design of x-chart. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.20, n.5, p.607-619, 2003.

BENDELL, T. A review and comparison of six sigma and the lean organizations. **The TQM Magazine**, v.18, n.3, p.255-262, 2006.

BISGAARD, S.; FREIESLEBEN, J. Six Sigma and the bottom line. **Quality Progress**, v.37, n.9, p.57-62, 2004.

BISGAARD, S.; MAST, J. After Six Sigma: what's next? **Quality Progress**, v.39, n.1, p.30-36, 2006.

BLACK, K.; REVERE, L. Six sigma arises from the ashes of TQM with a twist. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v.19, n.3, p.259-266, 2006.

- BREYFOGLE III, F. W. Golf and Six Sigma: use Six Sigma metrics to drive proper process behavior. **Quality Progress**, v.35, n.11, p.83-85, 2002.
- BREYFOGLE III, F. W.; MEADOWS, B. Bottom-line success with Six Sigma: define key process output variables and their effects on the cost of poor quality. **Quality Progress**, v.34, n.5, p.101-104, 2001.
- BREYFOGLE, F. W. **Six Sigma: smarter solutions using statistical methods**. 2.ed. Austin: Wiley, 2003.
- BUCH, K. K.; TOLENTINO, A. Employee expectancies for six sigma success. **Leadership & Organization Development Journal**, v.27, n.1, p.28-37, 2006a.
- BUCH, K. K.; TOLENTINO, A. Employee perceptions of the rewards associated with six sigma. **Journal of Organizational Change Management**, v.19, n.3, p.356-364, 2006b.
- BYRNE, G.; LUBOWE, D.; BLITZ, A. Using a lean six sigma approach to drive innovation. **Strategy & Leadership**, v.35, n.2, p.5-10, 2007.
- ÇAKIR, O. The grey extent analysis. **Kybernetes**, v.37, n.7, p.997-1015, 2008.
- CALDWELL, C.; BREXLER, J.; GILLEM, T. Engaging physicians in Lean Six Sigma. **Quality Progress**, v.38, n.11, p.42-46, 2005.
- CAMGOZ-AKDAG, H. Total quality management through six sigma benchmarking: a case study. **Benchmarking: An International Journal**, v.14, n.2, p.186-201, 2007.
- CARAVANTES, G. R.; PANNO, C. C.; KLOECKNER, M. C. **Administração: teorias e processo**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 572 p.
- CARNELL, M. Six Sigma in everything we do? **Quality Progress**, v.40, n.1, p.67-68, 2007.
- CARNELL, M. The Six Sigma mambo. **Quality Progress**, v.37, n.1, p.87-89, 2004.
- CARVALHO, M. M. de; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 355 p.
- CHAKRABARTY, A.; TAN, K. C. The current state of six sigma application in services. **Benchmarking: An International Journal**, v.17, n.2, p.194-208, 2007.
- CHEN, C. N.; TING, S. C. A study using the grey system theory to evaluate the importance of various service quality factors. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.19, n.7, p.838-861, 2002.
- CHEN, Z. et al. Grey linear programming. **Kybernetes**, v.33, n.2, p.238-246, 2004.
- CHENG, J. L. Implementing six sigma via TQM improvement: an empirical study in Taiwan. **The TQM Journal**, v.20, n.3, p.182-195, 2008.
- CONKLIN, J. D. DOE and Six Sigma. **Quality Progress**, v.37, n.3, p.66-69, 2004.
- CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. **The TQM Magazine**, v.14, n.2, p.92-99, 2002.

CORRÊA, H. L. **Teoria geral da administração: abordagem histórica da gestão de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2003. 157 p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2004. 334 p.

CROM, S. Implementing Six Sigma in Europe: a cross-cultural perspective. **Quality Progress**, v.33, n.10, p.73-75, 2000.

DAHLGAARD, J. J.; DAHLGAARD-PARK, S. M. Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. **The TQM Magazine**, v.18, n.3, p.263-281, 2006.

DANIELS, S. E. Six Sigma at Cigna. **Quality Progress**, v.40, n.5, p.43-48, 2007.

DAOWU, Y. et al. The application of “grey system theory” in a molybdate inhibitive study. **Anti-Corrosion Methods and Materials**, v.51, n.3, p.200-204, 2004.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Tradução Eduardo D’ Agord Schaan et al. 3.ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001. 598 p.

