



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

Sâmia Rodrigues Gorayeb

Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle
Multivariado de T^2 de Hotelling

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Belém
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sâmia Rodrigues Gorayeb

Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle

Multivariado de T^2 de Hotelling

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Estatística.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Software em Controle Estatístico da Qualidade

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Belém
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Gorayeb, Sâmia Rodrigues

Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle Multivariado de T^2 de Hotelling / (Sâmia Rodrigues Gorayeb); orientador, Edson M. L. S. Ramos. - 2010.

46f. il. 28 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística. Belém, 2010.

1. Controle de qualidade - Métodos estatística. I. Ramos, Edson M. L. S., orient. II. Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística. III. Título.

CDD 22. ed. 519.86

Sâmia Rodrigues Gorayeb

Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle
Multivariado de T^2 de Hotelling

Esta dissertação foi julgada e aprovada, para a obtenção do grau de Mestre em Estatística, no Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, da Universidade Federal do Pará.

Belém, 26 de Fevereiro de 2010.

Prof. Mauro de Lima Santos, *Dr.*
(Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística)

Banca Examinadora

Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*
Universidade Federal do Pará
Orientador

Profa. Silvia dos Santos de Almeida, *Dra.*
Universidade Federal do Pará
Examinadora

Prof. João Marcelo Brazão Protázio, *Dr.*
Universidade Federal do Pará
Examinador

Profa. Marinalva Cardoso Maciel, *Dra.*
Universidade Federal do Pará
Examinadora

Prof. Damião Nóbrega da Silva, *Ph.D.*
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Examinador

A Deus e a minha família.

Agradecimentos

★ À Deus por ter me concedido a vida, por ter me dado esta oportunidade e a inspiração e sabedoria necessárias para chegar ao final deste trabalho;

★ Ao meu orientador, Professor Dr. Edson Marcos Leal Soares Ramos, pela atenção, por acreditar em minha capacidade e pelo grande apoio dado em todos os momentos de dificuldade;

★ Aos professores e funcionários do PPGME-UFPA, que de alguma forma contribuíram para o crescimento do meu conhecimento;

★ Aos colegas do PPGME-UFPA e PPGCC-UFPA, que compartilharam conhecimento e longas horas de estudo em especial Carlos Jatene, Lenilda Pinheiro, Inácio Gorayeb, Marcus Paulo Melo e Hugo Nogueira;

★ Aos meus pais Adilson Gorayeb e Sandra Gorayeb e minhas irmãs Ticiane Gorayeb e Adriana Gorayeb pelo amor, apoio, compreensão, incentivo e confiança de que eu conseguiria concretizar mais um sonho;

★ Ao Fábio Holanda pelo amor, incentivo, compreensão e incalculável apoio para a realização deste trabalho;

★ As minhas amigas Lena Veiga, Patrícia Furlan, Kelli da Costa, Daiane Cardoso, Ana Paula Santana, Ângela Aquino e Pricila Mucelim pela amizade, pelo incentivo, pelo carinho e pela presença constante;

★ Aos meus amigos Sérgio Lima, Humberto Miglio, Rogério Reis, Sader Charone, Bruno Cardoso, Kahlil Viana e Cezar Martins pela amizade, pelo carinho, pelo apoio e pelos momentos de descontração;

★ Aos meus familiares que de alguma forma contribuíram rezando e me incentivando a ir até o final em especial a minha avó Maria Luiza de Souza Rodrigues e ao Tio Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb pela oportunidade e apoio;

★ À SEFA , que abriu as portas e tornou possível a realização deste trabalho, em especial as Coordenadoras Ana Valéria de Almeida e Ângela Aquino, a diretora Helena Ramos, ao Gerente Francisco Coelho e ao colega Jair Ferreira;

★ Finalmente, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, pois sem a colaboração de colegas, amigos e familiares isso não seria possível. Queria deixar aqui os meus profundos agradecimentos a todas as pessoas que fazem parte da concretização de mais um objetivo de vida, pois, nada seria possível se vocês não estivessem comigo!

“Até aqui nos ajudou o Senhor”.

Bíblia Sagrada

Resumo

GORAYEB, Sâmia Rodrigues. Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle Multivariado de T^2 de Hotelling. 2010. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística), Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma ferramenta computacional para geração do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição da estatística T^2 . Para tanto, inicialmente, mostram-se os conceitos de controle estatístico da qualidade, os princípios de gráfico de controle e o procedimento de construção e interpretação do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, bem como sua decomposição. O método de decomposição utilizado é de Mason, Tracy e Young (1995). Além disso, apresenta-se o processo de desenvolvimento da ferramenta computacional denominada Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, detalhando sua arquitetura de funcionamento, a linguagem Java, a plataforma, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica utilizada e a execução da ferramenta. A partir de um exemplo clássico da literatura, apresentado em Mason, Tracy e Young (1992), pode-se observar, na prática, a utilização da ferramenta computacional desenvolvida. Finalmente, destaca-se que a ferramenta computacional foi desenvolvida com código aberto, numa linguagem moderna e respeitando padrões internacionais de projeto de software.

Palavras Chave: Controle Estatístico da Qualidade; Gráfico de Controle Multivariado de T^2 de Hotelling; Java; Código Aberto.

Abstract

GORAYEB, Sâmia Rodrigues. Computational Tool for the Generation of Graph Control of Multivariate Hotelling's T^2 . 2010. Dissertation (Post-Graduation in Mathematics and Statistics), Federal University of Pará, Belém, Pará, Brazil.

This study aims to develop a computational tool to generate multivariate Hotelling's T^2 control chart, its main statistics and statistical breakdown of T^2 . It is given a review of, initially, show the concepts of statistical quality control, the principles of control chart and the procedure for construction and interpretation of Hotelling's T^2 multivariate control chart, and its decomposition. The decomposition method follows the approach proposed by in Mason, Tracy and Young (1995). It is presented the process of developing the computational tool called Graph Generator Control Multivariate Hotelling's T^2 , detailing the architecture of operation, the Java language, platform, development environment, graphical programming and implementation of the used tool. From a classic example in Mason, Tracy and Young (1992), it is demonstrated the practical use of computational tool developed. Finally, we emphasize that the computer tool was developed using open source in a modern language and respecting international standards of software design.

