

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO EM LOGÍSTICA E PESQUISA OPERACIONAL**

**ALAN PEREIRA DE VASCONCELOS**

**ESTUDO DO GRÁFICO DE CONTROLE POR GRUPOS COMO UMA  
ALTERNATIVA AO MODELO DE SHEWHART EM PROCESSOS PARALELOS**

FORTALEZA  
2009

---

**ALAN PEREIRA DE VASCONCELOS**

**ESTUDO DO GRÁFICO DE CONTROLE POR GRUPOS COMO UMA  
ALTERNATIVA AO MODELO DE SHEWHART EM PROCESSOS PARALELOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Logística e Pesquisa Operacional.

**Orientador: Prof. Dr. JOÃO WELLIANDRE CARNEIRO ALEXANDRE**

FORTALEZA

2009

---

**ALAN PEREIRA DE VASCONCELOS**

**ESTUDO DO GRÁFICO DE CONTROLE POR GRUPOS COMO UMA  
ALTERNATIVA AO MODELO DE SHEWHART EM PROCESSOS PARALELOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Logística e Pesquisa Operacional.

Data da aprovação: 31/08/2009

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. João Welliandre Carneiro Alexandre  
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada (DEMA/UFC)  
(Orientador)

---

Prof. Dra. Sílvia Maria Freitas  
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada (DEMA/UFC)  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dr. Antonio Fernando Branco Costa  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (UNESP)  
(Examinador externo)

---

## Dedicatória

Dedico esta Monografia primeiramente a DEUS. Aos meus pais, Maria e Raimundo, pela educação que me foi proporcionada com amor e carinho. A minha esposa Márcia pela paciência, pelo amor, compreensão e apoio que me dedica e aos meus filhos Alan e Aline, e que esta dissertação sirva como exemplo para eles.

---

## AGRADECIMENTOS

Sou grato ao meu orientador João Welliandre Carneiro Alexandre pelo incentivo e pelos valiosos conselhos profissionais.

Aos professores do GESLOG: Silvia Maria de Freitas, José Lassance de Castro Silva, Fernando Ribeiro de Melo Nunes, Maria Marta de Mendonça Bastos, Carlos Américo Leite Moreira, João Bosco Furtado Arruda pelas valiosas orientações e contribuições em minha formação.

Aos colegas de mestrado, pela amizade, companheirismo que nos uniu ao longo do curso.

Agradeço finalmente a todos que me apoiaram ou até mesmo me criticaram, pois de uma forma ou outra me incentivaram a vencer cada uma das etapas de minha vida.

A todos sou eternamente grato.

---

## RESUMO

A utilização dos Gráficos de *Shewhart* como ferramenta de monitoramento de processos, cujos produtos advêm de vários fluxos de produção (processos paralelos), deve ser visto com cautela, pois, as amostras podem estar sendo construídas com itens de diferentes populações. Uma solução é utilizar um gráfico de controle para cada fluxo (modelo tradicional de *Shewhart*), entretanto, isto tornaria o controle difícil e burocrático; outra alternativa é a adoção do Gráfico de Controle por Grupos (GG), que permite o controle de múltiplos fluxos através de um único gráfico. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver um estudo do gráfico de controle por grupos em termos de seu desempenho e eficiência como uma alternativa ao modelo de *Shewhart* em processos paralelos. O estudo foi realizado em relação à alteração na média e na variância do processo individualmente e na média e na variância conjuntamente. Este trabalho procurou, segundo a abordagem de alguns autores, contextualizar a importância do controle estatístico de processo dentro da logística de produção. Como um dos resultados, mantendo a abertura dos limites de controle em 3 desvios padrões, a taxa de alarmes falsos cresce com o aumento do número de fluxos, porém, ajustando os limites de controle para atender a uma taxa média de um alarme falso para cada 370,4 amostras, tem-se que com o aumento do número de fluxos o GG perde o seu desempenho.

**Palavras-chave:** Gráficos por Grupos, Processos Paralelos, Controle Estatístico de Processo, Logística de Produção.

---

## ABSTRACTS

The use of the Charts of Shewhart as tool to monitor processes, whose products happen of multiple streams of production (parallel processes), must be seen with caution, therefore, the samples can be being constructed with item of different populations. A solution is to use a chart of control for each stream (traditional model of Shewhart), however, this would become the difficult and bureaucratic control; another alternative is the adoption of the Group Charts (GC), that it allows the control of multiple streams through an only chart. Therefore, the general objective of this work is to develop a study of the graph of control for groups in terms of its performance and efficiency as an alternative to the model of Shewhart in parallel processes. The study it was carried through in relation to the alteration in the mean and the variance of the process individually and in the mean and the variance jointly. This work looked for, according to boarding of some authors, to contextualize the importance of the statistical control of process inside of the logistic production. As the one of the results, keeping opening of the control limits in 3 standard deviations, the tax of false alarms grows with the increase of the number of streams, however, adjusting the control limits to take care of to an average tax of a false alarm for each 370,4 samples, it is had that with the increase of the number of streams the GC loses its performance.

**Keywords:** Group Charts, Parallel Processes, Statistical Process Control, Logistics Production.

---

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURAS</b>		Pág.
Figura 1	- Circuito de Valor Agregado ao Cliente.....	13
Figura 2	- Configuração dos 27 Punções de Estampagem.....	21
Figura 3	- Lateral do Fogão.....	21
Figura 4	- Fluxo de processo de pintura a pó.....	35
Figura 5	- Laterais dos fogões.....	35
Figura 6	- Perturbação Ocorrida na Média do Processo.....	38



---

<b>QUADROS</b>		Pág.
Quadro 1	- Evolução do Conceito de Logística.....	08
Quadro 2	- Causas Comuns versus Causas Especiais.....	16

<b>GRÁFICOS</b>		<b>Pág.</b>
Gráfico 1	- Modelo de <i>Shewhart</i> .....	17
Gráfico 2	- Gráfico por Grupos da Média .....	24
Gráfico 3	- Gráfico por Grupos da Amplitude.....	24
Gráfico 4	- Gráfico por Grupos $\bar{X}$ – Fluxos Independentes.....	33
Gráfico 5	- Gráfico por Grupos Amplitude – Fluxos Independentes.....	34
Gráfico 6	- Gráfico por Grupos $\bar{X}$ – Fluxos Dependentes.....	36
Gráfico 7	- Gráfico por Grupos Amplitude – Fluxos Dependentes.....	36
Gráfico 8	- Probabilidade de detecção versus variação – alteração na média.....	41
Gráfico 9	- NMA versus variação – alteração na média.....	42
Gráfico 10	- Eficiência relativa – alteração na média.....	42
Gráfico 11	- Probabilidade de detecção versus variação – alteração na variância.....	44
Gráfico 12	- NMA versus variação – alteração na variância.....	45
Gráfico 13	- Eficiência relativa – alteração na variância.....	45
Gráfico 14	- Probabilidade de detecção versus variação conjunta (delta = 0,1).....	47
Gráfico 15	- Probabilidade de detecção versus variação conjunta (delta = 0,5).....	47
Gráfico 16	- Probabilidade de detecção versus variação conjunta (delta = 1,0).....	48
Gráfico 17	- Probabilidade de detecção versus variação conjunta (delta = 2,0).....	48
Gráfico 18	- NMA versus variação conjunta (delta = 0,1).....	49
Gráfico 19	- NMA versus variação conjunta (delta = 0,5).....	49
Gráfico 20	- NMA versus variação conjunta (delta = 1,0).....	50
Gráfico 21	- NMA versus variação conjunta (delta = 2,0).....	50
Gráfico 22	- Eficiência relativa versus variação conjunta (delta = 0,1).....	51
Gráfico 23	- Eficiência relativa versus variação conjunta (delta = 0,5).....	51
Gráfico 24	- Eficiência relativa versus variação conjunta (delta = 1,0).....	52
Gráfico 25	- Eficiência relativa versus variação conjunta (delta = 2,0).....	52

---

## LISTAS DE TABELAS

TABELAS		Pág.
Tabela 1	- Planilha de Dados.....	23
Tabela 2	- Taxa de alarmes falsos (GG) em função do número de fluxos	26
Tabela 3	- Alguns valores de $v$ .....	29
Tabela 4	- Valores da linha central e limite inferior e superior – Fluxos Independentes.....	33
Tabela 5	- Valores da linha central e limite inferior e superior – Fluxos Dependentes.....	35
Tabela 6	- Valores de Correlação – Fluxos Independentes	37
Tabela 7	- Desempenho modelo de <i>Shewhart</i> – pequenas perturbações.	39
Tabela 8	- Desempenho e eficiência entre o modelo de <i>Shewhart</i> e o GG para $\bar{X}$ com alteração na média do processo.....	40
Tabela 9	- Desempenho e eficiência entre o modelo de <i>Shewhart</i> e o GG para $\bar{X}$ com alteração na variância do processo.....	43
Tabela 10	- Desempenho e eficiência entre o modelo de <i>Shewhart</i> e o GG para $\bar{X}$ com alteração na média e variância do processo conjuntamente.....	46

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARL - *Average Run Length*.

CEP - Controle Estatístico do Processo.

CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*.

GCEP - Gráficos de Controle Estatístico do Processo.

GG - Gráfico de Controle por Grupos.

LC - Linha Central de Controle.

LIC - Limite Inferior de Controle.

LSC - Limite Superior de Controle.

$N_1$  – Número de Inspeções até a ocorrência do primeiro alarme falso.

NMA - Número Médio de Amostras.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	viii
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1 Comentários Iniciais.....	01
1.2 Problemática e Justificativa.....	02
1.2.1 Problemática.....	02
1.2.2 Justificativa.....	03
1.3 Objetivos.....	03
1.3.1 Objetivo geral.....	03
1.3.2 Objetivos específicos.....	04
1.4 Metodologia.....	04
1.5 Estrutura do trabalho.....	05
<b>CAPÍTULO 2 - O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO</b> .....	07
2.1 Logística.....	07
2.1.1 Logística e suas atividades e funções nas organizações.....	09
2.1.2 A logística de Produção.....	11
2.2 O Controle Estatístico de Processo.....	14
<b>CAPÍTULO 3 – GRÁFICOS DE CONTROLE POR GRUPOS</b> .....	19
3.1 Processos Paralelos.....	20
3.1.1 Fluxos Independentes.....	20
3.1.2 Fluxos Dependentes.....	21
3.2 Gráficos de Controle por Grupos.....	22
3.2.1 Demonstração do cálculo do NMA para o Gráfico por Grupos.....	26
3.2.2 Limites alargados para o Gráfico por Grupos.....	27
3.2.2.1 Demonstração do valor de $v$ .....	28
3.2.2.2 Valores de $v$ e as expressões dos novos coeficientes.....	29
<b>CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO GRÁFICO DE CONTROLE POR GRUPOS</b> .....	32
4.1 Aplicação em fluxos independentes.....	32
4.2 Aplicação em fluxos dependentes.....	34
4.3 Análise da correlação em fluxos independentes.....	37
<b>CAPÍTULO 5 – DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DO GRÁFICO POR GRUPOS <math>\bar{X}</math></b> .....	38
5.1 Desempenho e eficiência do gráfico por grupos.....	39
5.1.1 Alteração na média do processo.....	40
5.1.2 Alteração na variância do processo.....	43
5.1.3 Alteração na média e variância do processo conjuntamente.....	45

---

5.1.4 Eficiência relativa equivalente entre <i>Shewhart</i> e GG em função do tamanho de amostra	53
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	55
6.1 Conclusão .....	55
6.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	56
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>APÊNDICE</b>	60

### 1.1 Comentários Iniciais

O comprometimento das empresas com a qualidade de seus produtos e serviços em benefício do cliente é um fator importante para atingir a satisfação das necessidades dos clientes, bem como uma forma de garantir a sobrevivência do negócio.

Devido à acirrada concorrência global, as empresas foram obrigadas a considerar com seriedade as vantagens da qualidade. Segundo Longo (1995), a meta de zero defeito em produtos e serviços expandiu-se para as operações logísticas, pois, um produto com excelente qualidade, mas entregue com atraso ou danificado no transporte não era mais aceitável. Um desempenho logístico que não fosse satisfatório comprometia todo o processo de qualidade do produto.

Percebe-se a importância de medir a qualidade do produto e serviço prestado pelo sistema logístico, incluindo nesse contexto o processo produtivo, que está inserido na Logística de Produção. É necessário identificar os atributos que afetam a qualidade na empresa e quais atributos superam as expectativas dos clientes, porém, se faz necessário agir sobre os fatores críticos em que as expectativas dos clientes não são satisfeitas e, ao mesmo tempo, dispor de um sistema de acompanhamento do desempenho futuro, porque nada garante que um serviço considerado satisfatório hoje, continue assim ao longo do tempo.

Existem vários métodos estatísticos eficazes para avaliar a melhoria dos produtos e serviços oferecidos pelo sistema logístico mediante a identificação e redução de falhas, entre eles, estão os Gráficos de Controle Estatístico do Processo (GCEP).

Os Gráficos de Controle Estatístico do Processo foram introduzidos no início do século XX (Shewhart, 1931), conhecidos como modelos de *Shewhart*, têm como função principal monitorar um processo de fabricação em série.

---

O gráfico de controle é uma ferramenta estatística que é usada para monitorar o grau de variabilidade de um processo, auxiliando na identificação de tendências que indicam se o processo está ou não sob controle e, também tem como meta principal, o atendimento às especificações de projeto.

De modo geral, o procedimento consiste na plotagem de pontos que representam, por exemplo, médias de amostras retiradas do processo em determinados intervalos de tempo, em geral, igualmente espaçados, em um gráfico com limites previamente estabelecidos e definidos como: linhas LC (Linha Central de Controle), LSC (Limite Superior de Controle) e LIC (Limite Inferior de Controle). De um modo geral, um processo é considerado fora de controle, quando um ou mais pontos plotados estão abaixo do LIC ou acima do LSC. Para maiores detalhes ver (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005).

Observa-se que um dos principais objetivos do modelo de *Shewhart* é detectar rapidamente a ocorrência de falhas dentro do processo.

## **1.2 Problemática e Justificativa**

A explicitação do problema da pesquisa faz-se necessária, pois, segundo Severino (2003, p. 58) “não se pode falar coisa alguma sobre um tema se ele não se apresentar como um problema para aquele que discorre sobre ele”.

### **1.2.1 Problemática**

Dentro do setor produtivo, existem processos em que o produto decorre de diversos fluxos de produção, isto é, onde o produto é manufaturado simultaneamente em vários conjuntos de equipamentos, denominado processo em paralelo.

Conforme Ramos (2000), na formação dos subgrupos para análise da estabilidade estatística do processo, chamados de subgrupos racionais, recomenda-se que não se devem misturar produtos de diferentes fluxos de produção, pois a ocorrência de diferenças entre eles, reveladas pelo gráfico de controle, pode ser consequência do problema de estratificação dos subgrupos.



---

Para contornar o problema de estratificação em processos paralelos é preciso, no modelo de *Shewhart*, construir um gráfico de controle individual para cada fluxo de processo. Porém, essa solução aumentaria os custos de inspeção do produto e a implantação do modelo pode se tornar difícil e burocrática.

Por essas razões Boyd (1950) propõe uma solução alternativa para resolver essas dificuldades, a construção do Gráfico de Controle por Grupos (GG), pois o mesmo permite o controle de vários fluxos de produção através de um único gráfico.

### 1.2.2 Justificativa

Boyd (1950) desenvolveu o Gráfico de Controle por Grupos  $\bar{X}$  e R durante a Segunda Guerra Mundial. No início, como primeira aplicação, o gráfico foi elaborado para uso em máquinas de eixos múltiplos e em baterias das máquinas similares, onde somente uma característica da qualidade era considerada. Hoje, os gráficos são amplamente utilizados em processos paralelos.

Apesar de ser descrito pela primeira vez em 1950, na literatura existem carências no desenvolvimento de estrutura probabilística, determinação do desempenho e eficiência do modelo e de exemplos práticos da aplicação dos GG, e um dos motivos que pode levar a carência dessas aplicações é a não disponibilidade dos dados, por algumas empresas, o que é compreensível, devido ao sigilo das informações que se observa em muitos setores produtivos, motivado em muitas situações pela acirrada concorrência.

Este trabalho busca contribuir na redução dessas carências, apresentando resultados de um estudo de aplicação de GCEP em processos paralelos.

## 1.3 Objetivos

Para traçar as diretrizes que orientarão o presente trabalho foram estabelecidos os objetivos seguintes:

---

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um estudo do gráfico de controle por grupo em termos de seu desempenho e eficiência visando ser uma alternativa ao modelo de *Shewhart* em processos paralelos.

### 1.3.2 Objetivo Específico

Para atingir o objetivo geral é necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar o Controle Estatístico de Processo dentro da Logística de Produção.
- Estabelecer a fundamentação teórica centrada na aplicação dos Gráficos de Controles por Grupos em processos paralelos.
- Determinar o desempenho do Gráfico de Controle por Grupos  $\bar{X}$  em relação à perturbação na média do processo e variância, individualmente, e média e variância do processo conjuntamente.
- Determinar a eficiência do Gráfico de Controle por Grupos de  $\bar{X}$  em relação ao modelo de *Shewhart*.

## 1.4 Metodologia

A metodologia desta pesquisa está constituída de uma pesquisa bibliográfica e descritiva sobre o tema, por um estudo empírico do tipo exploratório, com um estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica é indispensável no início de qualquer pesquisa científica, pois coloca o pesquisador em contato com tudo que já foi escrito sobre determinado assunto, colaborando com tudo que já foi escrito sobre determinado assunto, colaborando com a análise de sua pesquisa. As principais fontes para esta pesquisa são as grandes bibliotecas, onde se encontram os catálogos, os compêndios de resumos de trabalhos científicos, os livros especializados, as enciclopédias e as revistas de publicações científicas. Dependendo do tipo de tema, podem ser também boas fontes os bancos, repartições, arquivos públicos e particulares e a Internet (LAKATOS e MARCONI, 1999, p.260)

Assim, no que concerne a pesquisa bibliográfica, embasou-se na leitura e análise de textos de livros, revistas selecionadas e em artigos científicos. A pesquisa foi descritiva onde existe um procedimento formal e uma estrutura dirigida para soluções de problemas de

---

avaliação e de alternativas de curso em ação.

As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial à descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título e uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas de padronizadas de coleta de dados, tais como questionários e a observação sistemática. (GIL, 1991, p. 46).