DINIZ, M. G. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. 1.ed. São Paulo: Artiber Editora, 2001. 71 p.

ECKES, G. **A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. Tradução Reynaldo Cavalheiro Marcondes. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 272 p.

EDGEMAN, R. L.; BIGIO, D. I. Six Sigma in metaphor: heresy or holy writ? **Quality Progress**, v.37, n.1, p.25-30, 2004.

EHIE, I.; SHEU, C. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.16, n.5, p.542-553, 2005.

ELLIOTT, G. The journey to steps to six sigma. **Handbook of Business Strategy**, v.5, n.1, p.201-205, 2004.

ESIMAI, G. Lean Six Sigma reduces medication errors. **Quality Progress**, v.38, n.4, p.51-57, 2005.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação**. Tradução Jorge Ritter. 4.ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2005. 564 p.

FLEURY, A. O que é Engenharia de Produção? In: BATALHA, M. O. (Org.) **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p.1-10.

FREIESLEBEN, J. Communicating six sigma’s benefits to top management. **Measuring Business Excellence**, v.10, n.2, p.19-27, 2006.



- GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. Tradução José Carlos Barbosa dos Santos. Revisão Petrônio Garcia Martins. 8.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001. 598 p.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.
- GNIBUS, R. J. Six Sigma's missing link: understanding the quality tool needed to calculate sigma ratings. **Quality Progress**, v.33, n.11, p.77-83, 2000.
- GODFREY, A. B. Why Six Sigma? **Quality Progress**, v.35, n.1, p.6-6, 2002.
- GOH, T. N.; XIE, M. Improving on the six sigma paradigm. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.235-240, 2004.
- GOODMAN, J.; THEUERKAUF, J. What's wrong with Six Sigma? **Quality Progress**, v.38, n.1, p.37-42, 2005.
- GROSS, J. M. A road map to Six Sigma quality: a successful program must become a cultural revolution involving every person in an organization. **Quality Progress**, v.34, n.11, p.24-29, 2001.
- GUO, R.; LOVE, E. Fuzzy set-valued and grey filtering statistical inferences on a system operating data. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.11, n.3, p.267-278, 2005.
- HAHN, G. J.; DOGANAKSOY, N.; STANARD, C. Statistical tools for Six Sigma: what to emphasize and de-emphasize in training. **Quality Progress**, v.34, n.9, p.78-82, 2001.
- HAIKONEN, A.; SAVOLAINEN, T.; JÄRVINEN, P. Exploring six sigma and CI capability development: preliminary case study findings on management role. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.15, n.4, p.369-378, 2004.
- HAMMER, M. **A agenda: o que as empresas devem fazer para dominar esta década**. Tradução Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 317 p.
- HAN, C.; LEE, Y. H. Intelligent integrated plant operation system for Six Sigma. **Annual Reviews in Control**, v.26, p.27-43, 2002.
- HARRISON, J. S. **Administração estratégica de recursos e relacionamentos**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. Porto Alegre: Bookman Editora, 2005. 430 p.
- HARRY, M. J. Abatement of business risk is key to Six Sigma: a closer link to executive thinking. **Quality Progress**, v.33, n.7, p.72-76, 2000a.
- HARRY, M. J. Six Sigma focuses on improvement rates: entitlement can be reached below target performance level. **Quality Progress**, v.33, n.6, p.76-80, 2000b.
- HENDERSON, K. M.; EVANS, J. R. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. **Benchmarking: An International Journal**, v.7, n.4, p.260-281, 2000.
- HENSLEY, R. L.; DOBIE, K. Assessing readiness for six sigma in a service setting. **Managing Service Quality**, v.15, n.1, p.82-101, 2005.