Keywords: Statistical Quality Control; Graphic Control of Multivariate Hotelling's T^2 ; Java; Open Source.

SUMÁRIO

Resumo	viii
Abstract	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
1 Introdução	1
1.1 Aspectos Gerais	1
1.2 Justificativa e Importância do Trabalho	3
1.3 Hipótese Básica do Trabalho	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo Geral	4
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Limitações do Trabalho	5
1.6 Estrutura do Trabalho	5
2 Controle Estatístico de Qualidade	7
2.1 Introdução	7
2.2 Princípios de Gráficos de Controle	8
2.3 Estrutura Básica de um Gráfico de Controle	9
2.4 Tipos de Gráfico de Controle	10
2.4.1 Gráficos de Controle de Shewhart para Variáveis	11
2.4.2 Gráficos de Controle de Shewhart para Atributos	11
2.4.3 Outros Tipos de Gráficos de Controle	12
2.4.4 Outras Considerações sobre Gráficos de Controle	14
2.5 Teste de Hipóteses e Gráficos de Controle	14
2.6 Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling	16
2.7 Decomposição do Gráfico T^2 de Hotelling	20
3 Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling	24
3.1 Introdução	24
3.2 Processo de Desenvolvimento e Arquitetura Adotada	25
3.3 A Linguagem de Programação Java e a Ferramenta GGCMTH	26
3.4 Bibliotecas ou APIs da Ferramenta GGCMTH	27
3.5 Ambiente de Desenvolvimento Integrado Netbeans	28
3.6 Programação Gráfica SWING	28

3.7	Entrada de Dados em Arquivo do Tipo CSV	29
3.8	Ferramenta Computacional GGCMTH	29
4	Execução da Ferramenta Computacional GGCMTH	34
4.1	Pré-requisitos para Utilização do GGCMTH	34
4.1.1	Instalação do Java	34
4.1.2	Editor de CSV	35
4.1.3	Descompactando o GGCMTH	35
4.2	Utilizando o GGCMTH	36
4.2.1	Criando um Arquivo CSV	36
4.2.2	Menus do GGCMTH	37
4.2.3	Saídas do GGCMTH	38
4.2.4	Análises das Saídas do GGCMTH	40
5	Considerações Finais e Recomendações	42
5.1	Considerações Finais	42
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	43
	Referências Bibliográficas	44

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de Gráfico de Controle.	10
3.1	Arquitetura da Ferramenta Computacional do GGCMTH.	25
3.2	Exemplo de Arquivo do Tipo CSV.	29
3.3	Tela Inicial do GGCMTH.	30
3.4	Exemplo de Planilha de Entrada de Dados Após a Execução do GGCMTH.	31
3.5	Exemplo de Matriz de Covariância e Matriz Inversa de Covariância após a Execução do GGCMTH.	31
3.6	Exemplo de Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, Gerado a partir do GGCMTH.	32
3.7	Exemplo de Decomposição da Estatística T^2 , Gerada a partir do GGCMTH.	32
4.1	Tela do Site do Java para Download e Instalação.	34
4.2	Tela Inicial da Planilha Eletrônica Excel.	35
4.3	Ícone do GGCMTH Compactado.	36
4.4	Ícone da Ferramenta Computacional GGCMTH.	36
4.5	Dados de um Processo Químico (Mason, Tracy e Young ,1992), Digitados na Planilha Eletrônica Excel.	37
4.6	Ilustração do Procedimento de como Salvar um Arquivo do Excel como um Arquivo do tipo CSV.	37
4.7	Menu Arquivo.	38
4.8	Menu Ajuda.	38
4.9	Planilha de Dados, de um Processo Químico, Apresentado em Mason, Tracy e Young (1992), após a Execução do GGCMTH.. . . .	39
4.10	Matriz de Covariância e Matriz Inversa de Covariância, Geradas pelo GGCMTH, para os Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992).	39
4.11	Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, para os Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992), obtido a partir do GGCMTH.	40
4.12	Valores da Decomposição da Estatística T^2 de Hotelling, obtida a partir do GGCMTH, para a 1ª Amostra dos Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992).	40

Capítulo 1

Introdução

1.1 Aspectos Gerais

Desde a origem da era industrial, as empresas têm se preocupado com a qualidade de seus produtos e serviços e, conseqüentemente, com o monitoramento e controle de seus processos de produção. Com a globalização e a livre concorrência essa preocupação em monitorar e controlar a qualidade dos produtos e/ou serviços tornou-se fator fundamental para garantir a competitividade dentro da dinâmica dos mercados. Com isso, é necessário que as corporações utilizem ferramentas capazes de avaliar o desempenho dos processos industriais visando identificar se está ocorrendo alguma variação que possa gerar um produto ou serviço sem o devido padrão de qualidade. Sendo assim, é necessário identificar como e porquê isso ocorreu para que uma decisão possa ser tomada para melhorar o processo de produção num menor intervalo de tempo possível.

Walter Shewhart, em 1924, introduziu um memorando técnico nos Laboratórios da Bell Telephone classificando a variabilidade dos processos. Shewhart colocou em prática os gráficos de controle e outras ferramentas estatísticas para monitorar e controlar a qualidade dos produtos e serviços, sendo considerado o pioneiro no Controle Estatístico da Qualidade. E, ainda nos dias atuais, tal metodologia está sendo aperfeiçoada por estudiosos na busca de melhores resultados e facilidades de aplicação. (BANKS, 1989).

Além dos tradicionais gráficos de controle do tipo Shewhart, existem outras ferramentas gráficas que utilizam procedimentos estatísticos mais refinados para monitorar e controlar as características da qualidade de produtos e serviços. Por exemplo, o gráfico de controle de médias móveis ponderadas exponencialmente (ROBERTS, 1959), é especialmente útil quando há interesse em avaliar pequenas alterações nos valores das variáveis que identificam as características da qualidade de interesse. Da mesma forma, quando há necessidade

de monitorar um processo com várias características que afetam direta e simultaneamente a qualidade final do produto, uma melhor alternativa ao uso da cartas de controle individuais para cada variável pode ser a utilização de ferramentas do controle estatístico da qualidade multivariado. Esta abordagem tem a vantagem de considerar a informação de todas as variáveis em conjunto (MASON, TRACY e YOUNG, 1995).