A pesquisa exploratória, segundo Mattar (1999), utiliza métodos bastante amplos e versáteis que compreendem: levantamentos em fontes secundárias, levantamentos de experiência, estudo de caso e observação informal. Este trabalho utilizou fontes secundárias que foram responsáveis pela construção do referencial teórico.

O estudo de caso, segundo Bryman (1989):

Requer profundo exame de ou um caso ou um número pequeno de casos. A unidade de análise é freqüentemente a organização, mas podem ser os departamentos e seções dentro da organização ou uma rede de organizações. É geralmente difícil distinguir pesquisa qualitativa de estudo de caso, uma vez que pesquisa qualitativa pode ser feita com uma ou um pequeno número de organizações. Os estudos de casos são preferidos como estratégia de pesquisa quando “como” e “porque” são questões impostas, quando o investigador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco é contemporâneo dentro do contexto da realidade. Há aqui uma maior intervenção do pesquisador. A maior restrição ao estudo de caso é não ser possível ou ser mais resistente a generalização dos seus resultados.

De acordo com Bryman (1989) a simulação pode ser definida como uma tentativa de representar uma esfera da realidade através de variáveis abstratas, relacionadas a um conjunto de questões referentes ao objetivo da pesquisa e a criação de cenários de operações onde estas variáveis podem ser observadas. Nesse contexto, esta pesquisa também pode ser classificada como uma simulação, termo relacionado à determinação do desempenho e eficiência do GG.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo é destinado à introdução, onde é apresentado o cenário do trabalho, e também apresenta-se a problemática, a justificativa e os objetivos.

---

No segundo capítulo aborda-se o Controle Estatístico de Processo no contexto da logística de produção.

O terceiro capítulo é dedicado ao estudo do gráfico de controle por grupos, a sua aplicabilidade em processos paralelos, enfocando o uso do gráfico com limites alargados.

No quarto capítulo faz-se uma aplicação dos gráficos por grupos para fluxos independentes e dependentes.

No quinto capítulo determina-se o desempenho e a eficiência com relação ao modelo de *Shewhart* dos gráficos por grupos.

O sexto capítulo traz as conclusões, as considerações finais e as recomendações para estudos futuros.

Finalizando, além dos seis capítulos descritos, esta dissertação conta ainda com a Referência Bibliográfica, onde é apresentado todo o material que foi citado no trabalho e, os Apêndices com documentos elaborados pelo autor.

---

## CAPÍTULO 2

### O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO

---

#### 2.1 Logística

De acordo com Ballou (2001), o custo da logística representa em média 12% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial. Entre 4% e 30% os custos logísticos tendem a variar dentro das empresas.

Com o exposto, acima se verifica a importância que as organizações devem dar à logística, sendo fundamental para a sobrevivência dos seus negócios nos dias atuais compreender o conceito de logística, que é o primeiro passo ao bom gerenciamento logístico dentro da organização.

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2009) o conceito de gestão logística é definido por:

A gestão logística é a parte da cadeia de suprimentos que planeja, implanta e controla o eficiente e efetivo fluxo de produção regular e reverso e a estocagem de produtos, serviços e informações correlatas, entre o ponto de origem e o ponto de consumo, com a finalidade de satisfazer as necessidades dos clientes.

A logística empresarial, então, pode ser considerada como o gerenciamento da cadeia de suprimento (*Supply Chain Management*) que trata do fluxo de materiais desde o fornecedor até os clientes, bem como da administração e do sistema de informações que estão associados ao processo.

Ainda, conforme a CSCMP (2009) a Gestão da Cadeia de Suprimentos pode ser conceituada como:

A Gestão da Cadeia de Suprimento engloba o planejamento e a gestão de todas as atividades envolvidas na identificação e seleção de fornecedores, conversão e todas as atividades de Gestão Logística. De maneira importante ela também inclui a

coordenação e colaboração com os parceiros do canal, que podem ser fornecedores, intermediários, provedores de serviços terceirizados, e clientes. Em essência, a Gestão da Cadeia de Suprimentos integra a gestão do suprimento e da demanda, dentro e através das empresas.

De acordo com Wood Júnior (*apud* Rocha 2005), a logística tem ganhado, nas empresas, diferentes definições, correspondendo a uma importante amplitude de escopo, experimentada ao longo do tempo. O Quadro 1 mostra a evolução histórica do conceito da logística:

QUADRO 1 – EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE LOGÍSTICA

<b>Fases</b>	<b>Zero</b>	<b>Primeira</b>	<b>Segunda</b>	<b>Terceira</b>	<b>Quarta</b>
Perspectiva Dominante	Administração de Materiais	Administração de Materiais + Distribuição	Logística Integrada	<i>Supply Chain Management</i>	<i>Supply Chain Management + Efficient Consumer Response</i>
Focos	- Gestão de Estoques; - Gestão de Compras; - Movimentação de Materiais	Otimização do Sistema de Transporte	Visão Sistêmica da Empresa.	Visão Sistêmica da Empresa Incluindo Fornecedores e Canais de Distribuição.	- Amplo uso de alianças estratégicas; - <i>Comarkership</i> ; - Subcontratação e Canais; - Alternativos de Distribuição

Fonte: Wood Júnior *apud* Rocha (2005)

É na quarta fase que a logística deixa de ser técnica e operacional e passa a participar de forma estratégica das decisões das organizações.

---

O *Supply Chain Management* abordado na quarta fase trata-se de uma metodologia desenvolvida para alinhar de forma sincronizada, todas as atividades de produção com o objetivo de redução de custos e maximizar o valor percebido pelo consumidor, já o *Efficient Consumer* (resposta eficiente ao consumidor) é um conjunto de metodologias empregadas visando a quebra de barreiras entre parceiros comerciais.

### 2.1.1 Logística e suas atividades e funções nas organizações

As atividades da logística são divididas em dois grupos: as primárias e as atividades de apoio. São consideradas primárias porque são importantes para a coordenação das tarefas logísticas.

Como atividades primárias são consideradas pela logística (GOMES e RIBEIRO, 2004):

- Transporte: refere-se ao movimento de matérias-primas e produtos acabados de um ponto a outro na cadeia de suprimentos. A administração dessa atividade, geralmente, se preocupa quanto ao método de transporte, as rotas e a utilização da capacidade dos veículos;
- Manutenção de estoques: são as matérias-primas em processamento, peças de reposição para máquinas e os produtos acabados dentro da cadeia de suprimentos. A preocupação da administração com essa atividade é o de manter seus níveis tão baixos quanto possível, ao mesmo tempo em que provê a disponibilidade para os consumidores.
- Processamento de pedidos: consiste de atividades envolvidas na coleta, verificação e transmissão de informações de vendas realizadas, em linhas gerais, é todo o trabalho burocrático associado à venda dos produtos de uma empresa.

As atividades consideradas de apoio são (GOMES e RIBEIRO, 2004):

- Armazenagem: refere-se à administração do espaço para manter os estoques;
- Manuseio e embalagem: são as movimentações dos produtos no local de estocagem e o cuidado para evitar danos nos mesmos durante a movimentação;
- Obtenção: trata da seleção das fontes de suprimento, das quantidades a serem adquiridas, da programação das compras e da forma pela qual o produto é comprado;

- 
- Informação: refere-se os dados sobre cliente e produto, tais como, localização de clientes, volumes de vendas, padrões de entrega.

Podem-se considerar como principais as seguintes funções do sistema logístico (BALLOU,2001):

- Planejamento: tem como função trabalhar para equilibrar o nível de serviço mais adequado ao cliente com o preço do mesmo. Níveis de serviços altos implicam em altos custos e conseqüentemente a preços elevados, que não são desejados pelo cliente;
- Embalagem: a sua função é reduzir as reclamações por danos durante o transporte e também os custos de transporte e estocagem, pois a mesma facilita o manuseio a estocagem e a venda produto.
- Estoque: tem como funções principais a melhoria do nível de serviço e a redução dos custos de obtenção, de manutenção e de falta de estoque.
- Localização: aborda decisões do local e do tamanho das instalações a serem utilizadas, que podem variar entre plantas, portos, fornecedores, armazéns, serviços pós-vendas e filiais. Essas decisões podem ser baseadas nos métodos de otimização e simulação (Pesquisa Operacional).
- Transporte: a sua função é gerenciar os vários métodos para movimentar produtos, esses métodos, chamados de modais, são: aeroviário, rodoviário, ferroviário, aquaviário e dutoviário. O gerenciamento dos métodos passa pela escolha do melhor método de transporte e dos roteiros e a utilização da capacidade dos veículos.
- Sistema de Informação: gerencia a coleta, o armazenamento e manipulação dos dados referentes às atividades logísticas. Entre os vários sistemas de informações têm-se: o gerenciamento de estoques pelo fornecedor, rastreamento e acompanhamento de embarques e sistema de apoio à decisão.

Dentre as várias definições de Logística Empresarial, destaca-se a de Ballou (2001): “A missão da logística é dispor a mercadoria ou o serviço, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo em que fornece a maior contribuição à empresa”.

Conforme Ballou (2001), a logística empresarial pode ser dividida em três grandes sub-processos:



- 
- Logística de Suprimento, que faz a interface entre as fontes de suprimentos e a fábrica (empresa).
  - Logística Industrial ou Logística de Produção, que cuida das operações logísticas dentro da empresa, ou seja, interna ou de produção.
  - Logística de Distribuição, é a responsável pela ligação entre a fábrica (empresa) e os clientes.

As tendências comerciais ocorridas nas últimas décadas do século XX foram importantes para que a logística surgisse como conceito integrador que abrange toda a cadeia de suprimentos, desde a matéria-prima até o consumidor final, ou seja, a logística deve planejar e coordenar de forma integrada o fluxo de materiais do fornecedor até o consumo final, em vez de gerenciar o sistema como uma série de atividades independentes.

É preciso que a logística integre o mercado, a distribuição, o processo de fabricação e a aquisição, de tal maneira que seja oferecido aos clientes um alto nível de serviço a baixos custos.

### 2.1.2 A logística de Produção

A logística de produção, conforme Severo (2006), é um segmento da empresa que trata da gestão e controle da mão-de-obra, material e informação no processo produtivo. São a esses processos logísticos de controle da produção e também das encomendas, que se dá o nome de logística de produção.

De acordo com a definição a logística de produção trata de:

- a) Administrar a movimentação para abastecer os pontos de produção partindo do planejamento da produção (cronogramas, quantidades, tipos de produtos).
- b) Deslocar para depósitos e almoxarifados os bens semi-acabados (próprios e de outras empresas) e produtos acabados.

A logística de produção não envolve nenhuma relação externa diretamente, é uma parte desenvolvida totalmente pela empresa, que integra todas as áreas na conversão de materiais em produto acabado. É importante dentro dessa integração sincronizar a produção com as demandas dos clientes.

---

Segundo Ching (2006), dentro da logística de produção, a estratégia de produção é baseada na demanda, as informações sobre a mesma são colhidas continuamente no menor tempo possível no ponto de venda, depois são compiladas na empresa e informadas à produção.

Esse tipo de estratégia requer processos de produção flexíveis, com mudanças rápidas para responder às condições de um mercado em permanente variação, confiáveis e com altos níveis de qualidade.

As flutuações das vendas e contínua mudança do ponto de equilíbrio entre oferta e demanda, devido às recessões, crises e guerras, requerem uma maior capacidade de bem administrar dos responsáveis pela logística de produção.

Portanto, é necessário que a logística de produção seja responsável pela sincronização da produção com a demanda do cliente. Os requisitos para se obter a sincronização são (CHING, 2006):

- a) Confiabilidade do processo: mede a capacidade de um processo produzir consistentemente conforme requerido pelo cliente, na quantidade, qualidade e no tempo previsto.
- b) Flexibilidade: é a capacidade de mudar a produção de um produto para outro com rapidez e eficiência.
- c) Capacidade: é a medida da disponibilidade total de uso em termos de máquinas e horas do processo de fabricação.
- d) Tempos de ciclo: é o somatório de tempo requerido para o produto fluir ao longo da cadeia logística.
- e) Comunicação da demanda: tem a finalidade de reabastecer os produtos, isto é, definir a quantidade a ser produzida para atender à demanda do cliente.

Dentre os requisitos para se obter sincronização, pode-se destacar a confiabilidade, que é um importante componente para se obter o sincronismo e assim formar um circuito de valor agregado ao cliente, conforme Figura 1.

Segundo Ching (2006), são as seguintes razões que tornam a confiabilidade do

---

processo um requisito importante para a sincronização:

- Mede a capacidade do processo em produzir consistentemente conforme a demanda;
- Identifica as perdas, isto é, a capacidade perdida e as ineficiências operacionais, categorizando os diversos tipos de perdas;
- Tem impacto significativo no serviço ao cliente;
- É um componente vital na produção para a demanda.

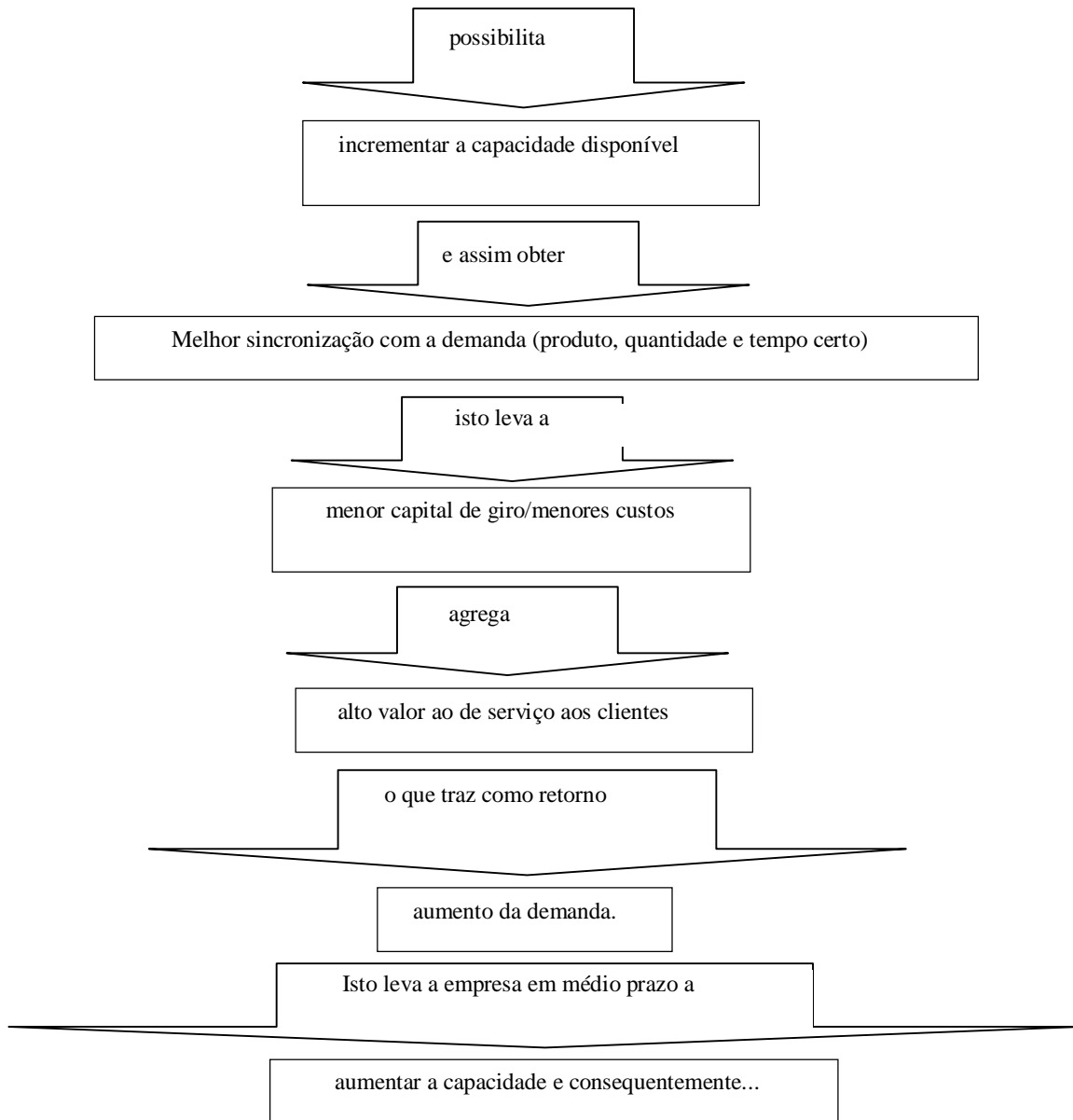


Figura 1: Circuito de valor agregado ao cliente  
Fonte: Ching, 2006.

Alguns gráficos estatísticos podem ser usados na análise da confiabilidade do

---

processo:

- Gráfico de Confiabilidade: mostra os valores percentuais do tempo de utilização, eficiência da máquina, rendimento e confiabilidade do processo ou máquina.
- Gráfico de Pareto: indica a concentração de grandes problemas ou dispersão de pequenos problemas e quais são esses motivos.
- Gráficos de Controle: tornam o processo capaz de produzir dentro das especificações.

O Controle Estatístico de Processo (CEP), em particular os Gráficos de Controle Estatístico do Processo (GCEP), poderão contribuir muito na obtenção dessa sincronização servindo como ferramenta na medição da confiabilidade do processo e na diminuição do tempo de manufatura do produto ocasionados por paradas de máquinas para ajuste no processo.

## **2.2 O Controle Estatístico de Processo**

O GCEP é uma poderosa ferramenta no controle do processo produtivo, tendo como objetivo principal a prevenção de falhas no processo.

### **2.2.1 O princípio do gráfico de controle**

Uma das abordagens da evolução da qualidade se deve a Garvin (1994) que apresenta a evolução da qualidade baseada em “quatro eras da qualidade”: Inspeção total, controle estatístico da qualidade, garantia da qualidade e gestão estratégica da qualidade. Nessa evolução a responsabilidade pela qualidade ultrapassou os limites do setor produtivo, característica da primeira era, e chega atualmente à alta gerência e, principalmente, ao dirigente máximo da organização. A qualidade passou a ser responsabilidade de toda a empresa, abrangendo todos os aspectos de sua operação.