- HOLTZ, R.; CAMPBELL, P. Six sigma: its implementation in Ford's facility management and maintenance functions. **Journal of Facilities Management**, v.2, n.4, p.320-329, 2004.
- HONG, G. Y.; GOH, T. N. Six Sigma in software quality. **The TQM Magazine**, v.15, n.6, p.364-373, 2003.
- HUTCHINS, G. The branding of Six Sigma: brand yourself the same way. **Quality Progress**, v.33, n.9, p.120-121, 2000.
- INGLE, S.; ROE, W. Six sigma black belt implementation. **The TQM Magazine**, v.13, n.4, p.273-280, 2001.
- JIANG, J. C.; SHIU, M. L.; TU, M. H. DFX and DFSS: how QFD integrates them. **Quality Progress**, v.40, n.10, p.45-51, 2007.
- JOHNSON, K. Six Sigma delivers on-time service. **Quality Progress**, v.38, n.12, p.57-59, 2005.
- KENDALL, J.; FULENWIDER, D. O. Six Sigma, e-commerce pose new challenges: it infrastructure needs to be in top shape. **Quality Progress**, v.33, n.7, p.31-37, 2000.
- KNOWLES, G.; JOHNSON, M.; WARWOOD, S. Medicated sweet variability: a six sigma application at a UK food manufacturer. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.284-292, 2004.
- KUEI, C. H.; MADU, C. N. Customer-centric six sigma quality and reliability management. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.20, n.8, p.954-964, 2003.
- KUMAR, U. D. et al. Six sigma project selection using data envelopment analysis. **The TQM Magazine**, v.19, n.5, p.419-441, 2007.
- LEE-MORTIMER, A. Leading UK manufacturer probes the potential of six sigma. **Assembly Automation**, v.27, n.4, p.302-308, 2007.
- LEE-MORTIMER, A. Six sigma: a vital improvement approach when applied to the right problems, in the right environment. **Assembly Automation**, v.26, n.1, p.10-17, 2006a.
- LEE-MORTIMER, A. Six sigma: effective handling of deep rooted quality problems. **Assembly Automation**, v.26, n.3, p.200-204, 2006b.
- LI, G. D.; YAMAGUCHI, D.; NAGAI, M. Application of grey-based rough decision-making approach to suppliers selection. **Journal of Modelling in Management**, v.2, n.2, p.131-142, 2007.
- LITTLE, B. "Six sigma" techniques improve the quality of e-learning. **Industrial and Commercial Training**, v.35, n.3, p.104-108, 2003.
- LOCHER, D. In the office: where lean and Six Sigma converge. **Quality Progress**, v.40, n.10, p.54-55, 2007.
- LOCHNER, R. Volunteer trains black belts in Romania. **Quality Progress**, v.38, n.4, p.67-73, 2005.

- LUCAS, J. M. The essential Six Sigma: how successful Six Sigma implementation can improve the bottom line. **Quality Progress**, v.35, n.1, p.27-31, 2002.
- LYNCH, D. P.; BERTOLINO, S.; CLOUTIER, E. How to scope DMAIC projects: the importance of the right objective cannot be overestimated. **Quality Progress**, v.36, n.1, p.37-41, 2003.
- MADER, D. P. Axiomatic design and DFSS. **Quality Progress**, v.38, n.8, p.77-80, 2005.
- MADER, D. P. Design for Six Sigma: you need more than standard Six Sigma approaches to optimize your product or service development. **Quality Progress**, v.35, n.7, p.82-86, 2002.
- MADER, D. P. DFSS and your current design process. **Quality Progress**, v.36, n.7, p.88-89, 2003.
- MADER, D. P. How to identify and select Lean Six Sigma projects. **Quality Progress**, v.40, n.7, p.58-60, 2007.
- MADER, D. P. Lean Six Sigma's evolution: integrated method uses different deployment models. **Quality Progress**, v.41, n.1, p.40-48, 2008a.
- MADER, D. P. Selecting design for Six Sigma projects. **Quality Progress**, v.37, n.7, p.65-70, 2004.
- MADER, D. P. What comes after the Low-hanging Fruit? Making smart choices about Lean six Sigma applications. **Quality Progress**, v.41, n.8, p.58-60, 2008b.
- MAHANTI, R.; ANTONY, J. Confluence of six sigma, simulation and software development. **Managerial Auditing Journal**, v.20, n.7, p.739-762, 2005.
- MALEYEFF, J.; KRAYENVENGER, D. E. Goal setting with six sigma mean shift determination. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v.76, n.6, p.577-583, 2004.
- MAST, J.; BISGAARD, S. The science in Six Sigma. **Quality Progress**, v.40, n.1, p.25-29, 2007.
- MATTOS, V. L. D.; BARBETTA P. A.; SAMOHYL, R. W. Utilização de variâncias amostrais e resíduos quadráticos na identificação de efeitos de dispersão em projetos experimentais do tipo 2k. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Abepro, 2004. 1 CD-ROM.
- McADAM, R.; LAFFERTY, B. A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change? **International Journal of Operations & Production Management**, v.24, n.5, p.530-549, 2004.
- MCCARTY, T. D.; FISHER, S. A. Six sigma: it is not what you think. **Journal of Corporate Real Estate**, v.9, n.3, p.187-196, 2007.
- MELLAT-PARAST, M.; JONES, E. C.; ADAMS, S. G. Six Sigma and Baldrige: a quality alliance. **Quality Progress**, v.40, n.9, p.45-51, 2007.

- MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da produção para MBAs**. Tradução Eliane Kanner. Porto Alegre: Bookman Editora, 2002. 391 p.
- MILIVOJEVICH, A. Emotional intelligence and Six Sigma. **Quality Progress**, v.39, n.8, p.45-49, 2006.
- MITRA, A. Six sigma education: a critical role for academia. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.293-302, 2004.
- MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 624 p.
- 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**, v.16, n.4, p.273-283, 2004.
- MÜLLER, M. S.; CORNELSEN, J. M. **Normas e padrões para teses, dissertações e monografias**. 6.ed. rev. e atual. Londrina: Eduep, 2007. 155 p.
- MUNRO, R. A. Linking Six Sigma with QS-9000: auto industry adds new tool for quality improvement. **Quality Progress**, v.33, n.5, p.47-53, 2000.
- NÄSLUND, D. Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods? **Business Process Management Journal**, v.14, n.3, p.269-287, 2008.
- NAVE, D. How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints: a framework for choosing what's best for your organization. **Quality Progress**, v.35, n.3, p.73-78, 2002.
- NEUSCHELER-FRITSCH, D.; NORRIS, R. Capturing financial benefits from Six Sigma: five lessons learned will resonate with top management. **Quality Progress**, v.34, n.5, p.39-44, 2001.
- NONTHALEERAK, P.; HENDRY, L. Exploring the six sigma phenomenon using multiple case study evidence. **International Journal of Operations & Production Management**, v.28, n.3, p.279-303, 2008.
- O'NEILL, M.; DUVALL, C. A six sigma quality approach to workplace evaluation. **Journal of Facilities Management**, v.3, n.3, p.240-253, 2005.
- OLIVEIRA, O. J. (Org.) **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. 1.reimpr. São Paulo: Pioneira Thomson Learnig, 2006. 243 p.
- PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2.ed. 3.reimpr. São Paulo: Atlas, 2006. 339 p.
- PAN, J. N. A new loss function-based method for evaluating manufacturing and environmental risks. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.24, n.8, p.861-887, 2007.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Tradução Cristina Bazán Tecnologia e Lingüística. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2001. 442 p.

- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **The Six Sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance**. New York: McGraw-Hill, 2000. 422 p.
- PANDEY, A. Strategically focused training in six sigma way: a case study. **Journal of European Industrial Training**, v.31, n.2, p.145-162, 2007.
- PARODY, R. J.; VOELKEL, J. G. Six Sigma start-up at small companies. **Quality Progress**, v.39, n.5, p.68-69, 2006.
- PATTON, F. Does Six Sigma work in service industries? **Quality Progress**, v.38, n.9, p.55-60, 2005.
- PESTORIUS, M. S. Apply Six Sigma to sales and marketing. **Quality Progress**, v.40, n.1, p.19-24, 2007.
- PFEIFER, T.; RESSIGER, W.; CANALES, C. Integrating six sigma with quality management systems. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.241-249, 2004.
- PHILLIPS-DONALDSON, D. Six Sigma: a false God? **Quality Progress**, v.36, n.1, p.6-6, 2003.
- RAISINGHANI, M. S. et al. Six sigma: concepts, tools, and applications. **Industrial Management & Data Systems**, v.105, n.4, p.491-505, 2005.
- RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 130 p.
- REIDENBACH, R. E.; GOEKE, R. W. Six Sigma, value and competitive strategy. **Quality Progress**, v.40, n.7, p.45-49, 2007.
- REVERE, L.; BLACK, K.; HUQ, A. Integrating six sigma and CQI for improving patient care. **The TQM Magazine**, v.16, n.2, p.105-113, 2004.
- RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. T. Controle estatístico do processo. In: PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Porto Alegre, UFRGS, 2007, 144 p. /Apostila/.
- RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. Tradução Roberto Galman. Revisão técnica Carlos Eduardo Mariano da Silva. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 431 p.
- RODRIGUES, M. V. C. **Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão Seis Sigma, classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. 234 p.
- ROOS, C. et al. Proposta de uma função de perda para a prática do controle estatístico do processo em uma indústria de bebidas. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15., 2008, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2008.
- ROOS, C.; ROSA, L. C. da. Ferramenta FMEA: estudo comparativo entre três métodos de priorização. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Abepro, 2008. 1 CD-ROM.