Uma outra vantagem decorre do fato que os processos de produção, na sua maioria, exigem que múltiplas características estejam de acordo com determinadas especificações. O monitoramento individual das características da qualidade de um produto e/ou serviço pode ser feito. No entanto, tal procedimento pode ser deficiente, pois ignora as correlações entre as características de interesse. Para suprir tal deficiência, existem os métodos multivariados (MASON e YOUNG, 2002).

Uma ferramenta do controle estatístico da qualidade multivariado de destaque é o gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling (HOTELLING, 1947), que avalia a estabilidade do sistema produtivo, quando existem muitas variáveis a serem analisadas conjuntamente. A importância do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling é evidente quando se leva em consideração que os processos produtivos envolvendo múltiplas variáveis geram grande quantidade de dados, o que torna mais complicado identificar quais são as variáveis responsáveis pela instabilidade do processo.

De fato, os métodos estatísticos (uni e multivariados) do controle da qualidade estão sendo cada vez mais utilizados devido aos mais variados fatores, como por exemplo, aumento da concorrência e, hoje, pode-se afirmar que não há indústria no mundo que não aplique pelo menos uma ferramenta que vise a melhoria do processo industrial. Para tanto a disseminação dos métodos estatísticos nos mais variados setores produtivos está diretamente ligada às transformações no sistema capitalista mundial, que proporcionou uma revolução tecnológica em vários âmbitos, mas, sobretudo, na informática e nas telecomunicações (SCHAFF; 1993; COUTINHO *et al.*, 1995). Seus efeitos são observados na organização das empresas, nos métodos de produção, nas relações de trabalho e na política financeira dos governos.

Alinhada a estas visões tem-se a popularização de computadores, o seu baixo custo, a sua alta capacidade de processamento e um crescimento na sua utilização nas diversas áreas.

Com isso a tendência mercadológica é, cada vez mais, utilizar ferramentas computacionais para a realização de tarefas e a resolução de problemas que antes eram solucionados manualmente, ou com a utilização de mais de uma ferramenta, tornando assim, as soluções imprecisas ou realizadas com uma carga de trabalho grande.

Apesar do gráfico de controle multivariado permitir que um processo produtivo ou serviço seja monitorado de maneira mais eficiente, as metodologias estatísticas multivariadas nem sempre são utilizadas devido às dificuldades inerentes às suas técnicas. O avanço da informática e a criação de novas ferramentas tendem a minimizar essas dificuldades e suprir a carência nesta área. Neste sentido este trabalho apresenta uma ferramenta computacional de geração do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição de sua estatística teste.

1.2 Justificativa e Importância do Trabalho

Cada vez mais o sucesso das organizações comerciais depende de sua força inovadora, de sua produtividade e da qualidade dos bens e serviços produzidos. Todos estes fatores são importantes e podem ser percebidos a partir de produtos que combinem a inovação tecnológica, com um alto nível de qualidade e preços comparativamente baixos.

Para alcançar este estágio, as indústrias de bens e serviços têm buscado técnicas cada vez mais apuradas que possam fornecer uma melhoria contínua com maior garantia de qualidade nos processos e, conseqüentemente, nos produtos. Nesse contexto o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) se apresenta como uma poderosa técnica para analisar os dados, estudar as características do processo e solucionar os problemas práticos. Dentre as ferramentas do CEQ mais utilizadas estão os gráficos de controle de Shewhart. A partir deles é possível distinguir quais os tipos de variações do processo, se provocadas por causas comuns (variações aleatórias inerentes ao processo) e por causas especiais ou assinaláveis (presença de eventos anormais no processo que prejudicam a qualidade do produto), tornando possível o diagnóstico e a correção de muitos problemas de produção.

Os gráficos de controle univariados são aqueles mais conhecidos e mais aplicados no setor industrial, devido à sua simplicidade e facilidade de operacionalização. Mas a necessidade

de agilizar os processos e obter informações cada vez mais rapidamente, fez com que os gráficos de controle multivariados começassem a se tornar essenciais nos processos industriais, visto que estes tipos de gráficos conseguem monitorar simultaneamente mais de uma característica de qualidade, como é o caso do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling.

Porém, a inexistência de software livre para a geração do gráfico de controle T^2 de Hotelling, aliada as dificuldades dos usuários com as álgebras existentes em todas as metodologias multivariadas de análise de dados diminuem a sua aplicação. Neste sentido, este trabalho se justifica por apresentar uma ferramenta computacional livre e de fácil utilização que é capaz de gerar o gráfico multivariado T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição da estatística teste.

O gráfico multivariado T^2 de Hotelling gerado, ao contrário dos gráficos de controle univariados, leva em consideração a correlação existente entre as várias características que são monitoradas conjuntamente e permite ao usuário otimizar os seus processos, devido à detecção mais rápida de possíveis problemas. Desta forma, além de melhorar a disseminação do controle estatístico da qualidade, esta ferramenta computacional facilita a identificação das possíveis causas que estão atuando no processo, pela decomposição da estatística T^2 de Hotelling.

1.3 Hipótese Básica do Trabalho

Parte-se da hipótese que a ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho é capaz de gerar o gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição da estatística T^2 de Hotelling.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional para geração do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição da estatística T^2 de Hotelling.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são resumidos a seguir:

i) Apresentar a metodologia de construção do gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling e sua Decomposição;

ii) Detalhar o processo de desenvolvimento, a arquitetura adotada, a linguagem de programação escolhida, as bibliotecas, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica e a forma de entrada de dados da ferramenta computacional desenvolvida.

1.5 Limitações do Trabalho

Como principal limitação deste trabalho tem-se:

A escassez de material bibliográfico referente a gráficos de Controle Multivariado T^2 de Hotelling e sua Decomposição.