A introdução do GCEP faz parte da segunda era da qualidade. A grande mudança com relação à inspeção total consiste no fato de que com o CEP, o monitoramento do processo passou a ser *on-line*, isto é, durante a produção, e não somente no final, como era característica da inspeção total, o que contribui sensivelmente para a redução dos custos de produção. Na realidade as seguintes razões podem justificar o uso dos GCEP: fornecem uma técnica para a melhoria da produtividade, são efetivos na prevenção e detecção de defeitos,

---

previnem ajustes desnecessários no processo, fornecem informações para diagnóstico e sobre a capacidade do processo (MONTGOMERY, 2001).

O CEP apareceu com o surgimento da produção em escala, baseado nas técnicas de amostragem e outros procedimentos estatísticos, bem como, em termos da estrutura organizacional e na implantação do setor de controle da qualidade.

As bases científicas para o controle estatístico do processo que atualmente se conhece, data do início do século XX, conforme já citado, foi introduzido por Walter A. Shewhart entre 1920 e 1930, que aplicou e desenvolveu os GCEP, cujo princípio se baseia em que no monitoramento de um processo de fabricação em série frequentemente existe uma variável de interesse  $X$ , que representa uma característica da qualidade, cuja distribuição de probabilidade está associada ao estado de controle do processo. Em particular, são comuns situações em que a variável  $X$  apresenta uma distribuição aproximadamente normal. O processo é dito estar sob controle se a média e a variância de  $X$  são, respectivamente,  $\mu$  e  $\sigma^2$ . Aqui  $\mu$  é, em geral, um valor ajustado de acordo com as especificações de projeto, e  $\sigma^2$  é uma característica de variabilidade do processo. O descontrole do processo ocorre quando a média desvia do valor  $\mu$  e/ou quando a variância aumenta com relação ao mínimo possível  $\sigma^2$ .

O descontrole do processo é ocasionado pela variação no processo de produção, devido a materiais de baixa qualidade, variações nas condições dos equipamentos, mão-de-obra, métodos de trabalho, etc.

As variações que surgem em um processo produtivo podem ser classificadas da seguinte forma:

- Causas comuns ou aleatórias: são causas que já fazem parte do próprio processo, inerentes a ele, são difíceis de serem identificadas, em geral são pequenas, porém, quase sempre ocorrem em grande número.
- Causas especiais ou assinaláveis: esse tipo de causa em geral é único e representa um descontrole temporário do processo, é possível de ser identificada e corrigida.

Se essas causas forem conhecidas, controladas, reduzidas ou eliminadas, haverá uma redução nos índices de produtos defeituosos. O Quadro 2 mostra com mais detalhes as diferenças e também alguns exemplos dessas duas causas:

QUADRO 2 – CAUSAS COMUNS *VERSUS* CAUSAS ESPECIAIS

<b>Causas Comuns</b>	<b>Causas Especiais</b>
1. Inerentes ao processo.	1. São desvios em relação ao que o processo é capaz de produzir, em geral mais fáceis de serem identificadas.
2. Uma quantidade grande de pequenas causas, individualmente tem pouco efeito no processo.	2. Poucas causas que produzem grandes efeitos no processo.
3. A correção exige grandes mudanças no processo e altos investimentos.	3. A correção é feita no próprio local de trabalho não acarretando grandes mudanças no processo.
4. A melhoria da qualidade sob influência somente das causas comuns necessita de decisões da alta gerência.	4. A melhoria da qualidade, em geral, necessita apenas de decisões locais (operação e supervisão).
5. Exemplos: manutenção inadequada, treinamento não apropriado, equipamentos obsoletos, etc.	5. Exemplos: ferramentas gastas ou quebradas, máquinas desreguladas, atraso de funcionário, etc.

Fonte: Elaboração Própria

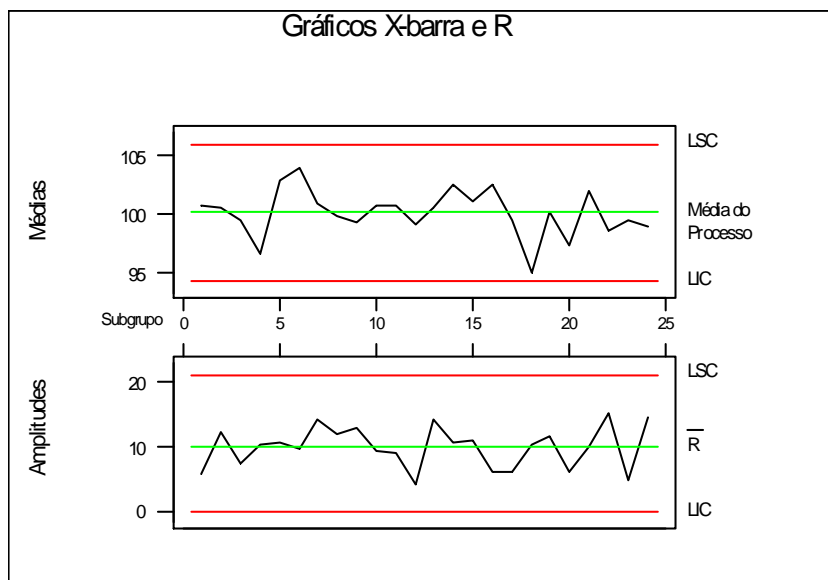
O GCEP é uma importante ferramenta na identificação e priorização das causas que afetam a qualidade, tendo como objetivo o controle e a eliminação das causas principais dos defeitos. O Gráfico 1 é um exemplo típico de uso do gráfico de controle.

O exemplo do gráfico 1, se baseia na seleção e inspeção de uma amostra de n itens a cada intervalo de h unidades de tempo. As médias amostrais,  $\bar{X}$ , são determinadas e comparadas com os limites de controle do gráfico para a média:  $\mu - 3\sigma_{\bar{X}}$  e  $\mu + 3\sigma_{\bar{X}}$ , já

---

previamente determinados, onde  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  é o desvio-padrão da distribuição amostral das médias.

GRÁFICO 1: MODELO DE SHEWHART



Se  $\bar{X}$  cair além desses limites assume-se que uma causa especial alterou a média do processo. Neste caso, ações corretivas devem ser empreendidas visando eliminar tal fonte de distúrbio. Se  $\bar{X}$  cair dentro dos limites de controle, recomenda-se não intervir no processo. Semelhante análise deve ser feita para o gráfico que mede a variabilidade do processo, no caso da ilustração acima, corresponde ao gráfico-R (gráfico das amplitudes amostrais). É importante afirmar que o processo deve ser monitorado simultaneamente quanto às alterações na média e na variabilidade (MONTGOMERY, 2001).

Algumas considerações a respeito dos gráficos de controle devem ser citadas, entre elas:

1. A formação dos subgrupos racionais é um dos aspectos mais importantes para a construção dos gráficos. Na formação desses subgrupos é necessário considerar que as variações provocadas por causas especiais deverão aparecer entre subgrupos e então

- 
- tentar agrupar os dados de forma que a variabilidade resultante da atuação das causas aleatórias construa a variação dentro do subgrupo.
2. Os parâmetros presentes no modelo de *Shewhart* são o fator de largura do intervalo  $L$ , o intervalo entre as amostras  $h$ , e o tamanho de cada subgrupo, ou seja, da amostra  $n$ .
  3. O gráfico de *Shewhart* para controlar  $\bar{X}$  fornece uma boa proteção contra alarmes falsos: um alarme falso a cada 370,4 inspeções, em média, pois, em geral, no modelo de *Shewhart*  $L=3$ . Define-se como alarme falso, a afirmação errônea de que o processo está fora de controle.

O desempenho de um determinado gráfico de controle é usualmente determinado pela rapidez de detecção das causas assinaláveis, pela frequência de alarmes falsos e pelo número de amostras e itens analisados.

O ARL (*Average Run Length*) ou NMA (Número Médio de Amostras) é uma medida estatística muito utilizada para avaliar o desempenho estatístico de um gráfico de controle. É definido como o número médio de amostras (inspeções) que é necessário analisar até haver indicação do processo estar fora de controle, podendo ser considerado um alarme falso, no caso do processo estar sob controle.

Nos gráficos de controle com intervalos de amostragem constantes e de mesmo tamanho, o número de inspeções entre a ocorrência da falha e sua detecção ou, caso o processo esteja sob controle, até ao aparecimento do primeiro alarme falso, o NMA do processo é dado por

$$NMA = \frac{1}{1-p},$$

onde  $p$  representa a probabilidade do processo estar sob controle, ou seja, a probabilidade da média de uma amostra estar entre os limites de controle.

A distribuição do número de inspeções até a ocorrência do primeiro alarme falso ( $N_1$ ) é geométrica de parâmetro  $p$ .

Para maiores detalhes sobre o modelo probabilístico para determinar  $N_1$  ver Montgomery (2001).



---

## CAPÍTULO 3

### GRÁFICOS DE CONTROLE POR GRUPOS

---

As indústrias podem ser classificadas nas seguintes categorias, dependendo do sistema de produção, ou seja, quanto ao tipo de processo de fabricação utilizado (RAMOS, 2000):

- Produção em massa: caracteriza-se por produzir um ou poucos tipos de produtos, com baixa diferenciação e em grandes quantidades, se utiliza de linha de montagem com pouca flexibilidade.
- Produção intermitente: é caracterizada por uma maior diversificação de produtos. A linha de montagem costuma ser funcional, com equipamentos flexíveis.
- Produção enxuta: caracteriza-se por possuir baixos estoques, equipamentos versáteis e flexibilidade para mudança de volumes e tipos de produtos. As indústrias com este tipo de produção adotam os modernos conceitos de produção.
- Processo contínuo ou em batelada: são caracterizadas por não possuírem unidades discretas (unidades individuais) de produto durante o processo, mas somente ao final deste, quando da sua embalagem.

A adoção do Controle Estatístico de Processo (CEP) nessas indústrias dependerá do sistema de produção adotado. O uso incorreto do tipo de CEP por essas empresas resultará em frustrações e desapontamentos nos colaboradores. Abaixo se apresenta o tipo de CEP adequado em função do sistema de produção adotado pela indústria:

- CEP tradicional: é aquele empregado onde há uma grande quantidade de dados disponíveis e os produtos fabricados costumam ser discretos (unidades individuais). Aplicado à produção em massa, produção intermitente e também a processo contínuo.
- CEP para pequenos lotes: é empregado onde há poucos dados e uma grande diversificação de produtos que se utilizam do mesmo equipamento. É aplicado nas produções intermitente e enxuta.
- CEP para processo contínuo ou em batelada: é usado onde o produto é de natureza contínua, aquele produto em que não é possível definir claramente o que seja uma

---

unidade do produto, com baixo e alto volume de produção, com baixa e alta diferenciação de produto, é normalmente produzido pelo mesmo equipamento.

Quando o CEP é aplicado em processos contínuos algumas dificuldades costumam ocorrer, entre elas, destacam-se os fluxos múltiplos de material que são fluxos que funcionam como sendo diversas máquinas em uma só, ou seja, diversos processos apresentam linhas, cabeçotes, posições múltiplas, etc. Isto acarreta dois problemas: a necessidade de vários gráficos de controle tradicionais de *Shewhart*, sendo um para cada fluxo, e a dificuldade na formação de subgrupos para análise do processo.

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação de um único gráfico de controle, como uma alternativa, para controlar múltiplos fluxos.

### **3.1 Processos Paralelos**

Conforme exposto acima, nas indústrias de transformação é comum encontrar processos produtivos em que um produto é fabricado em vários fluxos de produção ou o mesmo produto é fabricado simultaneamente em diferentes conjuntos de equipamentos. Como ilustrações serão abordados dois cenários: o primeiro em que os fluxos são ajustados independentemente, e o segundo onde os fluxos são dependentes.

#### **3.1.1 Fluxos Independentes**

Nesta ilustração é abordado um processo de fabricação de rolhas metálicas onde para cada batida de uma máquina sobre uma chapa metálica são produzidas  $k$  rolhas originadas de  $k$  diferentes punções, cada punção equivale a um fluxo de produção, que são calibradas de forma independente e há o interesse de investigar diferenças entre punções. A Figura 2 apresenta uma configuração dos  $k$  punções de estampagem das  $k$  rolhas, em cada batida na chapa. Nesse processo  $k$  é igual a 27. A monitoração por meio do modelo tradicional de *Shewhart* consiste na elaboração de 54 gráficos de controle (27 para monitorar a média do processo e 27 para a variabilidade), o que torna o processo extremamente burocrático e compromete a eficiência na interpretação dos gráficos em função da grande quantidade.

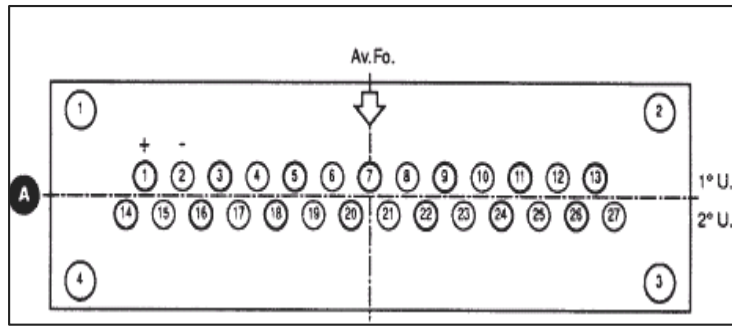


Figura 2: Configuração dos 27 punções de estampagem  
 Fonte: Alexandre *et al*, 2006

### 3.1.2 Fluxos Dependentes

Neste segundo exemplo é considerado um processo de pintura a pó das laterais de fogões, cujo interesse consiste em investigar a existência de diferenças entre as camadas de tintas nas posições superior, meio e inferior das laterais de fogões, conforme Figura 3. Nota-se que nessa figura são feitas 6 medidas na lateral, com duas medidas para cada posição. A aplicação do gráfico de *Shewhart* implica, aqui, na construção de 6 gráficos de controle (3 gráficos para monitorar a média mais 3 gráficos para monitorar a variabilidade do processo, onde cada observação consiste na média das duas medidas de cada posição). Muito embora esse processo de pintura a pó não seja característico de um processo com múltiplos fluxos de produção ou em paralelo, pois, um único equipamento (pistola) é utilizado na pintura, o que conduz à dependência é o fato das posições não serem ajustadas de forma independente, o Gráfico por Grupos se aplica plenamente nesta situação, uma vez que se deseja investigar diferenças entre as posições. Neste trabalho é abordado o gráfico por grupos para fluxos independentes.

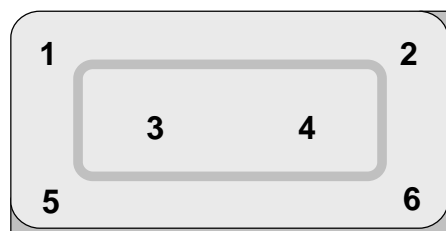


Figura 3: Lateral Externa do fogão  
 Fonte: Alexandre *et al*, 2006

Um fator muito importante a ser considerado na formação dos subgrupos está relacionado à variação transversal e longitudinal no processo. No modelo de *Shewhart* para a

---

média e amplitude, o valor da amplitude média calculada a partir da amplitude de cada subgrupo, determina a largura dos limites para o gráfico da média.

O significado desse resultado é que a variabilidade dentro de cada amostra determina o quanto de diferença pode existir na variação entre as amostras. Em geral, nesse caso, os produtos são discretos e oriundos de um mesmo fluxo e as amostras são selecionadas de forma consecutiva no tempo.

Em processos em paralelo, como no caso da fabricação das rolhas metálicas mencionadas como exemplo de fluxos independentes, a variabilidade dentro de cada batida (variabilidade transversal – variabilidade entre as  $k$  punções) tem características diferentes da variabilidade entre as batidas (variabilidade longitudinal – detecta a variabilidade entre cada punção ao longo do tempo). No caso apresentado acima a variabilidade transversal é causada, por exemplo, pelo ajuste independente de cada punção, e a origem da variabilidade longitudinal está no fato de que à medida que se processa a fabricação existe um desgaste natural do processo, variabilidade decorrente de matérias-primas, operadores, procedimentos, etc.

### **3.2 Os Gráficos de Controle por Grupos**

De acordo com Boyd (1950), uma alternativa para resolver situações em que se têm vários fluxos de produção ou processos é a aplicação dos Gráficos por Grupos (GG), pois permite o monitoramento de média do processo através de um único gráfico.

A construção do gráfico por grupo, que pode ser considerado como uma variação do gráfico convencional de Shewhart, é bastante simples, cujo princípio fundamental está na formação dos subgrupos, a Tabela 1 apresenta uma configuração geral de uma planilha de dados, para a aplicação desse gráfico, considerando a ilustração da Figura 3.

Este esquema do controle tem dois objetivos preliminares (MORTELL e RUNGER, 1995):

1. Detectar um deslocamento na média de todo os fluxos;
2. Detectar um deslocamento na média de um fluxo individual do produto.

Tabela 1 – Planilha de Dados

GRUPO	AMOSTRA	POSIÇÃO	PRODUTO 1	...	PRODUTO k	MÉDIA	AMPLITUDE
1	1	Superior	$X_{1,1}$	...	$X_{1,n}$	$\bar{X}_1$	$R_1$
	2	Meio	$X_{2,1}$	...	$X_{2,n}$	$\bar{X}_2$	$R_2$
	3	Inferior	$X_{3,1}$	...	$X_{3,n}$	$\bar{X}_3$	$R_3$
.	.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	.	...	.	.	.
m	k-2	Superior	$X_{k,1}$	...	$X_{k-2,n}$	$\bar{X}k - 2$	$R_{k-2}$
	k-1	Meio	$X_{k,1}$	...	$X_{k-1,n}$	$\bar{X}k - 1$	$R_{k-1}$
	k	Inferior	$X_{k,1}$	...	$X_{k,n}$	$\bar{X}k$	$R_k$

Fonte: Alexandre *et al.* (2006)

As fórmulas de cálculo dos limites de controle são idênticas ao do gráfico tradicional:

$$\begin{aligned}
 LSC_X &= \mu_X + L\sigma_X \\
 LC &= \mu_X \\
 LIC &= \mu_X - L\sigma_X
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

onde X é a característica monitorada pelos gráficos  $\bar{X}$ , R (amplitude) e S (desvio padrão), LSC, LIC e LC são os limites superior e inferior de controle e a linha central, respectivamente, e L e o fator de largura do intervalo.

A principal característica do gráfico de controle por grupos é que a informação que resume todos os fluxos do processo está representada por um simples gráfico de controle.