- ROTONDARO, R. G. (Coord.) **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002. 375 p.
- RUDISILL, F.; DRULEY, S. Which Six Sigma metric should I use? **Quality Progress**, v.37, n.3, p.104-104, 2004.
- RUSSOMANO, V. H. **PCP: planejamento e controle da produção**. 6.ed. rev. São Paulo: Pioneira, 2000. 320 p.
- SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia**. 10.ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001. 412 p.
- SAVOLAINEN, T.; HAIKONEN, A. Dynamics of organizational learning and continuous improvement in six sigma implementation. **The TQM Magazine**, v.19, n.1, p.6-17, 2007.
- SEHWAIL, L. & DEYONG, C. Six sigma in health care. **International Journal of Health Care Quality Assurance**. v.16, n.4, p.i-v, 2003.
- SEKHAR, H.; MAHANTI, R. Confluence of Six Sigma, simulation and environmental quality. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v.17, n.2, p.170-183, 2006.
- SENAPATI, N. R. Six sigma: myths and realities. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.21, n.6, p.683-690, 2004.
- SENTURK, D. et al. Detect financial problems with Six Sigma. **Quality Progress**, v.39, n.4, p.41-47, 2006.
- SERRA NEGRA, C. A.; SERRA NEGRA, E. M. **Manual de trabalhos monográficos de graduação, especialização, mestrado e doutorado**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2004. 238 p.
- SESTREN, M. H.; FIOD NETO, M. The application of process management for reliability enhancement of the Taguchi method. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v.23, n.2, p.139-145, 2001.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher. Revisão técnica Henrique Luiz Corrêa 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747 p.
- SMITH, B. Lean and Six Sigma: a one-two punch. **Quality Progress**, v.36, n.4, p.37-41, 2003.
- SNEE, R. D. Dealing with the Achilles' heel of Six Sigma initiatives: project selection is key to success. **Quality Progress**, v.34, n.3, p.66-72, 2001.
- SNEE, R. D. Eight essential tools. **Quality Progress**, v.36, n.12, p.86-88, 2003a.
- SNEE, R. D. Six Sigma improves both statistical training and processes. **Quality Progress**, v.33, n.10, p.68-72, 2000.
- SNEE, R. D. The Six Sigma sweep. **Quality Progress**, v.36, n.9, p.76-80, 2003b.

- SNEE, R. D. Weave Six Sigma into the fabric of an organization. **Quality Progress**, v.37, n.9, p.69-72, 2004.
- SNEE, R. D. When worlds collide: Lean and Six Sigma. **Quality Progress**, v.38, n.9, p.63-65, 2005.
- TANER, M. T.; SEZEN, K.; ANTONY, J. An overview of six sigma applications in healthcare industry. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v.20, n.4, p.329-340, 2007.
- TANNOCK, J. D. T.; BALOGUN, O.; HAWISA, H. A variation management system supporting six sigma. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.18, n.5, p.561-575, 2007.
- THEVNIN, C. Effective management commitment enhances six sigma success. **Handbook of Business Strategy**, v.5, n.1, p.195-200, 2004.
- THOMAS, A.; BARTON, R. Developing an SME based six sigma strategy. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, n.4, p.417-434, 2006.
- THOMAS, A.; BARTON, R.; BYARD, P. Developing a Six Sigma maintenance model. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.14, n.3, p.262-271, 2008.
- TREICHLER, D. et al. Design for Six Sigma: 15 lessons learned: leading corporations find out how to avoid pitfalls. **Quality Progress**, v.35, n.1, p.33-42, 2002.
- TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000. 224 p.
- TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2007. 196 p.
- TYLUTKI, T. P.; FOX, D. G. Mooooving toward Six Sigma: a quality management program helps one farm manage its feed costs. **Quality Progress**, v.35, n.2, p.34-41, 2002.
- VOELKEL, J. G. What is 3.4 per million? **Quality Progress**, v.37, n.5, p.63-65, 2004.
- VOELKEL, J. G. What makes a Six Sigma project successful? **Quality Progress**, v.38, n.5, p.66-68, 2005.
- WANG, C. C.; LIN, T. W.; HU, S. S. Optimizing the rapid prototyping process by integrating the Taguchi method with the Gray relational analysis. **Rapid Prototyping Journal**, v.13, n.5, p.304-315, 2007.
- WATSON, G. H. Toward a central tendency on Six Sigma: a reasonable middle ground is starting to emerge. **Quality Progress**, v.33, n.7, p.16-16, 2000.
- WESSEL, G.; BURCHER, P. Six sigma for small and medium-sized enterprises. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.264-272, 2004.
- XIZHE, Z. et al. The method of gray model control for the vibration of rotor system. **Kybernetes**, v.33, n.2, p.464-469, 2004.