1.6 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em cinco capítulos a saber:

Capítulo 1: São apresentadas as principais considerações sobre o trabalho, com a introdução, justificativa e importância do trabalho, hipótese do trabalho, objetivos geral e específicos, além de suas limitações;

Capítulo 2: É dedicado aos conceitos básicos de Controle Estatístico de Qualidade, princípios básicos de Gráficos de Controle, estrutura de um Gráfico de Controle, os tipos de Gráfico de Controle e os conceitos de Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling;

Capítulo 3: Apresenta o gerador do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling. Detalhando, o processo de desenvolvimento, a arquitetura adotada, a linguagem de programação escolhida, as bibliotecas, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica e a forma de entrada de dados;

Capítulo 4: Mostra como executar a ferramenta computacional desenvolvida, seus

pré-requisitos, a instalação do Java e como criar um arquivo do tipo CSV. Além dos menus, saídas e análises das saídas do GGCMTH;

Capítulo 5: Aborda as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Controle Estatístico de Qualidade

Neste capítulo são apresentados os princípios de gráfico de controle, sua estrutura básica, os tipos de gráfico de controle e a relação entre gráficos de controle e teste de hipóteses, além do procedimento de construção, análise e interpretação do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, bem como sua decomposição.

2.1 Introdução

Por volta de 1924, Walter Shewhart começou a colocar em prática alguns conceitos estatísticos para inspeção de qualidade dos produtos e serviços. Shewhart conseguiu perceber que a qualidade e a variabilidade são coisas completamente antagônicas, ou seja, onde tiver muita variabilidade, haverá pouca qualidade e vice-versa.

Foi assim que Shewhart entendeu que para gerar produtos com melhor qualidade era necessário medir, analisar e monitorar a variabilidade do produto ou serviço. Porém, para chegar onde ele queria foi necessária a utilização de aplicações estatísticas nas indústrias, nos processos e nos produtos, o que permitiu alcançar metas e reduzir a variabilidade nas características do processo.

É importante ressaltar que para discutir os principais conceitos, ferramentas e técnicas estatísticas do controle estatístico da qualidade é necessário ter a adequada compreensão da qualidade e da sua extrema importância para uma organização, além de sua abrangência e dos efeitos das técnicas que são utilizadas.

De acordo com Triola (1999), a estatística é uma coleção de métodos para planejar experimentos, obter dados, organizá-los, resumi-los, analisá-los, interpretá-los e deles extrair conclusões. Para utilizar a estatística como ferramenta para o desenvolvimento de produtos e/ou serviços, é necessário pensar em aplicações que envolvam qualidade.

Para Montgomery (1997), a qualidade está relacionada a uma ou mais características que um produto ou serviço deve apresentar. Já para Deming (2000), qualidade significa atender e, se possível, exceder às expectativas do consumidor em relação a um determinado produto.

O controle de qualidade de produtos surgiu quase na mesma época da indústria e a sua aplicação acabou sendo utilizada em várias áreas. O controle estatístico da qualidade é muito importante, porque a obtenção, manutenção e melhoria da qualidade são vitais para a sobrevivência e crescimento de uma organização. Como todo processo estável, possui uma variabilidade e esta afeta a qualidade dos processos, é preciso estudá-la de forma sistemática, para tentar diminuir esta variabilidade.

Existem muitas ferramentas de controle estatístico da qualidade, porém o gráfico de controle é a ferramenta mais conhecida e utilizada por aqueles que precisam monitorar variações em um determinado processo. O gráfico de controle tem o intuito de detectar a presença de causas especiais desta variação e é baseado na idéia de que, caso o processo esteja em um estado de controle estatístico, as observações futuras podem ser previstas e baseadas em observações anteriores (WESTER ELECTRIC, 1956).

2.2 Princípios de Gráficos de Controle

Quando se estuda um processo é necessário definir qual a característica da qualidade que será analisada. Se o processo for bem planejado e implementado, as variações tendem a ser pequenas, o que impossibilita atribuir-lhes a fatores isolados ou controlados.

Shewhart desenvolveu e introduziu, a partir de um memorando técnico, o primeiro gráfico de controle em 1924, no laboratório da *Bell Telephones* (BANKS, 1989). O gráfico de controle foi inicialmente a ferramenta mais conhecida e utilizada no monitoramento do processo industrial, porém por sua facilidade de operação acabou sendo utilizado em diversas áreas do conhecimento humano. Sua utilização baseia-se em comparações gráficas da performance do processo, a partir de determinados limites de controle.

Para que um processo esteja dentro do controle estatísticos, as amostras devem ser representadas em ordem cronológica dentro dos limites de controle e, se houver pontos

além dos limites ou padrões não aleatórios forem identificados, a variabilidade do processo pode não estar se comportando mais de forma aleatória. Neste caso deve haver uma investigação imediata para verificar se existem causas especiais de variação e retornar o processo à condição desejada (JURAN, 1979).

A “*plotagem*” dos dados que caracterizam a qualidade deve ser feita de forma cronológica, ou em função do número da amostra e são usadas para identificar quais as causas da variação não aleatória (PALADINI,1990).

Focando nas características que podem levar um processo a sofrer influência de causas não aleatórias, os gráficos de controle foram desenvolvidos com o propósito de monitorar de maneira contínua e de permitir a representação por variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, caracterizadas pela falta de relacionamento. Qualquer série de diferenças pode indicar um padrão não-aleatório inerente, porém é necessário que as variáveis examinadas tenham um padrão consistente, apesar de existirem algumas diferenças elas devem ocorrer por acaso.

A definição de gráficos de controle é feita a partir de técnicas estatísticas e a sua construção é baseada a partir de distribuições de probabilidade. Com isso, quando um processo produtivo ou um serviço está sob controle estatístico, uma característica de qualidade será observada com comportamento aleatório independente com distribuição normal de média μ e variância σ^2 .

2.3 Estrutura Básica de um Gráfico de Controle

Segundo Shewhart (1931), o gráfico de controle é uma representação gráfica de um processo ao longo do tempo. É formado por uma linha central (LC) que representa o nível de distribuição e por duas linhas que representam o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), como mostra a Figura 2.1. σ^2 .