De um modo geral, para os gráficos para a média e amplitude, adota-se o seguinte procedimento para a construção desses gráficos:

1. Inicia-se a elaboração do gráfico através da coleta de amostras de cada fluxo, com se fossem construir gráficos para a média ( $\bar{X}$ ) e amplitude (R) para cada fluxo, seguindo o modelo de *Shewhart*.
2. Calcula-se a média e amplitude para cada amostra. Para a elaboração do gráfico por grupo, retiram-se amostras de um processo sob controle e calcula-se a grande média  $\bar{\bar{X}}$  (média estimada do processo) e a amplitude média.
3. Determinam-se limites de controle para o gráfico por grupos para a média e a amplitude semelhantes aos limites de controle e os coeficientes do gráfico tradicional

de Shewhart, que são respectivamente,

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} & LSC &= D_4 * \bar{R} \\ LC &= \bar{\bar{X}} & e & LC = \bar{R} & (2) \\ LIC &= \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} & LIC &= D_3 * \bar{R} \end{aligned}$$

sendo  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  valores constante em funções de  $n$  e tabelados,  $LSC$ ,  $LIC$  e  $LC$  são os

limites superior e inferior de controle e a linha central, respectivamente,  $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}}{k}$  e

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}.$$

- Plotar a maior e menor média de cada grupo, no gráfico para a média e a maior amplitude, no gráfico para a amplitude. Se ambos os gráficos não apresentarem pontos fora dos limites de controle e um comportamento aleatório, é uma indicação de que o processo está sob controle estatístico; caso contrário, recomenda-se investigar e corrigir as causas que levaram a esse estado de instabilidade no processo. Os Gráficos 2 e 3 são exemplos de aplicação dos gráficos por grupos.

GRÁFICO 2: GRÁFICO POR GRUPOS DA MÉDIA

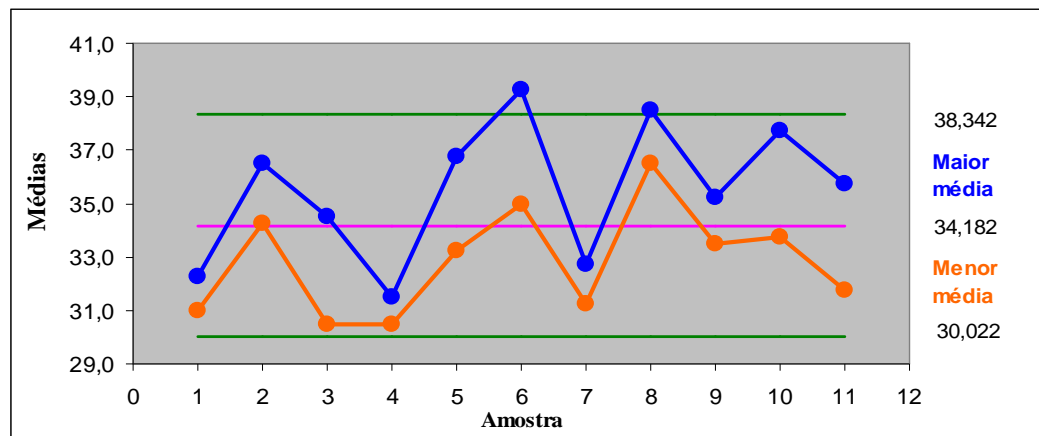
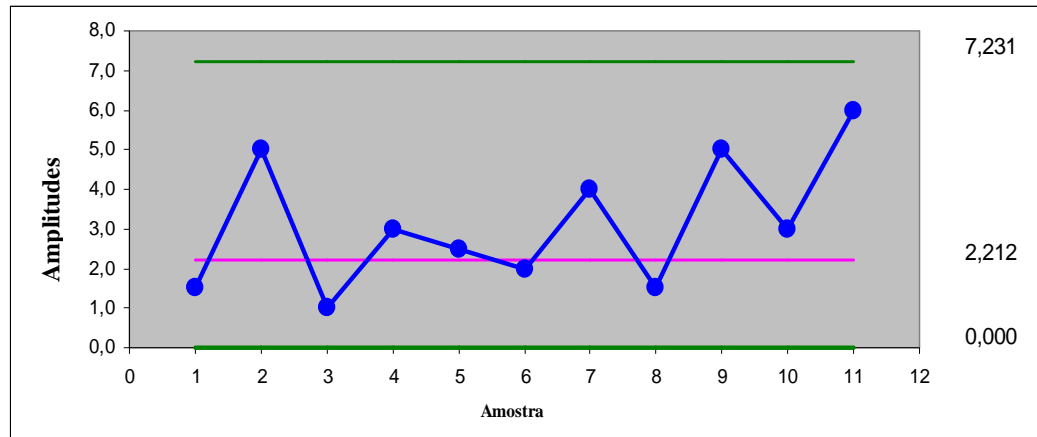


GRÁFICO 3: GRÁFICO POR GRUPOS DA AMPLITUDE



Segundo Grimshaw e Bryce (1999) sinais fora de controle são manifestados de duas maneiras:

1. Um ponto caindo fora dos limites de controle é uma indicação que pelo menos um fluxo está fora de controle. Como cada ponto carrega o número de fluxo com o qual está associado, é fácil identificar qual fluxo deverá ser investigado primeiro.
2. Boyd (*apud* Grimshaw e Bryce, 1999) afirma que se um particular fluxo constantemente aparece como menor ou maior valor no gráfico por grupo, então isto é indicação de que um fluxo pode estar fora de controle.

Apesar de muitos autores aceitarem os gráficos de controle por grupos definidos por Boyd (1950), há um problema: à medida que o número de fluxos aumenta, a probabilidade do processo permanecer sob controle e o número de amostras necessárias até a ocorrência de alarme falso diminuem, se comparados com o modelo de *Shewhart*, conforme Tabela 2.

Esse problema ocorre por que os limites de controle calculados e os coeficientes usados no gráfico por grupos são os mesmos utilizados no gráfico de *Shewhart*.

Uma alternativa para contornar essa situação foi proposta por Grimshaw *et al* (1999), que consiste no alargamento dos limites de controle, tomando como base a taxa de incidência de alarmes falsos do modelo de *Shewhart*.

Os coeficientes utilizados no cálculo dos limites de controle são, portanto,

corrigidos levando-se em consideração a quantidade de fluxos e o número de amostras até a ocorrência do 1º. alarme falso, no gráfico de Shewhart (um alarme falso a cada 370.4 inspeções aproximadamente).

Tabela 2: Taxa de alarmes falsos para o Gráfico por Grupos em função do número de fluxos

Número de fluxos	Probabilidade de estar sob	Número médio de amostras
	controle	até o 1º. alarme falso (NMA)
1	0,99730	370,4
2	0,99461	185,4
3	0,99192	123,8
4	0,98924	93,0
5	0,98651	74,5
6	0,98391	62,1
7	0,98125	53,3
8	0,97860	46,7
9	0,97596	41,6
10	0,97333	37,5
15	0,96026	25,2
20	0,94736	19,0

Fonte: *Grinshaw* e *Bryce*, 1999

### 3.2.1 Demonstração do cálculo do NMA para o gráfico por grupos para fluxos independentes

Seja  $T$  a estatística apropriada para o gráfico de controle, isto é  $T = \bar{X}$  para o gráfico por grupo  $X$ -barra e  $T = R$  para o gráfico por grupo  $R$ . O processo é considerado sob controle, no gráfico por grupos, quando todas as amostras de cada fluxo estão entre os limites de controle.

Considere um processo com  $k$  fluxos onde  $T_1, T_2, \dots, T_k$  são amostras obtidas de  $k$  independente fluxos, onde  $F(\cdot)$  denota a função de distribuição acumulada de  $T_i$ . Então, a probabilidade do processo estar sob controle é definida como:



$$\theta = P[\text{processo estar sob controle}] = P[(LIC < T_1 < LSC) \cap \dots \cap (LIC < T_k < LSC)].$$

Pela condição de independência entre os fluxos, tem-se:

$$\theta = \{P[LIC < T_i < LSC]\}^k = [F(LSC) - F(LIC)]^k$$

Como o número médio de amostras até a 1º. alarme falso (NMA), pode ser modelado pela distribuição geométrica, tem-se, para o gráfico por grupos:

$$NMA = \frac{1}{1 - \theta^k} = \frac{1}{1 - [F(LSC) - F(LIC)]^k}$$

Considerando cada fluxo  $k$  gerando  $T_i$  amostras independentes com distribuição aproximadamente Normal e como os limites de controle para o gráfico por grupos são baseados no modelo de *Shewhart*, que em geral usa  $L = 3$ , obtém-se:

$$F(LSC) - F(LIC) = \phi(3) - \phi(-3) = 0,99730$$

e assim,

$$NMA = \frac{1}{1 - (0,99730)^k}.$$

### 3.2.2 Limites Alargados para Gráficos por Grupos

Conforme Grinshaw e Bryce (1999), os valores  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  em (2) foram definidos para o cálculo dos limites de controle dos gráficos por grupos, considerando-se uma largura de 3 desvios-padrão. Conforme a Tabela 2 e o exposto acima, a largura dos limites de controle para os gráficos por grupos deverá ser maior que 3 desvios-padrão e depende também do número de fluxos.

Para resolver o problema é necessário encontrar o número correto de desvios-padrões,  $L$ , que representa a largura do intervalo do gráfico de controle, em relação à média do processo, tal que o número médio de amostras até a ocorrência do 1º alarme falso para todo  $k$  seja constante e igual a 370,4 em média, ou seja, deve-se encontrar o valor  $v$  tal que os limites alargados sejam dados por:

$$LSC^* = \mu_T + v\sigma_T \text{ e } LIC^* = \mu_T - v\sigma_T$$

---

onde a estatística  $T = \bar{X}$  para o gráfico  $\bar{X}$ , assume ter distribuição aproximadamente Normal com média  $\mu_T$  e desvio-padrão  $\sigma_T$ .

Portanto, o valor de  $v$  para um valor de  $k$  é dado por

$$v = \phi^{-1}\left(\frac{1 + 0,99730^{1/k}}{2}\right) = \phi^{-1}(z), \quad (3)$$

onde  $\phi^{-1}(z)$  denota a função de distribuição acumulada inversa da normal padrão, com  $Z$  sendo uma variável aleatória com distribuição normal padrão com média 0 e desvio-padrão 1.

### 3.2.2.1 Demonstração do valor de $v$

Para determinar o valor de  $v$  deve-se resolver a seguinte equação:

$$370,4 = \frac{1}{1 - [F(LSC^*) - F(LIC^*)]^k},$$

de forma que:

$$\begin{aligned} \theta &= P[\mu_T - v\sigma_T < T < \mu_T + v\sigma_T]^k \\ &= P\left[\frac{(\mu_T - v\sigma_T) - \mu_T}{\sigma_T} < \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} < \frac{(\mu_T + v\sigma_T) - \mu_T}{\sigma_T}\right]^k \\ &= P[-v < Z < v]^k \\ &= [F_Z(v) - F_Z(-v)]^k. \end{aligned}$$

Como  $F_Z(-v) = 1 - F_Z(v)$  tem-se que:

$$\begin{aligned}
\theta &= [F_Z(v) - F_Z(-v)]^k = [F_Z(v) - (1 - F_Z(v))]^k \\
&= [2F_Z(v) - 1]^k = 0,99730 \\
&= \{[2F_Z(v) - 1]^k\}^{1/k} = [0,99730]^{1/k} \\
&= 2F_Z(v) - 1 = (0,99730)^{1/k} \\
&= F_Z(v) = \frac{1 + (0,99730)^{1/k}}{2} \\
v &= \phi^{-1} \left[ \frac{1 + (0,99730)^{1/k}}{2} \right]
\end{aligned}$$

### 3.2.2.2 Valores de $v$ e as expressões dos novos coeficientes

A Tabela 3 apresenta alguns valores para  $v$  em número de desvios-padrão para um NMA de 370,4.

Tabela 3: Alguns valores de  $v$

k	v
1	3,0000
2	3,2049
3	3,3198
4	3,3993
5	3,4598
6	3,5086
7	3,5494
8	3,5844
9	3,6150
10	3,6422
15	3,7452
20	3,8168

Fonte: *Grinshaw* e *Bryce*(1999)

Para o modelo de *Shewhart*, tem-se:

$$\begin{aligned}
 LSC &= \mu_{\bar{X}} + L \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \\
 &= \hat{\mu}_{\bar{X}} + 3 \frac{\hat{\sigma}_X}{\sqrt{n}} \\
 &= \bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \\
 &= \bar{X} + A_2 \bar{R},
 \end{aligned} \tag{4}$$

sendo  $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ , isto é,  $A_2 = f(L = 3)$ .

O cálculo do coeficiente utilizado na determinação dos limites de controle do gráfico por grupo de  $\bar{X}$  é dado pela seguinte expressão:

$$A_2^* = \frac{v}{d_2 \sqrt{n}}, \tag{5}$$

com  $A_2^* = f(v)$ , onde  $n$  denota o tamanho da amostra do subgrupo tomado de cada fluxo e  $d_2$  é um valor tabelado que satisfaz  $E(R) = d_2 \sigma$ , obtido da eficiência relativa  $W = \frac{R}{\sigma}$ , que é utilizada na estimação de  $\sigma_X$ , ou seja,  $\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2}$ .

Para o gráfico R, adotando-se modelo de *Shewhart*, tem-se:

$$\begin{aligned}
 LSC &= \mu_R + L \sigma_R \\
 &= \hat{\mu}_R + 3 \hat{\sigma}_R \\
 &= \bar{R} + 3 \frac{d_3 \bar{R}}{d_2} \\
 &= \bar{R} \left( 1 + \frac{3d_3}{d_2} \right) \\
 &= \bar{R} D_4
 \end{aligned} \tag{6}$$

sendo  $D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2}$ . Analogamente,  $LIC = \bar{R} D_3$  com  $D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$ , e,  $D_3$  e  $D_4$  são  $f(L = 3)$ .

---

Para o gráfico por grupo de  $R$ , as constantes  $D_3^*$  e  $D_4^*$  são obtidas usando a aproximação Normal para a distribuição amostral de  $R$ , com as constantes  $d_2$  e  $d_3$  tabeladas satisfazendo, também,  $E(R) = d_2\sigma$ , sendo que o erro padrão de  $R$  é  $\sqrt{\text{Var}(R)} = d_3\sigma$ , de modo que

$$D_3^* = 1 - \frac{vd_3}{d_2} \quad \text{e} \quad D_4^* = 1 + \frac{vd_3}{d_2}, \quad (7)$$

com  $D_3^* = f(v)$  e  $D_4^* = f(v)$ .

---

## CAPÍTULO 4

### APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE POR GRUPOS

---

Neste capítulo é apresentada uma aplicação dos Gráficos por Grupos (GG) em indústria de transformação. Para a aplicação foram coletados dados provenientes de fluxos independentes e dependentes.

#### **4.1 Aplicação em fluxos independentes**

O processo de fabricação consiste na produção de rolhas metálicas por uma indústria de transformação. Em cada batida de uma máquina sobre uma chapa metálica são produzidas 27 rolhas originadas de 27 diferentes punções. Cada punção é calibrada de forma independente e há o interesse de investigar tanto a variabilidade entre punções, dentro de cada batida, como a variabilidade entre as batidas.

A característica da qualidade monitorada é altura da rolha e a unidade de medida é apresentada em milímetros. Alturas fora das especificações conduzem a problemas de encaixe no envase das garrafas, ocasionando vazamento e vedação, tendo como consequência principal quebras das garrafas.

Foram selecionadas consecutivamente, a cada duas horas, duas batidas do processo e medidas as alturas das 27 rolhas originadas das 27 punções de cada batida. Cada grupo é composto de duas batidas, sendo que a média e a amplitude das medidas de altura das rolhas obtidas de cada punção foram calculadas para cada grupo. Para maiores detalhes ver planilha dos dados no apêndice A.

Cada punção é calibrada individualmente para produzir a rolha com altura de 6,00 milímetros e durante o processo de fabricação podem ocorrer alterações nessa calibração de forma independente entre os punções.

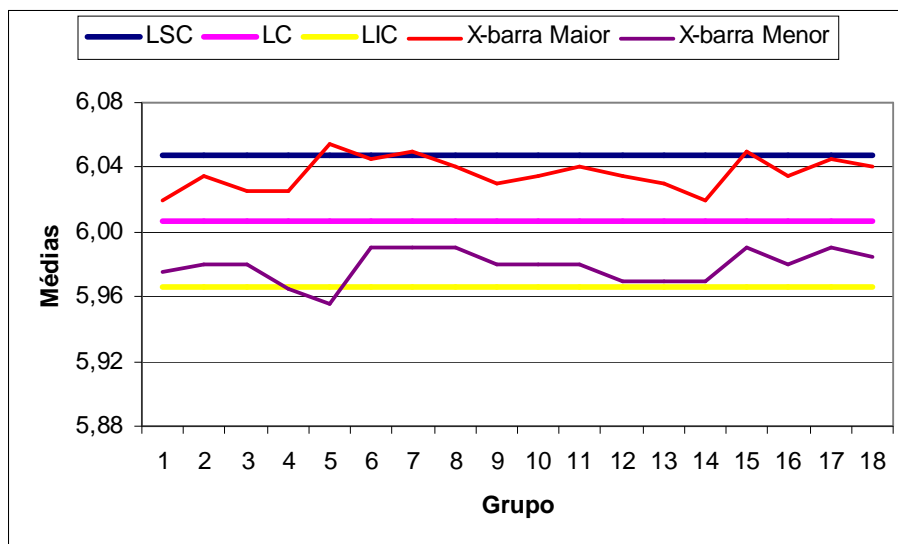
A Tabela 4 apresenta os valores correspondentes aos limites de controle para os gráficos da média e amplitude.