YANG, H. M. et al. Supply chain management six sigma: a management innovation methodology at the Samsung Group. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.12, n.2, p.88-95, 2007.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução Daniel Grassi. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212 p.

YUEHUA, C.; WEI, Y. Study on investment scale control of urban construction process by the method of grey systems. **Kybernetes**, v.37, n.9/10, p.1272-1278, 2008.

ZACCARELLI, S. B. **Estratégia e sucesso nas empresas**. São Paulo: Saraiva, 2000. 244 p.

ZHANG, S.; CHEN, M. The characteristics analysis of SCGM (1,1) model and the new grey modeling methods. **Kybernetes**, v.33, n.2, p.453-463, 2004.

ZINKGRAF, S. A. An overview of operational excellence and Six Sigma in Allied Signal. **ASQ's 52th Annual Quality Congress Proceeding**, p.173-175, 2000.



## APÊNDICE A – Relação de assunto e respectivos referenciais teóricos

Assunto	Referenciais teóricos	
Referencial sobre definições de Seis Sigma	Andersson, Eriksson e Torstensson (2006) Antony (2007) Antony e Bañuelas (2002) Antony e Coronado (2001) Antony et al. (2007a) Bendell (2006) Breyfogle III (2002) Buch e Tolentino (2006a) Carnell (2007) Carvalho e Paladini (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Corrêa (2003) Costa, Epprecht, Carpinetti (2004) Crom (2000) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Davis, Aquilano e Chase (2001) Eckes (2001) Edgeman e Bigio (2004) Elliott (2004) Godfrey (2002) Goodman e Theuerkauf (2005) Han e Lee (2002) Harrison (2005) Holtz e Campbell (2004) Hutchins (2000) Kumar et al. (2007)	Mahanti e Antony (2005) Maleyeff e Krayenvenger (2004) Mast e Bisgaard (2007) McAdam e Lafferty (2004) McCarty e Fisher (2007) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007) Mitra (2004) Näslund (2008) O’Neill e Duvall (2005) Pande, Neuman e Cavanagh (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Parody e Voelkel (2006) Pestorius (2007) Phillips-Donaldson (2003) Revere, Black e Huq (2004) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Sekhar e Mahanti (2006) Senapati (2004) Slack, Chambers e Johnston (2002) Snee (2004) Thevnin (2004) Thomas, Barton e Byard (2008) Treichler et al. (2002) Tylutki e Fox (2002)
Referencial sobre a abordagem estratégica do Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007b) Arnheiter e Maleyeff (2005) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Camgoz-Akdag (2007) Carvalho e Paladini (2006) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Eckes (2001) Holtz e Campbell (2004) Ingle e Roe (2001) Lochner (2005)	Lucas (2002) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007) Motwani, Kumar e Antony (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Raisinghani et al. (2005) Reidenbach e Goeke (2007) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Thevnin (2004) Thomas e Barton (2006) Wessel e Burcher (2004)
Referencial sobre o comprometimento da liderança no Seis Sigma	Antony e Coronado (2001) Antony et al. (2007a) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002) Eckes (2001) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004)	Kuei e Madu (2003) Lochner (2005) McCarty e Fisher (2007) Munro (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002) Smith (2003)
Referencial sobre a abordagem estatística do Seis Sigma	Carvalho e Paladini (2006) Eckes (2001) Elliott (2004) Freiesleben (2006) Han e Lee (2002) Harry (2000b) Hong e Goh (2003) Locher (2007) Maleyeff e Krayenvenger (2004)	Mitra (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Rudisill e Druley (2004) Snee (2000) Snee (2003a) Tannock, Balogun e Hawisa (2007) Voelkel (2004)