Os limites de controle servem para avaliar se um processo está ou não sob controle. Caso o processo esteja sob controle estatístico, as observações devem ser representadas graficamente dentro destes limites. Porém, caso algum ponto esteja representado fora dos limites de controle, significa que o processo está fora de controle estatístico, sendo necessária uma

investigação imediata para identificar as causas responsáveis por este comportamento. A “*plotagem*” dos dados é feita cronologicamente, ou em função do número de amostras, possibilitando a identificação das causas da variação não aleatória (PALADINI, 1990).

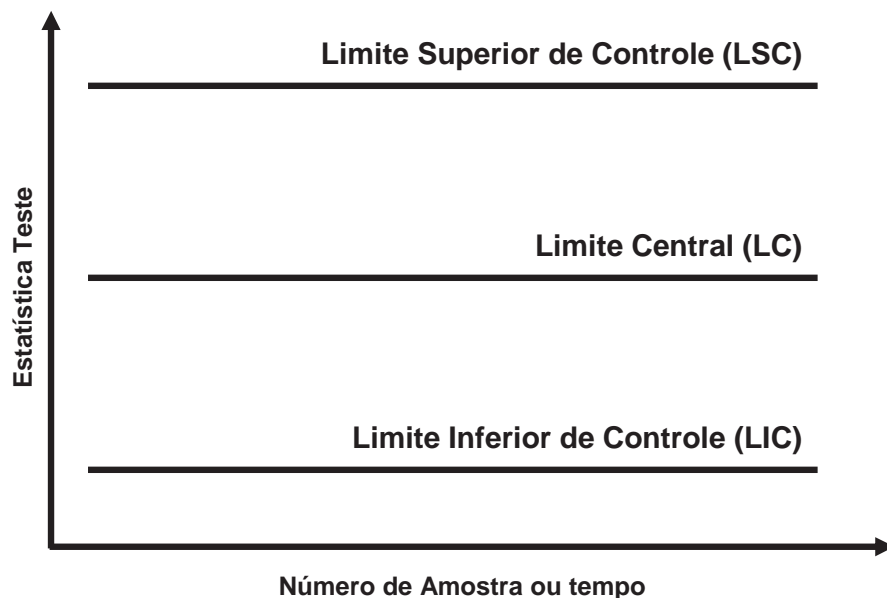


Figura 2.1 *Exemplo de Gráfico de Controle.*

Seja W uma estatística amostral para medir uma característica de qualidade qualquer, com média, μ_W e o desvio padrão σ_W . Em consequência disso, a linha central, o limite superior e o limite inferior de controle são dados por

$$\begin{aligned}LSC &= \mu_W + k\sigma_W \\LC &= \mu_W \\LIC &= \mu_W - k\sigma_W,\end{aligned}\tag{2.1}$$

onde k é a distância dos limites de controle a linha central, expressa em unidades de desvio padrão.

2.4 Tipos de Gráfico de Controle

Os gráficos de controle são classificados de acordo com a avaliação das características da qualidade, ou seja, por variáveis ou por atributos. Além destas, existem outras formas de distinção dos gráficos de controle que foram introduzidos por Shewhart, e apresentados por outros autores posteriormente.

2.4.1 Gráficos de Controle de Shewhart para Variáveis

De acordo com StatSoft (1995), Montgomery (1997) e Grant e Leavenworth (1980), os principais gráficos de controle para variáveis são:

i) Gráfico \bar{x} (Gráfico da Média): neste gráfico as médias da característica da qualidade nas amostras são representadas graficamente de maneira a controlar o valor médio do processo (por exemplo, tamanho de anéis de pistões, resistência de materiais). Supõe-se que as medidas da característica (ou as médias amostrais dessas medidas) seguem uma distribuição Normal.

ii) Gráfico R (Gráfico das Amplitudes): neste gráfico as amplitudes da característica da qualidade de cada amostra (diferença entre o maior e o menor valor da amostra) são representadas graficamente de maneira a controlar a variabilidade da característica da qualidade; usualmente o Gráfico R é elaborado conjuntamente com o Gráfico \bar{x} para permitir um melhor acompanhamento da característica da qualidade. Por ser simples de elaborar, o Gráfico R tornou-se muito popular, mas em alguns casos não é o mais indicado para descrever a variabilidade da característica da qualidade; as mesmas suposições necessárias para o Gráfico \bar{x} também precisam ser satisfeitas.

iii) Gráfico S (Gráfico do Desvio Padrão): neste gráfico os desvios padrão da característica da qualidade nas amostras são representadas graficamente de maneira a controlar a variabilidade da característica da qualidade. O desvio padrão é uma medida de variabilidade com melhores propriedades estatísticas que a amplitude, mas é considerado mais “difícil” de calcular (principalmente por pessoas não especialistas), sendo por isso preterido. Pode-se ao invés dos desvios padrões representar graficamente as variâncias; também supõe-se que os dados originais da característica da qualidade seguem uma distribuição Normal (MONTGOMERY, 1997).

2.4.2 Gráficos de Controle de Shewhart para Atributos

Ainda de acordo com StatSoft (1995); Montgomery (1997) e Grant e Leavenworth (1980), os principais gráficos de controle para atributos são:

i) Gráfico c : neste gráfico são representados graficamente os números totais de não con-

formidades (defeitos) em cada amostra, ou unidade de inspeção. Neste gráfico assume-se que os defeitos são raros, ou seja, distribuem-se de acordo com a distribuição de Poisson (distribuição de eventos raros); as amostras precisam ter obrigatoriamente o mesmo tamanho.

ii) Gráfico *u*: neste gráfico são representadas graficamente as taxas de defeitos, ou seja, o número de defeitos dividido pelo número de unidades inspecionadas. Nele, supõe-se que os defeitos distribuem-se de acordo com a distribuição de Poisson, mas não há necessidade de que as amostras, ou unidades de inspeção, tenham o mesmo número de elementos.

iii) Gráfico *np*: neste gráfico são representados graficamente os números de itens da amostra que foram classificados como defeituoso. Nele, supõe-se que os dados seguem uma distribuição Binomial, ou seja, a ocorrência de defeitos não é um evento raro (por exemplo, ocorre em mais de 5% das unidades inspecionadas, fazendo com que a aproximação pela distribuição de Poisson não seja mais válida).

iv) Gráfico *p*: neste gráfico são representadas graficamente as frações de itens defeituosos da amostra (número de itens defeituosos dividido pelo número total de itens da amostra); supõe-se que os dados seguem uma distribuição Binomial. Novamente a ocorrência de defeitos não é um evento raro.