Tabela 4: Valores da Linha Central e Limite Inferior e Superior – Fluxos Independentes

Limites	Média	Amplitude
Inferior	5,9663	0,0000
Linha central	6,0068	0,0166

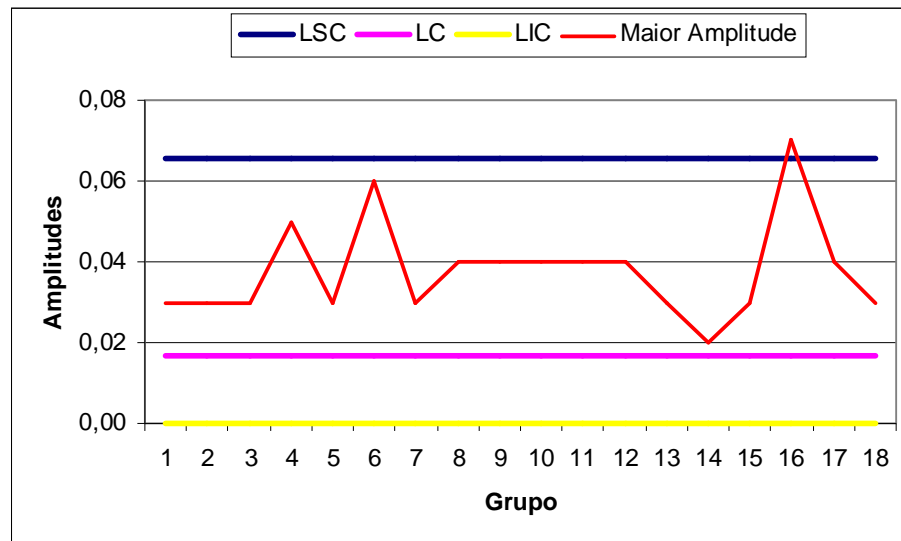
O Gráfico 4 apresenta o GG para a média, este gráfico apresenta um ponto fora dos limites de controle, que corresponde aos grupos 5, punções 4, 5 e 13, esse ponto foi investigado e concluiu-se que houveram erros de medições.

GRÁFICO 4: GRÁFICO POR GRUPO  $\bar{X}$  – FLUXOS INDEPENDENTES



Quanto ao gráfico da amplitude (Gráfico 5), detectou-se um ponto fora que corresponde ao grupo 16, punção 6, esta instabilidade também foi causada por erro nas medições.

GRÁFICO 5: GRÁFICO POR GRUPO DA AMPLITUDE – FLUXOS INDEPENDENTES



#### 4.2 Aplicação em fluxos dependentes

A Figura 4 apresenta o fluxo do processo da pintura a pó, que foi objeto de aplicação nesta dissertação.

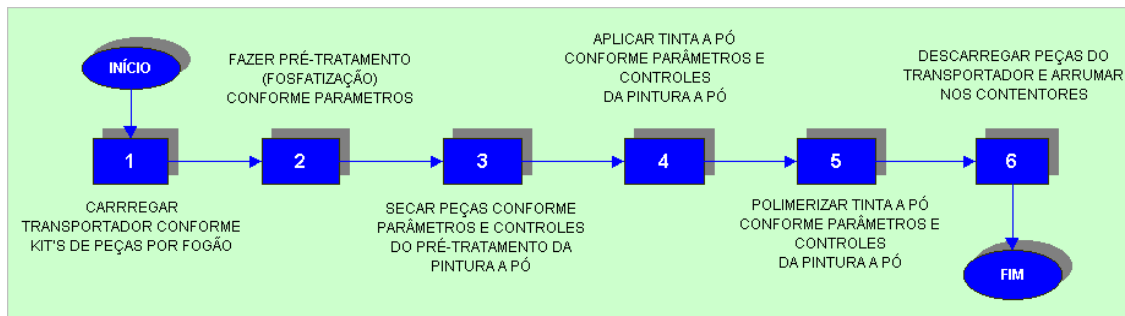


Figura 4 – Fluxo do processo de pintura a pó  
 Fonte: Alexandre *et al*, 2006

A produção de fogão possui uma etapa de pintura a pó eletrostático composta por 3 linhas. Cada linha é composta de pistolas móveis, na vertical, distribuídas em pontos estratégicos que lançam o pó sobre a peça e um transportador suspenso que direciona, na horizontal, as peças a serem pintadas. O pó é lançado por pressão da linha de ar e se direciona a peça por meio de um campo magnético que é criado entre a peça e a pistola. Assim, o pó fica com certa tensão na peça até que seja aquecido e tome as características de uma pintura normal. Como o processo acontece de forma bem dinâmica, é passivo a falhas durante a



---

distribuição do pó, como camadas mais baixas e/ou elevadas em certos pontos, devido a entupimentos, paradas de transportador e etc. O gráfico por grupo foi aplicado na linha 3, considerada a mais estável pela empresa.

O indicador que caracteriza a distribuição de pó na peça é a espessura da camada de tinta. O monitoramento ocorre por meio de um aparelho de medição chamado eucômetro e a unidade de medida é apresentada em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ). Camadas baixas são passivas à oxidação precoce da peça e as altas estão sujeitas à quebra da tinta.

Foram coletadas, consecutivamente, a cada duas horas, três medidas das laterais de fogão, Figura 5. Foram feitas três medições em cada lateral. Para efeito da construção dos GG foram utilizadas as médias das três medições em cada lateral, para maiores detalhes ver planilha dos dados no apêndice B.

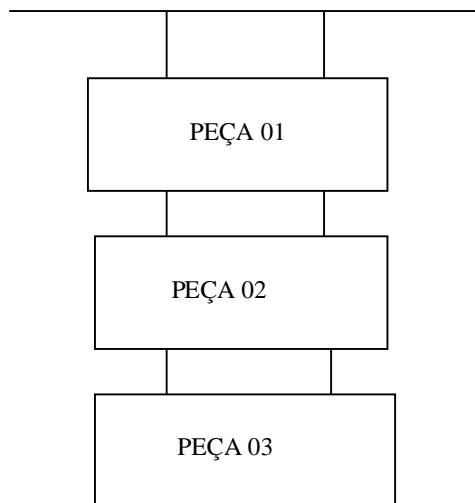


Figura 5 – Laterais dos fogões

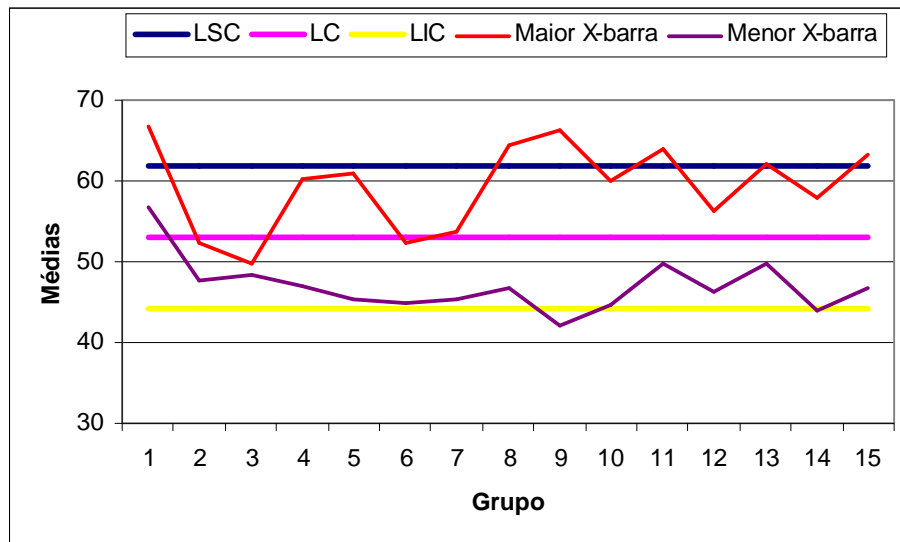
A partir da planilha de dados, foram calculados os limites de controle para os gráficos da média e amplitude, que são apresentados na Tabela 5, abaixo:

Tabela 5: Valores da Linha Central e Limite Inferior e Superior – Fluxos Dependentes

Limites	Média	Amplitude
Inferior	44,1127	0,0000
Linha central	52,9926	7,8444
Superior	61,8725	21,5016

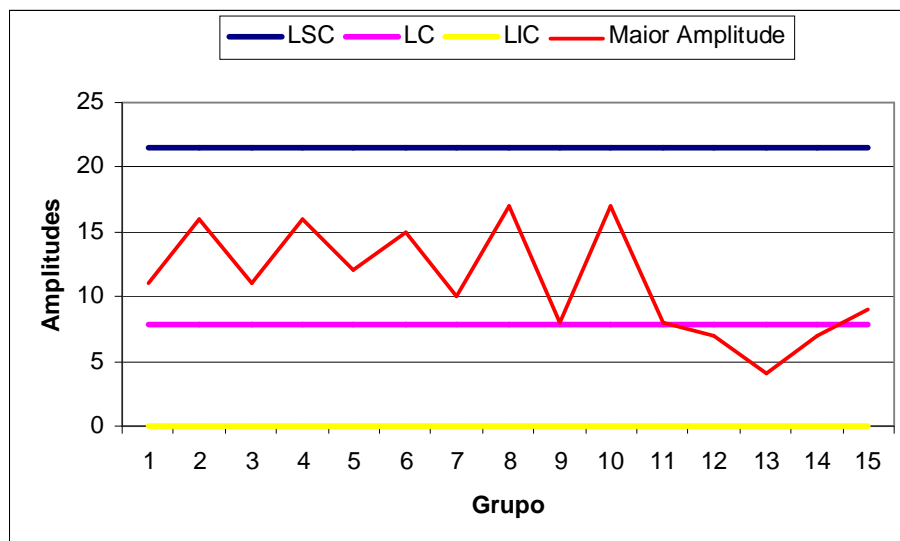
O gráfico para a média mostra cinco pontos acima do limite superior de controle: maiores médias dos grupos 1, 8, 9, 11 e 15, todos estes pontos correspondem a lateral três. Isso revela, a princípio, instabilidade no processo.

GRÁFICO 6: GRÁFICO POR GRUPO  $\bar{X}$  – FLUXOS DEPENDENTES



No gráfico da amplitude (Gráfico 7), não há ocorrência de nenhum ponto fora dos limites de controle.

GRÁFICO 7: GRÁFICO POR GRUPO DA AMPLITUDE – FLUXOS DEPENDENTES



---

### 4.3 Análise da correlação em fluxos independentes

Com o objetivo de verificar a existência ou não de correlação na aplicação referenciada no item 4.1, foi realizado um estudo para determinar os valores correspondentes de correlações entre as 27 batidas, cujos resultados estão listados na Tabela 6:

Tabela 6: Valores de Correlação – Fluxos Independentes

<b>Correlação</b>	<b>Valores</b>
Minima	0,58
Média	0,79
Máxima	0,92

Como pode-se observar pelos valores da tabela 6, verifica-se a existência de correlações entre os fluxos, algumas delas fortes, ou seja, acima de 0,90, embora as regulagens feitas nas punções (fluxos) sejam realizadas de formas independentes, porém, o processo acusa a existência de dependência entre os fluxos.

Para o exemplo do item 4.1 caberia um estudo mais aprofundado das causas de dependências dos fluxos no processo produtivo da empresa.

**DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DO GRÁFICO POR GRUPOS  $\bar{X}$**

Neste capítulo será analisado o desempenho e a eficiência do gráfico por grupo  $\bar{X}$  frente a uma perturbação ocorrida na média e no desvio-padrão do processo.

Na Figura 6 é mostrado um exemplo de perturbação ocorrida na média do processo.

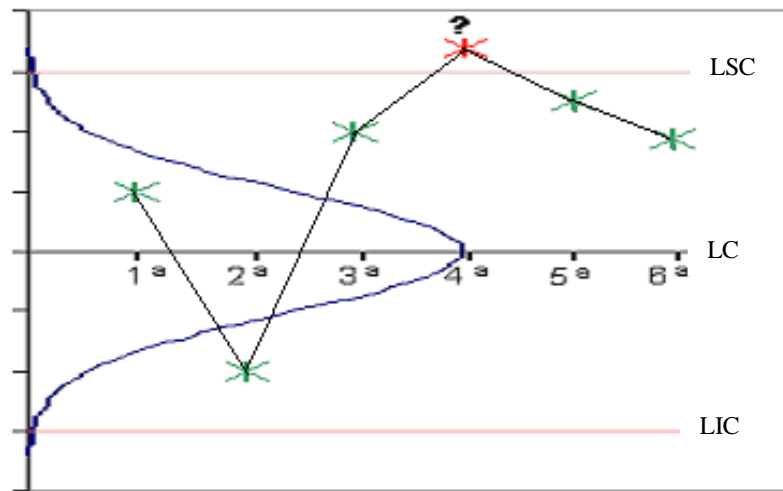


Figura 6: Exemplo de uma perturbação ocorrida na média do processo  
 Fonte: Elaboração própria

A falta de controle de processo ocorre quando a média desvia do valor  $\mu$  ou quando a variância aumenta com relação ao valor mínimo possível  $\sigma^2$ .

Suponha-se que tenha ocorrido uma perturbação na média do processo, deslocando-se de  $\mu_0$  para  $\mu_0 + \delta\sigma_0$ , entre a  $i$ -ésima e a  $(i+1)$ -ésima inspeções, ou seja,

$$\bar{X}_i \sim \begin{cases} N(\mu; \sigma_x^2), i = 1, 2, 3, \dots, I \\ N(\mu + \delta\sigma; \sigma_x^2), i = I + 1, I + 2, \dots \end{cases}$$

onde  $\mu$  = média do processo,  $\delta$  é um parâmetro de perturbação  $\delta \neq 0$  e  $\sigma_x^2 = \frac{\sigma^2}{n}$ .

Como a variabilidade natural é inerente ao processo, tal perturbação pode não ser

percebida imediatamente pelo operador, principalmente em situações em que os limites de tolerâncias ou especificações existentes são folgados com relação ao processo e, nestas situações pequenas perturbações na média do processo não provocam aumento sensível na frequência com que itens não conformes são fabricados. Com a não percepção pelo operador dessa perturbação podem-se ocasionar perdas consideráveis, se não detectadas rapidamente.

O modelo de *Shewhart*, com a largura  $L = 3$ , apresenta excelente proteção contra alarmes falsos, porém, é lento na detecção de pequenas variações no processo, modelos com rapidez na detecção de pequenas variações, como Média Móvel Ponderada Exponencialmente e Cusum, podem ser vistos em Hunter (1986) e Alexandre (1989). Como ilustração, considere a Tabela 7 onde a média do processo é  $\mu = 100$ ,  $\sigma^2 = 100$  e  $\mu_l = \mu + \delta\sigma^2$ , com  $\delta = 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ .

Tabela 7: Desempenho do modelo de *Shewhart* em relação a pequenas perturbações

Variação $\delta$	Prob. Detecção	NMA
0,005	0,00270	370,37
0,010	0,00270	370,37
0,020	0,00272	367,64
0,030	0,00275	363,64
0,040	0,00279	358,42
0,050	0,00284	352,11

Fonte: Elaboração própria

onde NMA é o número médio de amostras entre a ocorrência da falha e sua detecção, calculado a partir da distribuição geométrica conforme mostrado na seção 2.2.1 do capítulo 2.

Observa-se que entre 0,005 e 0,01 o modelo apresenta o mesmo valor de NMA, variando pouco entre 0,02 e 0,05, isso comprova a lentidão do modelo em relação às pequenas perturbações.

### 5.1 Desempenho e eficiência do Gráfico por Grupos

Nesta seção será abordado o desempenho e a eficiência do gráfico da média em relação a uma perturbação ocorrida na média do processo, na variância do processo e as perturbações conjuntamente ocorridas na média e na variância.

### 5.1.1 Alteração na média do processo

Considere  $\mu$  a média da variável  $X$  e seja  $\mu_1$  a nova média do processo após a ocorrência de uma perturbação. Para desenvolver a análise do desempenho e eficiência na média do processo para o gráfico por grupo, será considerada, sem perda de generalidade, a situação em que a média do processo é  $\mu = 100$ ,  $\sigma^2 = 100$  e  $\mu_1 = \mu + \delta\sigma$ , com  $\delta > 0$  e  $n = 4$ , para valores de  $k = 1, 3, 5$ , e  $10$  e seus respectivos valores de  $v$  (limites alargados), para o modelo de *Shewhart*  $v=L=3$ . O cálculo do desempenho está apresentado na Tabela 8.

A demonstração da probabilidade de detecção da perturbação é semelhante à demonstração da seção 3.2.1.

$$\begin{aligned}
 \theta &= P(\text{detecção}) \\
 &= P[\bar{X} \notin (LIC, LSC) \mid \mu_1, v, k, \sigma]^k \\
 &= 1 - P[\bar{X} \in (LIC, LSC) \mid \mu_1, v, k, \sigma]^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC_{\bar{X}} < \bar{X} < LSC_{\bar{X}}) \mid \mu_1]\}^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC - \mu_1)/\sigma_{\bar{X}} < Z < (LSC - \mu_1)/\sigma_{\bar{X}}]\}^k \quad (1) \\
 &= 1 - \{P[(\mu - v\sigma_{\bar{X}} - (\mu + \delta\sigma))/\sigma_{\bar{X}} < Z < (\mu + v\sigma_{\bar{X}} - (\mu + \delta\sigma))/\sigma_{\bar{X}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[(-v\frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \delta\sigma)/\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < Z < (v\frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \delta\sigma)/\frac{\sigma}{\sqrt{n}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[-v - \delta\sqrt{n} < Z < v - \delta\sqrt{n}]\}^k
 \end{aligned}$$

onde  $k$  representa o número de fluxos.

A eficiência relativa é dada por:  $\frac{NMA_{SHEWHART}}{NMA_{GG}}$  (2)

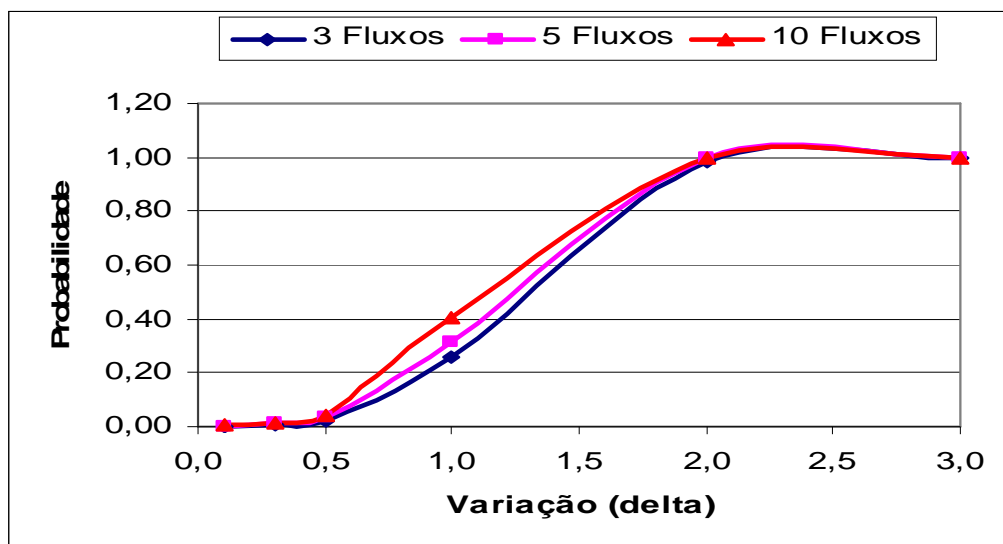
Tabela 8: Desempenho e eficiência entre o modelo de *Shewhart* e o GG para  $\bar{X}$  com alteração na média do processo

Variação $\delta$	NMA SHEWHART			NMA GG			Eficiência Relativa		
	3	5	10	3	5	10	3	5	10
0,1	102,881	61,958	31,221	297,619	289,855	286,533	0,35	0,21	0,11
0,3	40,209	24,324	12,419	101,317	94,697	85,179	0,39	0,26	0,15
0,5	14,970	9,189	4,859	43,290	29,180	24,552	0,35	0,32	0,20
1,0	2,473	1,729	1,216	3,923	3,202	2,473	0,63	0,54	0,49
2,0	1,004	1,000	1,000	1,016	1,002	1,000	1,00	1,00	1,00
3,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00	1,00	1,00

Comparando-se o Gráfico por Grupos em relação ao modelo de *Shewhart*, observa-se que para perturbações entre  $\delta = 0,1$  e  $\delta = 1,0$  o modelo de *Shewhart* apresenta uma melhor eficiência em relação ao modelo por Grupos. Para perturbações acima de 2,0 os modelos mantêm a mesma eficiência.