Assunto	Referenciais teóricos	
Referencial sobre medição de desempenho no Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony, Kumar e Madu (2005) Black e Revere (2006) Breyfogle III (2002) Breyfogle III e Meadows (2001) Carvalho e Paladini (2006) Conklin (2004) Eckes (2001)	Esimai (2005) Gnibus (2000) Goodman e Theuerkauf (2005) Harry (2000b) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Lucas (2002) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002)
Referencial sobre os métodos Seis Sigma	Andersson, Eriksson e Torstensson (2006) Antony (2002) Antony (2006) Antony et al. (2007a) Bañuelas e Antony (2003) Bañuelas e Antony (2004) Batalha (2008) Black e Revere (2006) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Carvalho e Paladini (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Cheng (2008) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Daniels (2007) Eckes (2001) Ehie e Sheu (2005) Goh e Xie (2004) Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004) Harry (2000a) Hensley e Dobie (2005) Holtz e Campbell (2004) Hong e Goh (2003) Jiang, Shiu e Tu (2007) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Kuei e Madu (2003) Lee-Mortimer (2006a) Lynch, Bertolino e Cloutier (2003) Mader (2002)	Mader (2003) Mader (2004) Mader (2005) Mader (2007) Mader (2008a) Mader (2008b) Mahanti e Antony (2005) Maleyeff e Krayenvenger (2004) Mast e Bisgaard (2007) McCarty e Fisher (2007) Mellat-Parast, Jones e Adams (2007) Mitra (2004) Nave (2002) Neuscheler-Fritsch e Norris (2001) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pandey (2007) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Sekhar e Mahanti (2006) Senapati (2004) Senturk et al. (2006) Snee (2005) Tannock, Balogun e Hawisa (2007) Thomas e Barton (2006) Treichler et al. (2002) Wessel e Burcher (2004) Yang et al. (2007)
Referencial sobre os projetos Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007a) Bañuelas e Antony (2003) Banuelas et al. (2006) Buch e Tolentino (2006b) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002) Eckes (2001) Esimai (2005) Ingle e Roe (2001)	Kumar et al. (2007) Little (2003) Lucas (2002) Mader (2004) Mader (2007) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rotondaro (2002) Snee (2001) Voelkel (2005)
Referencial sobre ferramentas de auxílio ao Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony e Bañuelas (2002) Antony et al. (2007b) Antony, Kumar e Madu (2005) Banuelas et al. (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Conklin (2004) Eckes (2001)	Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Mader (2005) Mahanti e Antony (2005) Munro (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Raisinghani et al. (2005) Rotondaro (2002) Snee (2003a)