2.4.3 Outros Tipos de Gráficos de Controle

Há também Gráficos de Controle para medidas individuais, que devem ser utilizados em algumas situações especiais (inspeção automatizada de todas as unidades produzidas; processos onde a taxa de produção é muito lenta; diferenças de uma medida para outra devidas apenas a erros de análise/laboratório, como processos químicos). Associados a estes gráficos de medidas individuais estão gráficos de Amplitudes Móveis (MR - *Moving Ranges*), que possibilitam monitorar a variabilidade do processo (MONTGOMERY, 1997).

Além dos Gráficos de Shewhart há outros que utilizam procedimentos mais sofisticados para sua construção e são especialmente úteis quando há interesse em avaliar pequenos desvios no processo. Especialmente interessantes são as descrições apresentadas por Montgomery (1997).

O Gráfico CUSUM (Soma Cumulativa ou Soma acumulada) foi estudado por vários autores, por exemplo, Hawkins e Olwell (1998). Ao representar graficamente a soma cumulativa dos desvios das médias do característico da qualidade, em relação a uma especificação alvo, em sucessivas amostras, as mudanças permanentes na média do processo, mesmo os menores desvios, levarão a um valor mensurável para a soma cumulativa dos desvios. Isso permite a detecção de pequenos desvios que passaram despercebidos pelo Gráfico de Shewhart. Por exemplo, se devido ao desgaste das máquinas um processo sai suavemente fora de controle estatístico, produzindo resultados abaixo ou acima das especificações alvo, o Gráfico CUSUM mostraria um aumento ou diminuição constante na soma cumulativa de desvios da especificação. É bastante comum o uso do Gráfico CUSUM para medidas individuais.

O Gráfico MA (Média Móvel - *Moving Average*), é uma outra alternativa para a detecção de pequenos desvios no processo. Consiste em atribuir um esquema de ponderação (usar uma média ponderada, ou mesmo uma média simples) das médias do característico da qualidade em amostras sucessivas. Para produzir um Gráfico de Média Móvel é necessário mover essa média ao longo das várias amostras.

O Gráfico EWMA (Média Móvel Exponencialmente Ponderada - *Exponentially Weighted Moving Average*) é uma generalização do Gráfico MA, onde a média ponderada utilizada acarreta a diminuição progressiva do peso dos resultados das amostras anteriores à medida que novas amostras do processo são retiradas.

Em alguns processos, ocorrem muitas alterações nos valores das variáveis de controle, o que afeta o comportamento da característica de qualidade. Neste caso pode ocorrer a violação das suposições necessárias às aplicações dos gráficos de controle clássico. Quando há necessidade de monitorar um processo por várias características que afetam direta e simultaneamente a qualidade final do produto, é necessária a utilização de controle de processos multivariados, que consideram a informação de todas as variáveis em conjunto.

O Gráfico Multivariado T^2 de Hotelling (1947) avalia a estabilidade do sistema, quando existem muitas variáveis a serem analisadas conjuntamente. Na primeira fase de avaliação do processo, os limites de controle são utilizados para testar se o processo estava sob controle quando a amostra foi retirada e quando um sinal é captado fora de controle,

usando-se um gráfico multivariado, as variáveis causadoras deste sinal podem não ser visivelmente identificadas, havendo assim a necessidade de uma investigação adicional.

2.4.4 Outras Considerações sobre Gráficos de Controle

Os Gráficos de Controle sugeridos por Shewhart são largamente utilizados para a Avaliação da Qualidade de produtos industriais, e obtiveram sucesso comprovado durante 70 anos. Contudo algumas observações importantes têm que ser levadas em consideração, são elas:

i) se ao expor os dados em qualquer um desses gráficos e forem encontradas evidências de autocorrelação entre eles, a suposição *i.i.d.* (dados independentes e identicamente distribuídos) foi violada, exigindo que a análise seja feita com a utilização de técnicas estatísticas de Séries Temporais (MONTGOMERY, 1997).

ii) a interpretação dos Gráficos de Controle consiste basicamente no reconhecimento de padrões não aleatórios na disposição dos pontos. Uma descrição pormenorizada dos diferentes padrões, e das regras utilizadas para sua identificação, pode ser encontrada em Western Electric (1956). Atualmente o reconhecimento de padrões em gráficos de controle é muitas vezes realizado de forma automática, a partir de programas computacionais implementados com técnicas de Inteligência Artificial, como por exemplo, Redes Neurais (BALESTRASSI, 2000).

iii) usualmente os gráficos de controle de Shewhart costumam ser pouco sensíveis a pequenos desvios no processo, porque utilizam informação apenas do último ponto “*plotado*”, ao invés de toda a seqüência de pontos (MONTGOMERY, 1997).

2.5 Teste de Hipóteses e Gráficos de Controle

Como já visto, a utilização do gráfico de controle tem como objetivo testar se um processo está ou não em controle estatístico. Para Montgomery (1997), isso permite que haja uma estreita relação entre gráficos de controle e teste de hipóteses.

Um teste de hipóteses é utilizado quando se deseja verificar a validade de uma suposição a respeito de um parâmetro de uma população, utilizando dados de amostras. Define-se a

hipótese H_0 a ser testada e considerada verdadeira até que os dados amostrais apresentem evidências significativas do contrário.

Para se aplicar um gráfico de controle como um teste de hipótese, as hipóteses nulas e alternativas são definidas da seguinte maneira: H_0 : O processo está sob controle estatístico e H_A : O processo não está sob controle estatístico.

No caso do valor de uma amostra observada ser registrada dentro dos limites de controle, pode identificar que o processo está sob controle estatístico. Sendo assim, não se pode rejeitar H_0 (hipótese nula) e nenhuma ação corretiva pode ser adotada. Em contrapartida, quando uma amostra observada é registrado fora dos limites de controle, isso pode identificar que o processo encontra-se fora de controle estatístico. Nesse caso, a hipótese nula é rejeitada e deve ser registrada uma ação corretiva (MONTGOMERY, 1997).