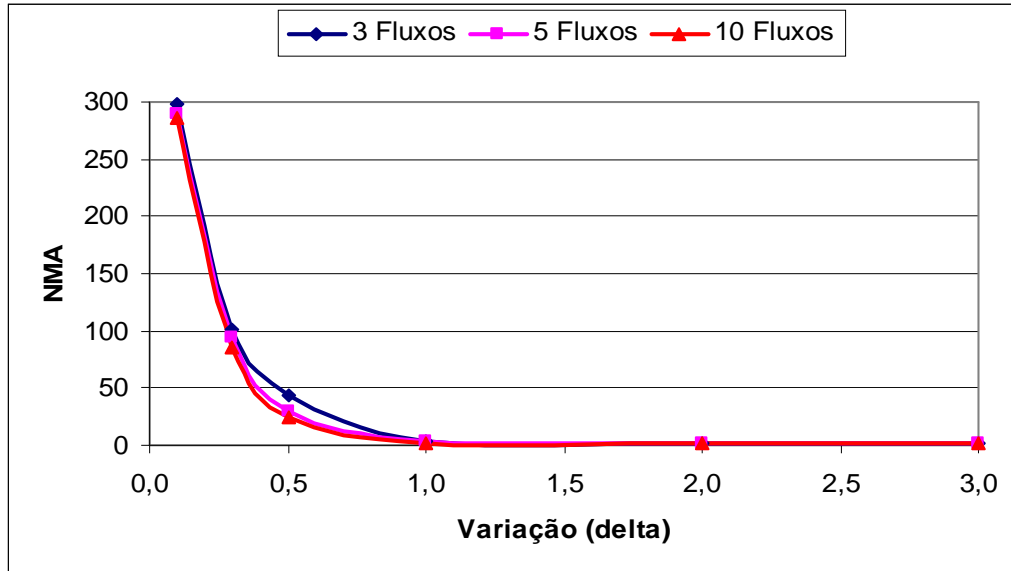
Os Gráficos 8, 9 e 10 apresentam a probabilidade de detecção, o NMA e a eficiência relativa quando existe uma alteração na média do processo em função do número de fluxos.

GRÁFICO 8: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO (ALTERAÇÃO NA MÉDIA) – GG



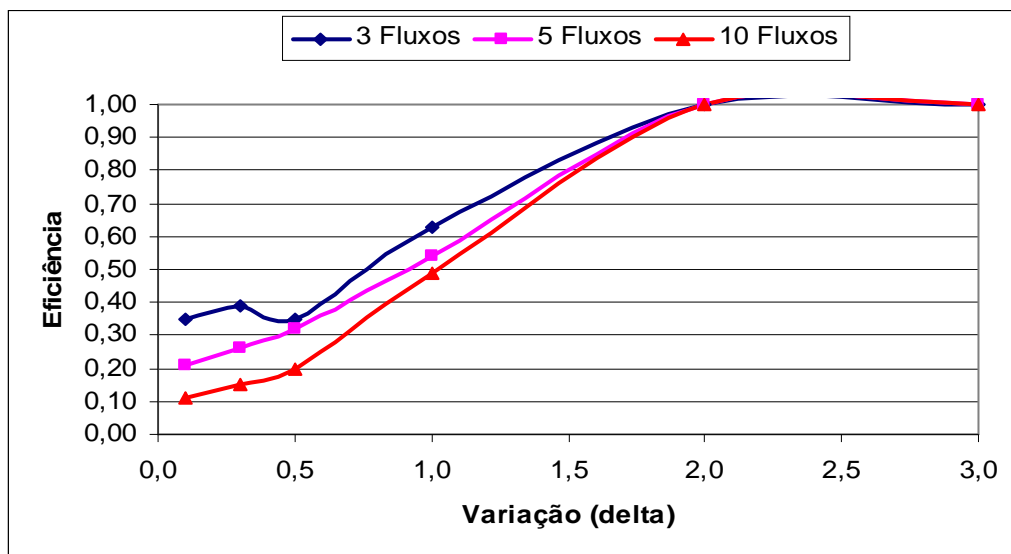
Tanto no modelo tradicional de *Shewhart* quanto no GG observa-se que com o aumento do número de fluxos há também um aumento da probabilidade de se detectar uma alteração, isto é, com 10 fluxos a probabilidade de se detectar, por exemplo, uma variação de  $1,0\sigma$  é maior que com 3 ou 5 fluxos.

GRÁFICO 9: NMA VERSUS VARIAÇÃO (ALTERAÇÃO NA MÉDIA) - GG



Nota-se que à medida que aumenta o número de fluxos ocorre uma redução no NMA , independente da variação.

GRÁFICO 10: EFICIÊNCIA RELATIVA (ALTERAÇÃO NA MÉDIA)



Quanto à eficiência relativa em relação ao modelo de *Shewhart*, para perturbações abaixo de  $2,0\sigma$ , este modelo é mais eficiente que o por grupo. A partir de  $2,0\sigma$  os modelos se



equivalem, provavelmente, isto se deve ao fato de que no GG a largura L dos limites de controle é maior que o do modelo de *Shewhart*.

### 5.1.2 Alteração na variância do processo

Para a análise do desempenho e eficiência no gráfico por grupos de  $\bar{X}$ , com a alteração somente da variância do processo, será considerada, sem perda de generalidade, a situação em que a média do processo é  $\mu = 100$ ,  $\sigma^2 = 100$  e  $\sigma_1^2 = \lambda^2 \sigma^2$ , com  $\lambda > 1$  e  $n = 4$ , para valores de  $k = 1, 3, 5$  e  $10$  e seus respectivos valores de  $v$  (limites alargados). O cálculo do desempenho está apresentado na Tabela 9.

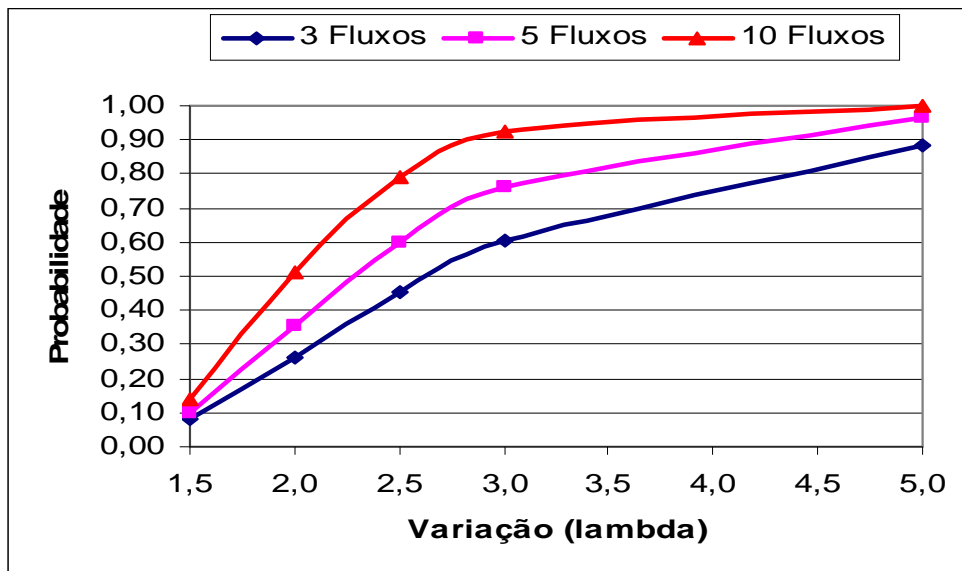
$$\begin{aligned}
 \theta &= P[\bar{X} \notin (LIC, LSC) | \mu, v, k, \sigma_1]^k \\
 &= 1 - P[\bar{X} \in (LIC, LSC) | \mu, v, k, \sigma_1]^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC_{\bar{X}} < \bar{X} < LSC_{\bar{X}}) | \sigma_1]\}^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC - \mu) / \sigma_{\bar{X}} < Z < (LSC - \mu) / \sigma_{\bar{X}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[(\mu - v\sigma_{\bar{X}} - \mu) / \sigma_{\bar{X}} < Z < (\mu + v\sigma_{\bar{X}} - \mu) / \sigma_{\bar{X}}]\}^k \quad (3) \\
 &= 1 - \{P[(-v \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) / \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} < Z < (v \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) / \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[-\frac{v}{\lambda} < Z < \frac{v}{\lambda}]\}^k
 \end{aligned}$$

Tabela 9: Desempenho e eficiência entre o modelo de *Shewhart* e o GG para  $\bar{X}$  com alteração na variância do processo

Variação $\lambda$	NMA SHEWHART			NMA GG			Eficiência Relativa		
	3	5	10	3	5	10	3	5	10
1,5	7,644	4,814	2,686	12,639	9,987	7,085	0,53	0,48	0,38
2,0	2,860	1,954	1,313	3,795	2,826	1,963	0,75	0,69	0,67
2,5	1,839	1,371	1,079	2,194	1,666	1,267	0,84	0,82	0,85
3,0	1,467	1,174	1,022	1,650	1,311	1,083	0,89	0,89	0,94
5,0	1,101	1,019	1,000	1,134	1,036	1,002	0,97	0,98	1,00

Os Gráficos 11, 12 e 13 apresentam a probabilidade de detecção, o NMA e a eficiência relativa quando existe uma alteração na variância do processo em função do número de fluxos.

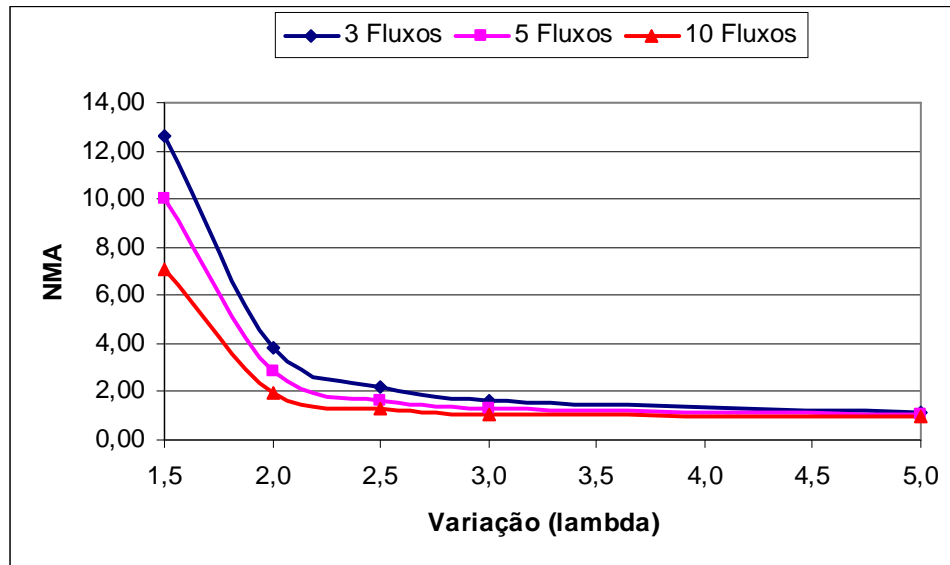
GRÁFICO 11: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO (ALTERAÇÃO NA VARIÂNCIA) - GG



Em relação à probabilidade de detecção com alteração na variância, o mesmo comportamento em relação à alteração na média foi observado, isto é, quanto maior o número de fluxos maior a probabilidade de se detectar uma perturbação.

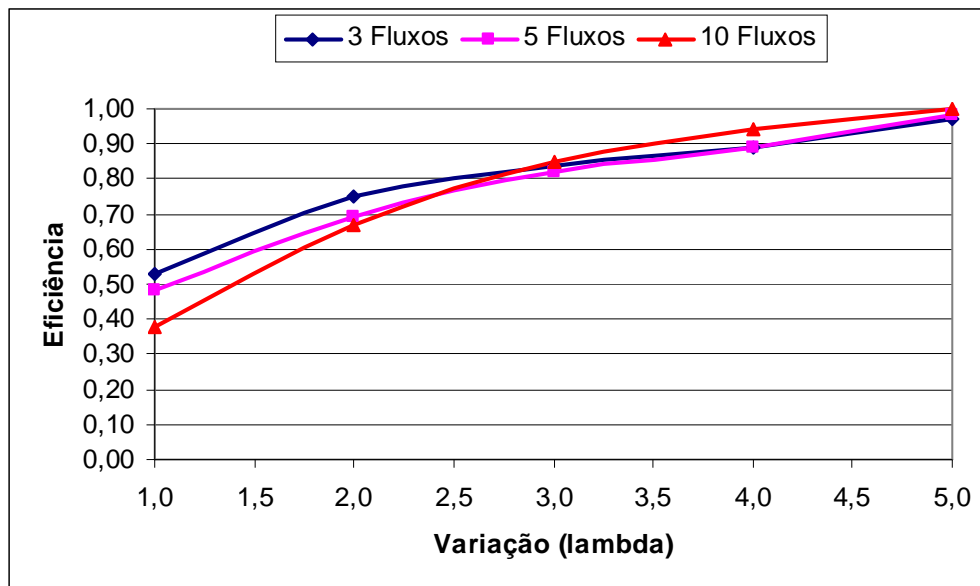
Observa-se, portanto, que para um maior número de fluxos menor o número de inspeções necessárias para se detectar perturbações.

GRÁFICO 12: NMA VERSUS VARIAÇÃO (ALTERAÇÃO NA VARIÂNCIA) - GG



Observa-se que a partir de  $5,0\sigma$  os dois modelos apresentam eficiência relativa equivalentes.

GRÁFICO 13: EFICIÊNCIA RELATIVA (ALTERAÇÃO NA VARIÂNCIA) - GG



### 5.1.3 Alteração na média e na variância do processo conjuntamente

Na Tabela 10 são apresentados alguns resultados de desempenho e eficiência no

gráfico X-barra, quando ocorre uma perturbação na variância e na média conjuntamente. Será considerada, sem perda de generalidade, a situação em que a média do processo é  $\mu = 100$ ,  $\sigma^2 = 100$  e  $\mu_1 = \mu + \delta\sigma$ , com  $\delta > 0$ ,  $\sigma_1^2 = \lambda^2\sigma^2$  e  $n = 4$ , para valores de  $k = 1, 3, 5$ , e  $10$  e seus respectivos valores de  $v$  (limites alargados). Apresenta-se também, a demonstração do cálculo da probabilidade de detecção para as duas perturbações conjuntas.

$$\begin{aligned}
 \theta &= P[\bar{X} \notin (LIC, LSC) | \mu_1, \sigma_1]^k \\
 &= 1 - P[\bar{X} \in (LIC, LSC) | \mu_1, \sigma_1]^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC_{\bar{X}} < \bar{X} < LSC_{\bar{X}}) | \mu_1, \sigma_1]\}^k \\
 &= 1 - \{P[(LIC - \mu_1)/\sigma_{\bar{X}} < Z < (LSC - \mu_1)/\sigma_{\bar{X}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[\mu - v\sigma_{\bar{X}} - (\mu + \delta\sigma)/\sigma_{\bar{X}} < Z < \mu + v\sigma_{\bar{X}} - (\mu + \delta\sigma)/\sigma_{\bar{X}}]\}^k \quad (4) \\
 &= 1 - \{P[-\frac{\sigma}{\sqrt{n}}(v + \delta\sqrt{n})/\frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} < Z < \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(v - \delta\sqrt{n})/\frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}]\}^k \\
 &= 1 - \{P[-\frac{(v + \delta\sqrt{n})}{\lambda} < Z < \frac{(v - \delta\sqrt{n})}{\lambda}]\}^k
 \end{aligned}$$

Tabela 10: Desempenho e eficiência entre o modelo de *Shewhart* e o GG para  $\bar{X}$  com alteração na média e variância do processo conjuntamente

$\delta$	$\lambda$	NMA SHEWHART			NMA GG			Eficiência Relativa		
		3	5	10	3	5	10	3	5	10
0,1	1,5	7,387	4,991	2,603	12,181	9,632	6,621	0,606	0,533	0,393
	2,0	2,823	1,933	1,304	3,738	2,784	1,935	0,755	0,694	0,674
	3,0	1,463	1,172	1,022	1,636	1,314	1,084	0,894	0,892	0,943
	5,0	1,101	1,019	1,000	1,134	1,036	1,002	0,971	0,984	0,998
0,3	1,5	5,639	3,601	2,091	8,743	6,776	4,723	0,645	0,531	0,443
	2,0	2,577	1,789	1,242	3,338	2,491	1,750	0,772	0,718	0,710
	3,0	1,439	1,160	1,019	1,610	1,286	1,073	0,894	0,902	0,950
	5,0	1,099	1,019	1,000	1,131	1,035	1,022	0,972	0,985	0,998
0,5	1,5	3,844	2,533	1,578	5,676	4,268	2,971	0,677	0,593	0,531
	2,0	2,215	1,581	1,156	2,775	2,088	1,504	0,798	0,757	0,769
	3,0	1,395	1,139	1,016	1,537	1,252	1,060	0,908	0,910	0,958
	5,0	1,096	1,018	1,000	1,126	1,033	1,002	0,973	0,986	0,998
1,0	1,5	1,720	1,306	1,058	2,138	1,675	1,293	0,804	0,780	0,818
	2,0	1,474	1,178	1,023	1,688	1,352	1,107	0,873	0,871	0,924
	3,0	1,245	1,071	1,004	1,337	1,135	1,021	0,931	0,944	0,983
	5,0	1,080	1,013	1,000	1,106	1,025	1,001	0,976	0,988	0,999
2,0	1,5	1,016	1,001	1,000	1,036	1,006	1,000	0,981	0,995	1,000
	2,0	1,030	1,003	1,000	1,052	1,010	1,000	0,980	0,993	1,000
	3,0	1,049	1,006	1,000	1,069	1,014	1,000	0,981	0,992	1,000
	5,0	1,041	1,005	1,000	1,054	1,009	1,000	0,988	0,996	1,000

Os Gráficos 14 a 25 apresentam a probabilidade de detecção, o NMA e a eficiência relativa quando existe uma alteração na média e na variância do processo

conjuntamente em função do número de fluxos.