Assunto	Referenciais teóricos	
Referencial sobre capacitação e aprendizagem no Seis Sigma	Antony e Bañuelas (2002) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Coronado e Antony (2002) Eckes (2001) Elliott (2004) Hahn, Doganaksoy e Stanard (2001) Henderson e Evans (2000) Kendall e Fulenwider (2000)	Lucas (2002) Mader (2003) Mahanti e Antony (2005) McAdam e Lafferty (2004) Motwani, Kumar e Antony (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002) Savolainen e Haikonen (2007) Snee (2000)
Referencial sobre pessoas especializadas no Seis Sigma	Antony et al. (2007b) Antony, Douglas e Antony (2007) Bendell (2006) Bisgaard e Mast (2006) Buch e Tolentino (2006a) Buch e Tolentino (2006b) Carnell (2004) Carvalho e Paladini (2006) Coronado e Antony (2002) Crom (2000) Daniels (2007) Eckes (2001) Gross (2001) Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004)	Henderson e Evans (2000) Ingle e Roe (2001) Lee-Mortimer (2006a) Lochner (2005) Mader (2007) Mader (2008a) Mader (2008b) Milivojevich (2006) Munro (2000) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pandey (2007) Rodrigues (2004) Rotondaro (2002) Snee (2003b)
Referencial sobre resultados organizacionais positivos com o Seis Sigma	Antony (2006) Antony (2008b) Antony e Bañuelas (2002) Antony e Fergusson (2004) Antony et al. (2007a) Antony et al. (2007b) Bañuelas e Antony (2003) Black e Revere (2006) Byrne, Lubowe e Blitz (2007) Cheng (2008) Coronado e Antony (2002) Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) Eckes (2001) Ehie e Sheu (2005)	Han e Lee (2002) Henderson e Evans (2000) Holtz e Campbell (2004) Hong e Goh (2003) Johnson (2005) Knowles, Johnson e Warwood (2004) Motwani, Kumar e Antony (2004) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Patton (2005) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Raisinghani et al. (2005) Revere, Black e Huq (2004) Rotondaro (2002) Shwail e DeYong (2003)
Referencial sobre os benefícios com o Seis Sigma	Antony (2004a) Antony (2006) Antony (2008b) Antony e Fergusson (2004) Antony et al. (2007a) Antony et al. (2007b) Antony, Kumar e Madu (2005) Bisgaard e Freiesleben (2004)	Black e Revere (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Eckes (2001) Holtz e Campbell (2004) Hong e Goh (2003) Lee-Mortimer (2007) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002)
Referencial sobre as dificuldades e as limitações com o Seis Sigma	Antony (2006) Antony et al. (2007b) Bendell (2006) Chakrabarty e Tan (2007) Eckes (2001)	Hensley e Dobbie (2005) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) Rotondaro (2002)
Referencial sobre o futuro do Seis Sigma	Antony (2004b) Antony (2007) Antony (2008a) Antony et al. (2007a) Bisgaard e Mast (2006) Eckes (2001)	Edgeman e Bigio (2004) Johnson (2005) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Rotondaro (2002) Watson (2000)

Assunto	Referenciais teóricos	
Referencial sobre estudos de caso com o Seis Sigma	Antony (2006)	Knowles, Johnson e Warwood (2004)
	Antony e Fergusson (2004)	Lee-Mortimer (2006a)
	Byrne, Lubowe e Blitz (2007)	Lee-Mortimer (2006b)
	Caldwell, Brexler e Gillem (2005)	Lee-Mortimer (2007)
	Camgoz-Akdag (2007)	Maleyeff e Krayenvenger (2004)
	Carvalho e Paladini (2006)	Motwani, Kumar e Antony (2004)
	Chakrabarty e Tan (2007)	Nonthaleerak e Hendry (2008)
	Cheng (2008)	Pande, Neuman e Cavanagh (2001)
	Daniels (2007)	Pandey (2007)
	Eckes (2001)	Rotondaro (2002)
	Ehie e Sheu (2005)	Savolainen e Haikonen (2007)
	Haikonen, Savolainen e Järvinen (2004)	Shwail e DeYong (2003)
	Henderson e Evans (2000)	Smith (2003)
	Hensley e Dobie (2005)	Taner, Sezen e Antony (2007)
	Holtz e Campbell (2004)	Yang et al. (2007)
	Johnson (2005)	

## APÊNDICE B – Relação de assunto e respectivos referenciais teóricos

Assunto	Referenciais teóricos	
Produção de bens e de serviços	Batalha (2008) Caravantes, Panno e Kloeckner (2005) Carvalho e Paladini (2006) Corrêa (2003) Costa, Epprecht e Carpinetti (2004) Davis, Aquilano e Chase (2001) Eckes (2001) Fitzsimmons e Fitzsimmons (2005) Gaither e Frazier (2001) Hammer (2001) Harrison (2005) Meredith e Shafer (2002)	Moreira (2008) Oliveira (2006) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Ramos (2000) Ritzman e Krajewski (2004) Rotondaro (2002) Russomano (2000) Slack, Chambers e Johnston (2002) Tubino (2000) Tubino (2007) Zaccarelli (2000)
Definição de controle estatístico de processo	Ballestero-Alvarez (2001) Batalha (2008) Caravantes, Panno e Kloeckner (2005) Corrêa (2003) Costa, Epprecht e Carpinetti (2004) Davis, Aquilano e Chase (2001) Diniz (2001) Fitzsimmons e Fitzsimmons (2005) Gaither e Frazier (2001)	Harrison (2005) Meredith e Shafer (2002) Moreira (2008) Pande, Neuman e Cavanagh (2001) Ramos (2000) Ritzman e Krajewski (2004) Rotondaro (2002) Slack, Chambers e Johnston (2002) Tannock, Balogun e Hawisa (2007)