Levando em consideração essas afirmativas, se fosse feito para cada amostra um teste da hipótese H_0 provando que o processo está em controle estatístico para a variável considerada, neste caso, a média da distribuição da variável permaneceria constante ao longo do tempo, em um valor μ_0 . Com isso, os valores que delimitam a região de aceitação do teste irão equivaler aos limites de controle. Portanto, se o valor de uma estatística computada a partir de uma amostra estiver entre os limites de controle, a hipótese de controle estatístico não será rejeitada e a hipótese de que o processo está em controle é aceita. Porém, se o valor dessa estatística estiver fora dos limites de controle, a hipótese de controle estatístico é rejeitada e admite-se que o processo encontra-se fora de controle e deve-se buscar a ocorrência de uma causa especial (MONTGOMERY, 1997).

A região de não rejeição de H_0 é composta pelo conjunto de todos os resultados de uma estatística $g(x)$ que estejam dentro dos limites de controle. Ao se fazer uso do gráfico de controle pode-se cometer dois tipos de erros, conhecidos na literatura como erro tipo I (α) e erro tipo II (β), são eles, respectivamente: (i) interpretar que o processo está fora de controle quando na verdade ele está em controle, chamado de alarme falso e (ii) interpretar que o processo está em controle quando na verdade ele está fora de controle, conhecido como erro negligenciado. Formalmente define-se: (a) $P(g(x) \ni \text{LSC, LIC}) \mid \text{Processo está sob controle estatístico} = \alpha$ e (b) $P(g(x) \in \text{LSC, LIC}) \mid \text{Processo não está sob controle estatístico} = \beta$ (MICHEL e FOGLIATTO, 2000).

Os dois erros podem levar uma corporação à perda de tempo de material e de dinheiro, além de trazer sérios problemas ao processo em estudo. Isso ocorre quando se interrompe um processo para identificar as causas de variações inexistentes e quando não há constatação de que o processo está fora de controle estatístico gerando defeitos ou problemas não identificados.

Para Ramos (2003), os gráficos de controle são uma forma gráfica de uma estatística amostral $g(X)$ como uma função do tempo. Com isso, se a realização de uma função amostral alcança ou excede os limites de controle LSC e LIC, então a hipótese H_0 é rejeitada e ajustes no processo são realizados. Além disso, a região de aceitação (RA) para H_0 é dada por todas as realizações da estatística de teste que se situam dentro dos limites de controle e a região de rejeição (RR) para H_0 é a complementar de RA. Sendo assim, a regra de decisão do teste é: (i) se a estatística de teste $g(X)$ situa-se sobre ou fora das linhas de controle, é necessário intervir no processo, porém, (ii) se a estatística de teste $g(X)$ situa-se dentro das linhas de controle, então não é necessário intervir no processo.

Entre os testes de hipóteses multivariados, o teste T^2 de Hotelling (1947) é utilizado para hipóteses de controle de processo considerando-se as características medidas conjuntamente. A partir do teste T^2 de Hotelling, um elipsóide de confiança é construído, usando-se a distribuição de probabilidade conjunta das p características de qualidade.

Porém, construir regiões de confiança em termos gráficos torna-se impraticável quando $p \geq 4$ variáveis. Neste caso, a informação multivariada é transformada em uma estatística unidimensional, ou bidimensional, que possa ser disponibilizada em termos gráficos para gerar resultados que possam ajudar na tomada de decisão com informações seguras.

2.6 Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling

Os gráficos de controle multivariados (GCM) são utilizados no monitoramento de duas ou mais variáveis de um processo ou produto simultaneamente. Com o mercado se tornando mais competitivo, as empresas estão necessitando cada vez mais de controles de qualidade do processo de produção ou serviços. Levando em conta esse contexto, o controle de qualidade multivariado aparece como uma ferramenta extremamente importante

para avaliar várias características que afetam direta e simultaneamente a qualidade final de determinado produto ou serviço (MASON e YOUNG, 2002).

Contudo, os gráficos de controle multivariados só deverão ser utilizados quando existe correlação significativa entre essas variáveis a serem monitoradas. Caso as variáveis não sejam fortemente correlacionadas, há possibilidade de surgirem alarmes falsos no processo investigado, já que o gráfico pode resultar problemas em uma determinada variável que não esteja necessariamente interferindo no processo (mostrar uma peça com defeito quando na verdade o defeito não existe); ou ainda considerar que o processo está sob controle sem que isso seja verdade.

Devido a esses fatores, vê-se a importância do estudo das técnicas estatísticas multivariadas para controle de processos e o entendimento de como funcionam os gráficos de controle multivariados T^2 de Hotelling ajudam as empresas a ficar mais bem colocadas no mercado competitivo. Tendo certeza da necessidade da aplicação do GCM os gráficos qui-quadrado e de T^2 Hotelling são gráficos de controle do tipo Shewhart e verificam o comportamento do processo a partir da média.

O gráfico T^2 de Hotelling é o gráfico mais conhecido e empregado para o monitoramento de vetor de médias de um processo. Ele funciona a partir do controle simultâneo de características correlacionadas e servem para indicar a qualidade de um único processo produtivo. A estatística de teste do gráfico T^2 de Hotelling, para p variáveis, é dada por

$$T^2 = n(\bar{X} - \bar{\bar{X}})'S^{-1}(\bar{X} - \bar{\bar{X}}). \quad (2.2)$$

Quando μ e σ são desconhecidos, o vetor médio amostral, \bar{X} , e a matriz de covariância amostral, S , são utilizados para estimá-los, respectivamente, por

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{X}_k, \quad (2.3)$$

onde $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ e

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{S}_k, \quad (2.4)$$

com

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_k)(X_i - \bar{X}'_k), \quad (2.5)$$

onde m vai representar o número de amostras preliminares de tamanho n retiradas do processo e X_i vai ser a i -ésima observação da p -variável referente à k -ésima amostra.