GRÁFICO 14: PROB. DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 0,1)

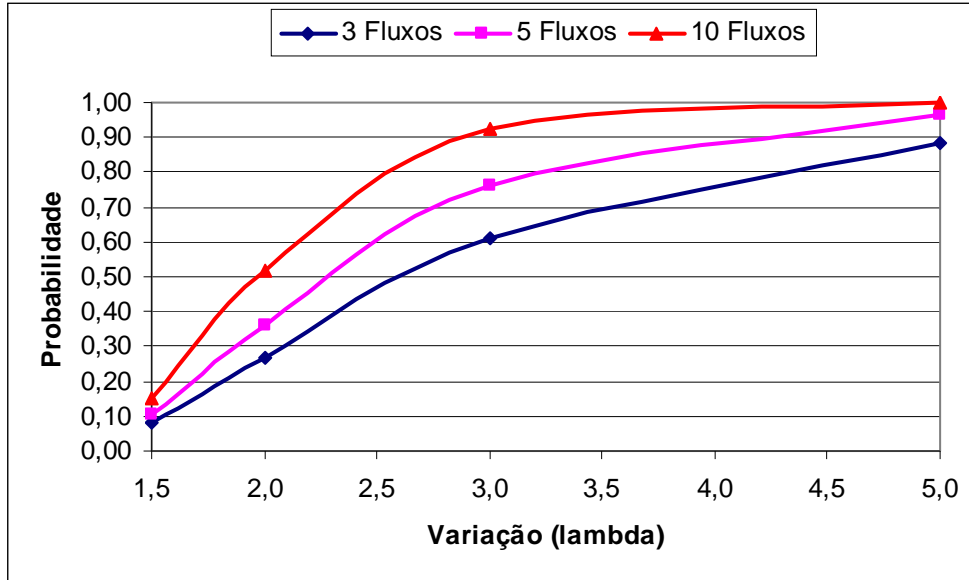


GRÁFICO 15: PROB. DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 0,5)

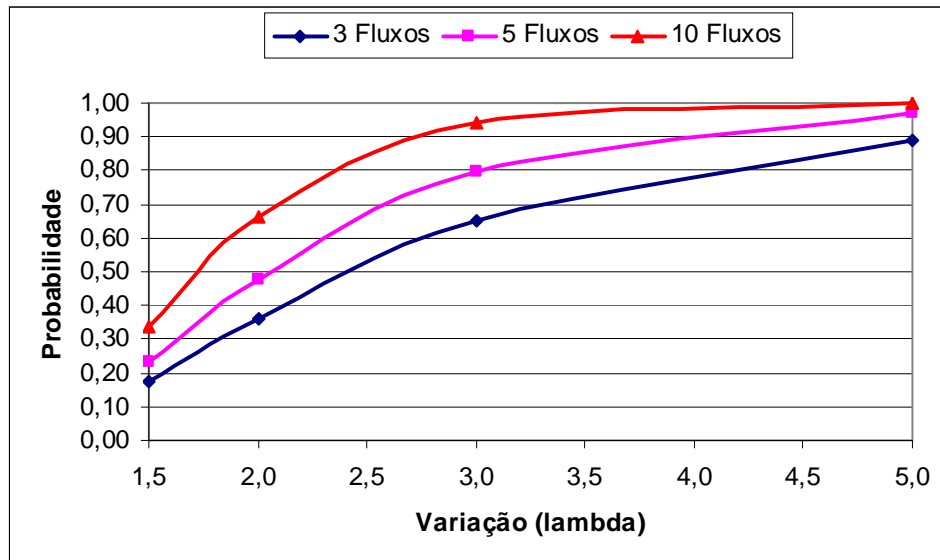


GRÁFICO 16: PROB. DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 1,0)

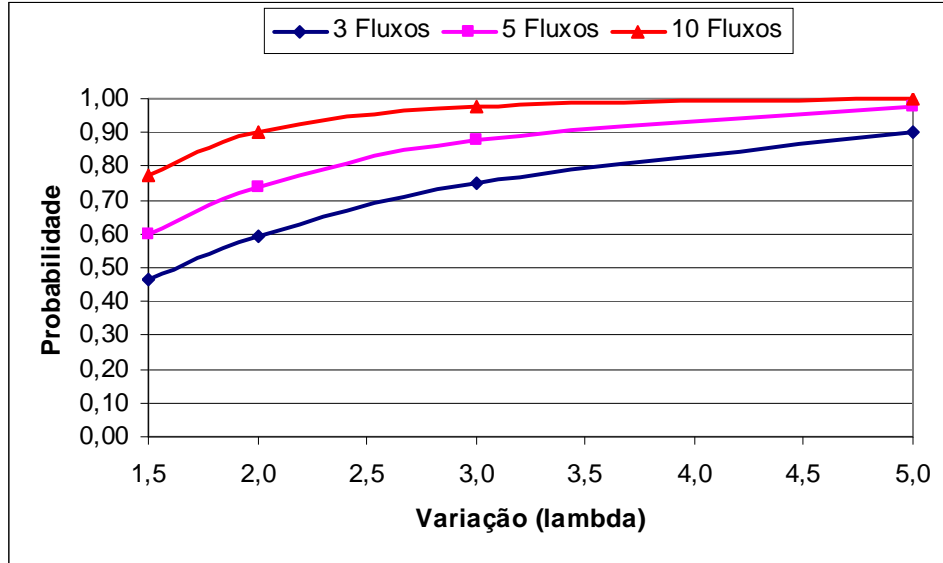


GRÁFICO 17: PROB. DE DETECÇÃO VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 2,0)

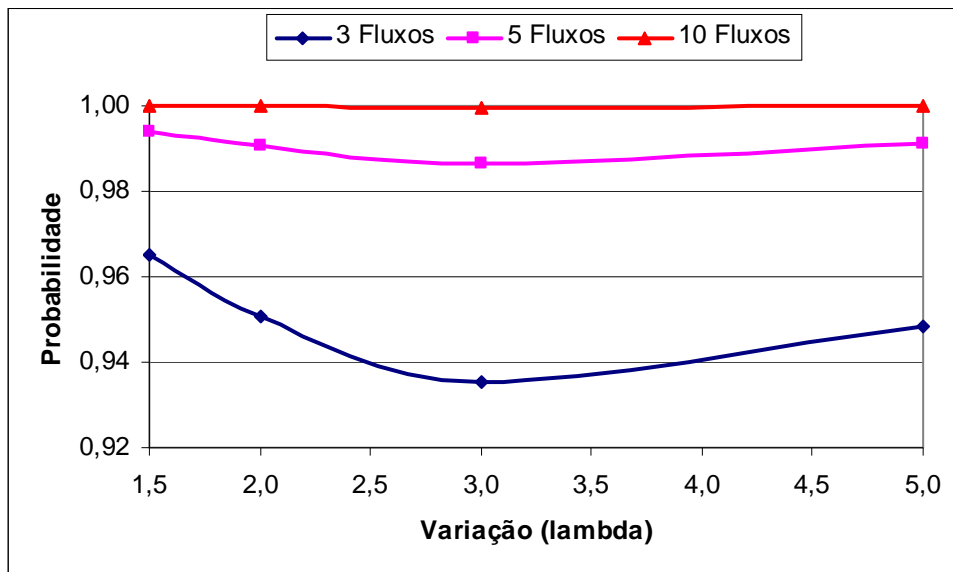


GRÁFICO 18: NMA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA (DELTA = 0,1)

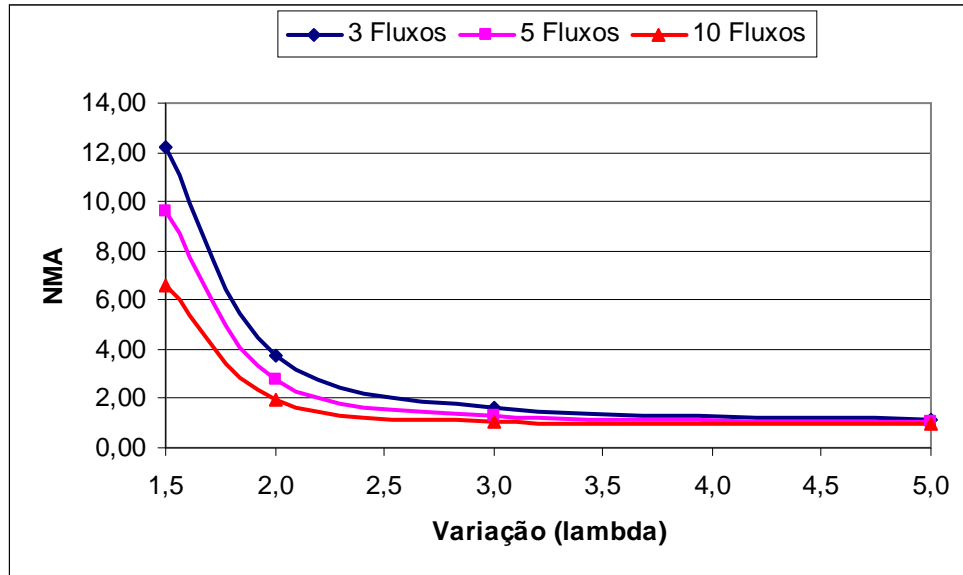


GRÁFICO 19: NMA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA (DELTA = 0,5)

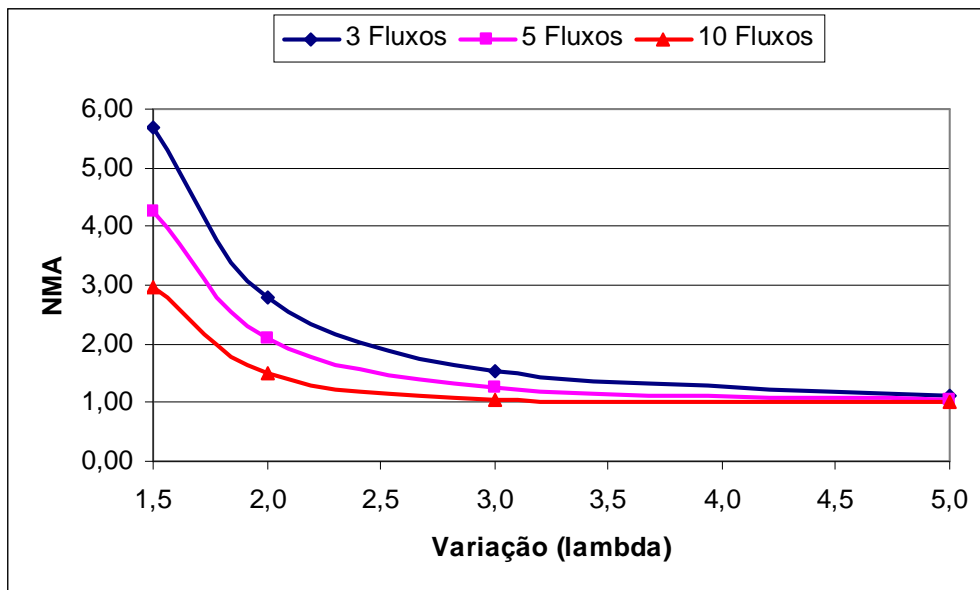


GRÁFICO 20: NMA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA (DELTA = 1,0)

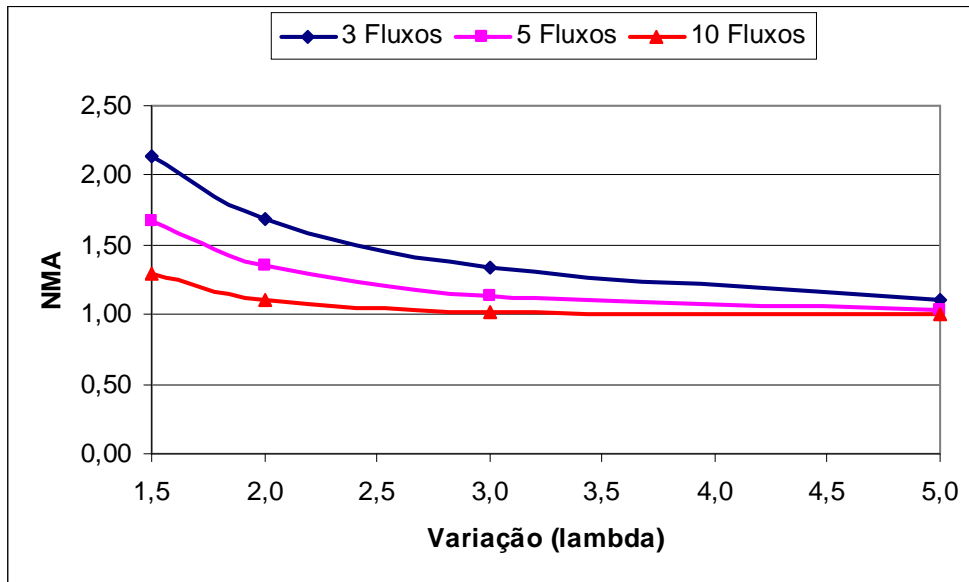


GRÁFICO 21: NMA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA (DELTA = 2,0)

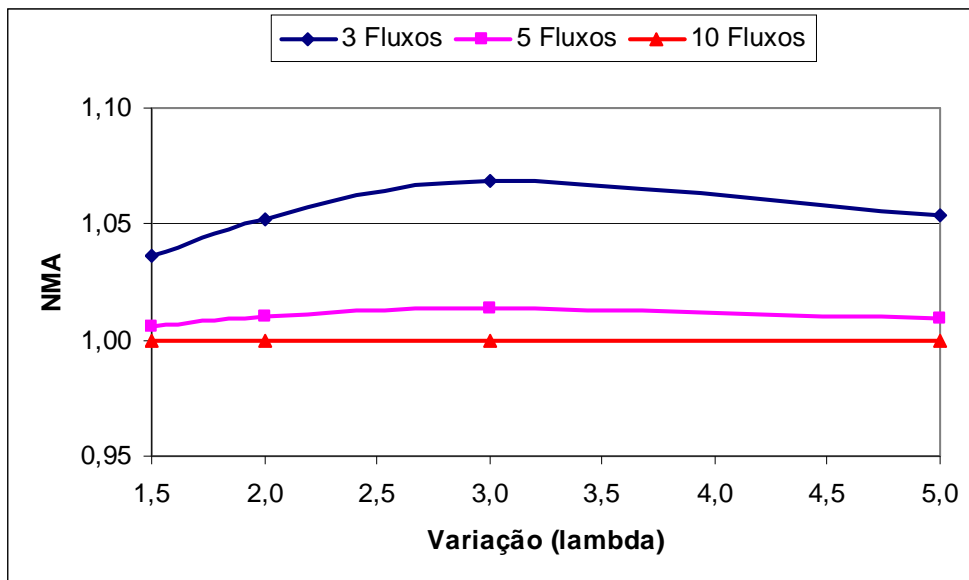




GRÁFICO 22: EFICIÊNCIA RELATIVA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 0,1)

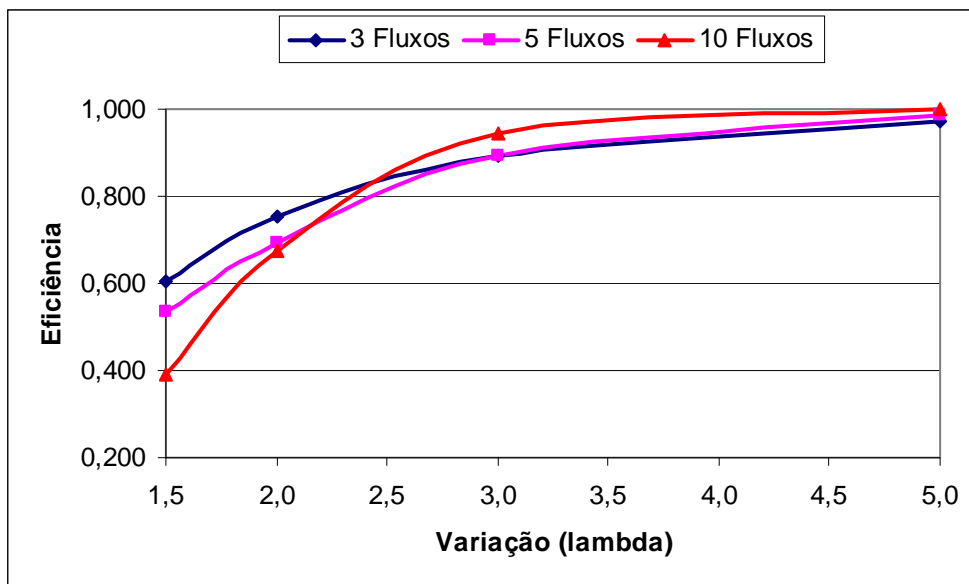


GRÁFICO 23: EFICIÊNCIA RELATIVA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 0,5)

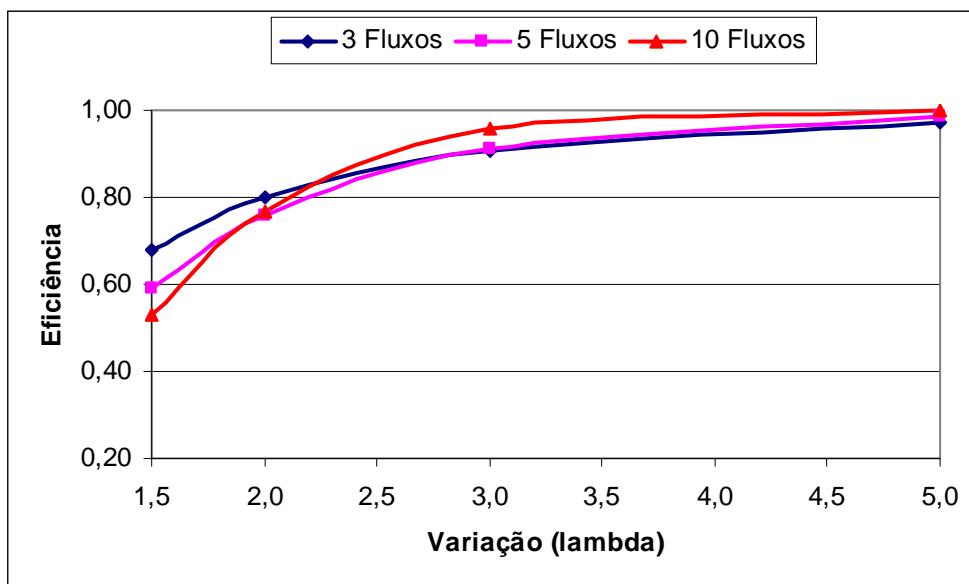


GRÁFICO 24: EFICIÊNCIA RELATIVA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 1,0)

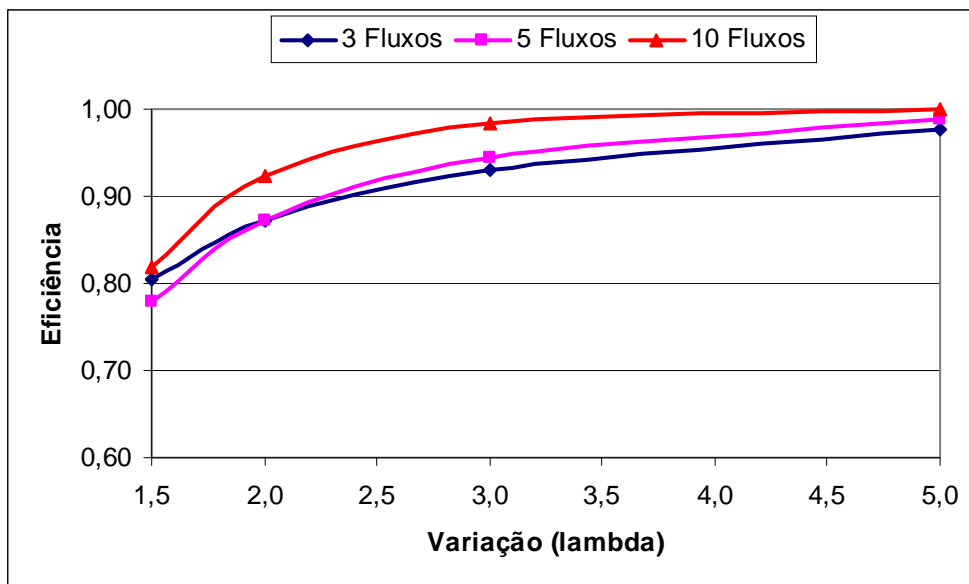
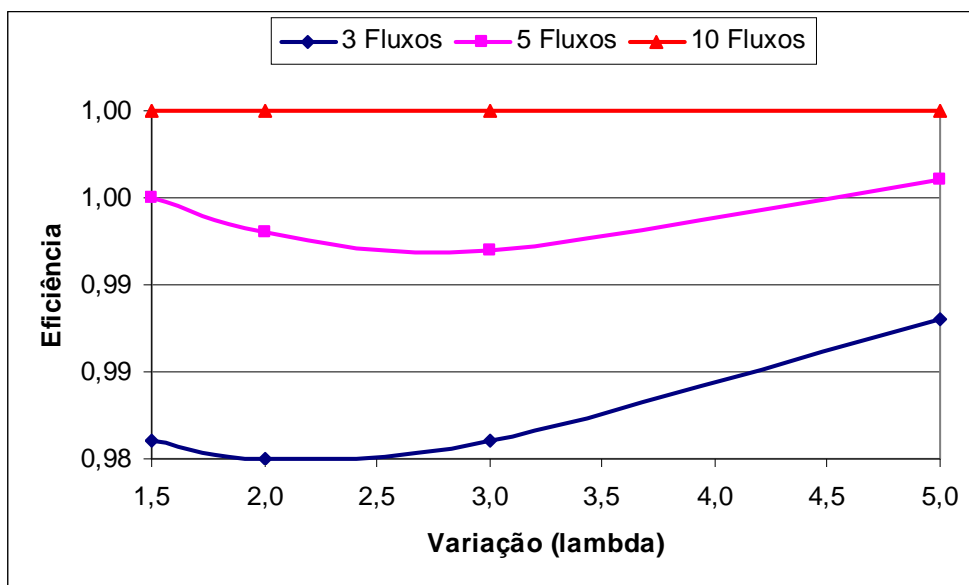


GRÁFICO 25: EFICIÊNCIA RELATIVA VERSUS VARIAÇÃO CONJUNTA  
(DELTA = 2,0)



Para qualquer valor de  $\delta$  e  $\lambda \geq 5$ , existe uma equivalência próxima. A equivalência

perfeita ocorre quando  $\delta = 2$  e o número de fluxos é igual a 10.

De acordo com os resultados acima à medida que aumenta o número de fluxos, a probabilidade de detecção de mudança no processo aumenta e o NMA diminui, e conseqüentemente o gráfico por grupos tenderá a ter uma eficiência equivalente ao modelo de *Shewhart* para um número maior de fluxos.

No caso de variação conjunta de  $\mu$  e  $\sigma$ , para uma quantidade de fluxos menor ou igual a 5 e pequenas perturbações o modelo de *Shewhart* é o recomendado, para uma quantidade superior a 5 fluxos e perturbações maiores ( $\delta > 1,0$ ) o gráfico por grupos poderá ser adotado, pois, a sua eficiência tende a ser equivalente ao modelo de *Shewhart*.

#### 5.1.4 Eficiência relativa equivalente entre *Shewhart* e GG em função do tamanho de amostra

Nessa seção será demonstrada a expressão que proporciona que o GG tenha a mesma eficiência do modelo de *Shewhart* em função do tamanho da amostra ( $n$ ). De acordo com (1), tem-se:

$$P(\text{detecção}) = 1 - \{P[-v - \delta\sqrt{n} < Z < v - \delta\sqrt{n}]\}^k$$

Para que o GG mantenha a mesma eficiência do modelo de *Shewhart* é necessário que as probabilidades de detecção dos dois modelos sejam iguais:

$$P(\text{detecção})_{GG} = P(\text{detecção})_{SHEWHART}, \text{ assim}$$

$$1 - \{P[-v_{GG} - \delta\sqrt{n_{GG}} < Z < v_{GG} - \delta\sqrt{n_{GG}}]\}^k = 1 - \{P[-v_S - \delta\sqrt{n_S} < Z < v_S - \delta\sqrt{n_S}]\}^k$$

$$\text{Isto equivale a dizer que: } v_G - \delta\sqrt{n_G} = v_S - \delta\sqrt{n_S}$$

onde  $v_G$  = Largura do intervalo do GG,  $v_S$  = Largura do intervalo modelo de *Shewhart*,  $n_G$  = tamanho de amostra GG e  $n_S$  = tamanho de amostra *Shewhart*.

Como ilustração, considera-se a situação em que  $k = 3$ ,  $v_G = 3,3198$ ,  $v_S = 3,0$ ,  $n_S = 4$  e  $\delta = 0,3$ :

---

$$3,3198 - 0,3\sqrt{n_G} = 3,0 - 0,3\sqrt{4}$$

$$n_G = \frac{3,3198 - 2,4}{0,3}$$

$$n_G = 9,4$$

Para o GG, quando  $n_G = 9,4$  e  $k = 3$ , tem-se:

$$\text{Prob. de detecção}_{GG} = 0,02440 \rightarrow NMA = \frac{1}{0,02440} = 40,986.$$

Para o modelo de *Shewhart* com  $n = 4$ , tem-se:

$$\text{Prob. de detecção}_{SHEWHART} = 0,02487 \rightarrow NMA = \frac{1}{0,02487} = 40,209.$$

### 6.1 Conclusão

O gráfico de controle por grupos tem se mostrado como uma boa alternativa ao modelo de *Shewhart* na aplicação em processos paralelos, devido ao fato que o mesmo diminui o número de gráficos de controle necessários ao monitoramento do processo. O gráfico por grupo utiliza somente um par de gráficos de controle  $\bar{X}$  e R ou S para monitorar o processo inteiro, em vez de empregar um par para cada fluxo de processo.

Os objetivos específicos estabelecidos no trabalho foram atingidos. Abaixo, apresentam-se alguns comentários a respeito de cada um dos objetivos alcançados:

- Contextualizar o Controle Estatístico de Processo dentro da Logística de Produção: este objetivo foi estabelecido no capítulo 2, onde se abordou os conceitos e definições da logística e logística de produção; inseriu-se neste capítulo o controle estatístico de processo como ferramenta na medição da confiabilidade do processo e na diminuição do tempo de manufatura de produto ocasionados por paradas de máquinas para ajuste no processo.
- Estabelecer a fundamentação teórica centrada na aplicação dos Gráficos de Controles por Grupos em processos paralelos: este objetivo foi atingido no capítulo 3, onde se estabeleceu o conceito de processos paralelos e a diferença entre processos paralelos independentes e dependentes; exploraram-se os conhecimentos teóricos dos gráficos por grupos, detalhando o uso de limites de controle mais largos.
- Determinar o desempenho do Gráfico de Controle por Grupos em relação à mudança da média do processo e da variância: este objetivo foi alcançado no capítulo 5, observando-se que à medida que aumenta a perturbação e o número de fluxos os modelos se equivalem.
- Determinar o desempenho do Gráfico de Controle por Grupos em relação à mudança da média do processo e da variância conjuntamente: objetivo atingido também no capítulo 5. A medida que aumenta a perturbação e o número de fluxos, o NMA diminui para detecção de alteração na média do processo.

- 
- Determinar a eficiência do Gráfico de Controle por Grupos em relação ao modelo de *Shewhart*: este objetivo foi alcançado no capítulo 5, onde se determinou a eficiência do gráfico por grupo utilizando os limites alargados. Nesse estudo concluiu-se à medida que aumenta o número de fluxos a eficiência do Gráfico por Grupos tende a ser equivalente ao modelo tradicional de *Shewhart*.

Como todos os objetivos específicos foram alcançados, pode-se afirmar que o objetivo geral também foi atingido.

Desde que o processo não seja crítico, isto é, os limites de especificações não estejam tão próximos aos limites de controle, para pequenas variações e poucos fluxos o Gráfico por Grupos (GG) poderá ser adotado, pois, os custos associados ao uso do GG são bem menores do que a utilização de vários gráficos do modelo de *Shewhart*.

Uma outra alternativa é redimensionar o tamanho de amostra para tornar os dois modelos equivalentes, analisando os custos amostrais envolvidos no processo.

## **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Algumas sugestões podem ser recomendadas para possíveis trabalhos futuros, com o objetivo de ampliar a análise desenvolvida por este trabalho:

- Desenvolver os gráficos de controle por grupo baseado na distribuição de probabilidade do máximo e do mínimo;
- Estudar o gráfico de controle por grupos aplicados a processos paralelos dependentes, estabelecendo um estudo de correlação.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, J.W.C. **A média móvel ponderada exponencialmente como uma alternativa a  $\bar{X}$  na construção de gráficos de controle.** Dissertação de Mestrado, Campinas, São Paulo. 1989.

ALEXANDRE, J.W.C., RODRIGUES, L.F.M., RODRIGUES, F.P., FREITAS, S.M. **Aplicação do gráfico de controle por grupos em uma indústria manufatureira do Estado do Ceará.** Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, CD-ROM. Fortaleza, CE. 2006.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial.** São Paulo: Atlas, 2001.

BOYD, D.R. **Applying the group chart for X-barra and R.** Industrial Quality Control, 7, 22-25.1950.

BRYMAN, A. **Research methods and organizational studies.** Londres: Unwin Iman LTDA.,1989.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada: supply chain.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

COSTA, A. F. B., EPPRECHT, E. K., CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade.** 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2005.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. Disponível em <<http://www.cscmp.org>>. Acesso em 30 de janeiro de 2009.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1994.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1991.

---

GOMES, C. F. S., RIBEIRO, P. C. C. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia de informação.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GRIMSHAW, S. D., BRYCE, G. R. **Control limits for group charts.** Quality Engineering, 12 (2), 177-184. 1999.

HUNTER, J. S. **The exponentially weighted moving average.** Journal of Quality Technology 18, no. 4, p. 203-209.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 1999.

LONGO, R. M. J. **A qualidade total começa e termina com educação.** Brasília: IPEA, 1995.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento.** 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control.** 4ª. ed. New York, John Wiley & Sons, 2001.

MORTELL, R. R., RUNGER, G. C. **Statistical process control of multiple stream processes.** Journal of Quality Technology, 27, 1-22, 1995.

ROCHA, R. A. **Avaliação das variações ocorridas no processo de inventário permanente e periódico – Estudo de Caso: Empreendimentos Pague Menos S/A.** Dissertação de Mestrado, Fortaleza, Ceará. 2005.

RAMOS, A.W. **CEP para processos contínuos e em bateladas.** 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA., 2000.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** 22ª ed. São Paulo: Cortez, 2003.



---

SEVERO, J. **Administração de logística integrada, materiais, pcp e marketing.** Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

SHEWHART, W. A. **Economic control quality of manufacturing product.** New York: Van Nostrand, 1931.

**APÊNDICE A: Planilha de Dados Rolhas Metálicas.**

<b>Grupo</b>	<b>Punção</b>	<b>Batida 1</b>	<b>Batida 2</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>	<b>Amplitude</b>
1	1	6,02	6,02	6,020	0,00
	2	6,03	6,02	6,025	0,01
	3	6,02	6,02	6,020	0,00
	4	6,03	6,03	6,030	0,00
	5	5,99	5,96	5,975	0,03
	6	6,02	5,99	6,005	0,03
	7	5,98	5,98	5,980	0,00
	8	6,02	6,04	6,030	0,02
	9	5,99	5,98	5,985	0,01
	10	5,98	5,97	5,975	0,01
	11	5,99	5,99	5,990	0,00
	12	6,02	6,00	6,010	0,02
	13	6,03	6,02	6,025	0,01
	14	6,00	5,98	5,990	0,02
	15	6,02	6,01	6,015	0,01
	16	6,00	5,98	5,990	0,02
	17	6,00	6,00	6,000	0,00
	18	6,02	6,00	6,010	0,02
	20	6,00	5,99	5,995	0,01
	21	5,99	5,98	5,985	0,01
	22	6,01	6,00	6,005	0,01
	23	6,01	6,01	6,010	0,00
	24	6,00	5,98	5,990	0,02
	25	6,01	6,00	6,005	0,01
	26	5,99	5,98	5,985	0,01
	27	5,99	5,98	5,985	0,01
	<b>Grupo</b>	<b>Punção</b>	<b>Batida 1</b>	<b>Batida 2</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
18	1	6,01	6,04	6,025	0,03
	2	6,02	6,04	6,030	0,02
	3	6,02	6,03	6,025	0,01
	4	6,03	6,04	6,035	0,01
	5	5,98	5,99	5,985	0,01
	6	6,00	6,03	6,015	0,03
	7	5,98	6,00	5,990	0,02
	8	6,03	6,05	6,040	0,02
	9	5,98	6,01	5,995	0,03
	10	5,98	6,00	5,990	0,02
	11	5,99	6,00	5,995	0,01
	12	6,02	6,04	6,030	0,02
	13	6,03	6,05	6,040	0,02
	14	5,99	6,02	6,005	0,03
	15	6,01	6,03	6,020	0,02
	16	5,98	5,99	5,985	0,01
	17	5,99	6,01	6,000	0,02
	18	6,01	6,03	6,020	0,02
	20	6,01	6,03	6,020	0,02
	21	5,99	6,02	6,005	0,03
	22	6,01	6,02	6,015	0,01
	23	6,01	6,03	6,020	0,02
	24	6,01	6,01	6,010	0,00
	25	6,02	6,02	6,020	0,00
	26	6,00	6,01	6,005	0,01
	27	5,99	5,99	5,990	0,00

**APÊNDICE B: Planilha de Dados das 3 laterais do fogão**

Grupo	Amostra	Lateral	Medida 1	Medida 2	Medida 3	$\bar{X}$	Amplitude
1	1	1	50	60	60	56,66667	10
	2	2	56	61	54	57,00000	7
	3	3	61	72	67	66,66667	11
2	4	1	52	50	41	47,66667	11
	5	2	57	51	49	52,33333	8
	6	3	63	47	47	52,33333	16
3	7	1	48	47	50	48,33333	3
	8	2	53	46	49	49,33333	7
	9	3	56	48	45	49,66667	11
4	10	1	44	53	44	47,00000	9
	11	2	49	46	59	51,33333	13
	12	3	53	69	59	60,33333	16
5	13	1	41	43	52	45,33333	11
	14	2	60	55	48	54,33333	12
	15	3	62	66	55	61,00000	11
6	16	1	45	43	47	45,00000	4
	17	2	55	50	52	52,33333	5
	18	3	60	50	45	51,66667	15
7	19	1	45	44	48	45,66667	4
	20	2	42	42	52	45,33333	10
	21	3	59	41	61	53,66667	10
8	22	1	39	45	56	46,66667	17
	23	2	61	52	48	53,66667	13
	24	3	62	63	68	64,33333	6
9	25	1	46	48	50	48,00000	4
	26	2	40	39	47	42,00000	8
	27	3	65	66	68	66,33333	3
10	28	1	42	52	40	44,66667	12
	29	2	53	52	50	51,66667	3
	30	3	59	52	69	60,00000	17
11	31	1	56	50	58	54,66667	8
	32	2	48	51	50	49,66667	3
	33	3	63	65	64	64,00000	2
12	34	1	45	46	48	46,33333	3
	35	2	55	58	56	56,33333	3
	36	3	59	58	52	56,33333	7
13	37	1	49	48	52	49,66667	4
	38	2	52	48	50	50,00000	4
	39	3	63	62	61	62,00000	2
14	40	1	45	44	43	44,00000	2
	41	2	55	61	54	56,66667	7
	42	3	59	58	57	58,00000	2
15	43	1	50	43	47	46,66667	7
	44	2	61	57	52	56,66667	9
	45	3	62	63	65	63,33333	3