Lowry e Montgomery (1995) mostram duas fases distintas para a construção dos gráficos de controle T^2 de Hotelling. A Fase I utiliza os gráficos de controle para testar retrospectivamente se o processo estava sob controle quando os primeiros m subgrupos foram extraídos, o que possibilita obter um conjunto de dados sob controle para que se estabeleçam esses limites. Na Fase II, os limites de controle gerados na Fase I, são utilizados para testar se o controle efetivo permanece, porém levando em consideração subgrupos futuros.

Para os limites estabelecidos nas Equações 2.6 e 2.7, tem-se p como o número de características de qualidade analisadas simultaneamente; n é o tamanho do subgrupo; m é o número de amostras sobre o tempo e F é o valor tabelado da estatística seguindo o nível de significância determinado e os devidos graus de liberdade.

Para Lowry e Montgomery (1995), os limites de controle do gráfico T^2 de Hotelling são dados pela escolha de um valor α , tal que $P(T^2 \leq LSC) = 1 - \alpha$, conforme pode ser visto a seguir, quando a Fase I é consolidada por

$$\begin{aligned} LSC &= \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{(\alpha, p, mn-m-p+1)} \\ LIC &= 0. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Na Fase II os novos limites de controle são,

$$\begin{aligned} LSC &= \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{(\alpha, p, mn-m-p+1)} \\ LIC &= 0. \end{aligned} \quad (2.7)$$

O gráfico T^2 de Hotelling será construído do mesmo modo que os gráficos convencionais de Shewhart, a partir de m amostras de tamanho n . Aparisi (1996) apresenta o gráfico T^2 de Hotelling para tamanhos amostrais variáveis. Quando não é possível definir subgrupos racionais dentro de cada amostra, o processo é então monitorado a partir de amostras de tamanho unitário ($n = 1$) e a estatística T^2 de Hotelling é obtida por

$$T^2 = (\bar{X} - \bar{\bar{X}})' S^{-1} (\bar{X} - \bar{\bar{X}}), \quad (2.8)$$

onde \bar{X} e S representam, respectivamente, as estimativas para o vetor das médias e a matriz de covariância do processo.

Mason, Tracy e Young (1992) apresentam os limites de controle para a primeira fase de aplicação do gráfico T^2 de Hotelling, a partir de observações individuais, como

$$\begin{aligned} LSC &= \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{(\alpha; p/2; (m-p-1)/2)} \\ LIC &= 0, \end{aligned} \quad (2.9)$$

onde $\beta_{(\alpha; p/2; (m-p-1)/2)}$ retratam o percentil de uma distribuição beta com $p/2$ e $m-p-1/2$ graus de liberdade. Sullivan e Woodall (1996) demonstraram que na Fase I a utilização de uma estimativa usual da matriz de covariância não resultará na efetiva detecção de uma mudança na média. Neste sentido, eles propuseram vários estimadores para gerar estimativas melhores que são dadas por estes limites podem ser aproximados a partir da distribuição F , que são dados por

$$\begin{aligned} LSC &= \frac{(m-1)^2}{m} \frac{(p/(m-p-1)) F_{(\alpha/2; p, m-p-1)}}{1 + (p/(m-p-1)) F_{(\alpha/2; p, m-p-1)}} \\ LIC &= 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Quando novas observações são extraídas do processo, na Fase II, os limites de controle são calculados a partir de

$$\begin{aligned} LSC &= \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{(\alpha, p, m-p)} \\ LIC &= 0, \end{aligned} \quad (2.11)$$

onde $F_{(\alpha, p, m-p)}$ denote o percentil da distribuição F com p e $m - p$ graus de liberdade.

2.7 Decomposição do Gráfico T^2 de Hotelling

Empregando a técnica multivariada T^2 de Hotelling será possível a identificação dos processos que estão fora de controle estatístico, permitindo a identificação das possíveis variáveis que estão fazendo com que um processo se comporte desta maneira.

Mason, Tracy e Young (1995) mostram que o aparecimento de um sinal fora do controle estatístico pode ser causado por muitas situações. Uma delas ocorre quando pelo menos uma das p variáveis estiver fora dos limites de controle. Outra possibilidade é devido ao relacionamento entre duas ou mais variáveis que contradizem o que foi estabelecido pelos dados históricos, ou pior ainda, um sinal pode ser produzido pela combinação de duas situações, com algumas variáveis estando fora de controle e outras possuindo inter-relacionamentos.

Já Jackson (1985) e Pignatiello e Runger (1990) indicam o uso de componentes principais para auxiliar na interpretação de um sinal fora de controle estatístico. Wade e Woodall (1993) utilizam ajustes de regressão em variáveis individuais para melhorar o poder de diagnóstico do gráfico T^2 de Hotelling.

Mason, Tracy e Young (1995) decompõem a estatística T^2 em componentes independentes que refletem a contribuição de uma variável individual. Supondo que as primeiras $p - 1$ variáveis sejam agrupadas juntas e isolam-se as p -ésimas variáveis, tal que $X_i = (X_i^{(p-1)}, X_{ip})'$, onde $X_i^{(p-1)}$ é um vetor de medidas $(p - 1)$ excluindo as p -ésimas variáveis. Mason, Tracy e Young (1995) utilizam um resultado originalmente obtido por Rencher (1993). De acordo com esses autores a decomposição pode ser dividida em duas partes

$$T^2 = T_{p-1}^2 + T_{p.1, \dots, p-1}^2, \quad (2.12)$$

onde o termo T_{p-1}^2 é a estatística T^2 de Hotelling utilizando a primeira variável $p - 1$ e é

conhecida como

$$T_{p-1}^2 = (X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)})' S_{XX}^{-1} (X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)}), \quad (2.13)$$

onde $\bar{X}^{(p-1)}$ é o vetor médio amostral das n observações multivariadas da primeira variável $p-1$ e S_{XX} é a submatriz $(p-1) \times (p-1)$ de S .

A estatística $T_{p.1,\dots,p-1}$ corresponde ao p -ésimo componente do vetor X_i ajustado pelas estimativas da média e desvio padrão da distribuição condicional de X_p constituído por X_1, X_2, \dots, X_{p-1} , dada por

$$T_{p.1,\dots,p-1} = \frac{X_{ip} - \bar{X}_{p.1,\dots,p-1}}{S_{p.1,\dots,p-1}}, \quad (2.14)$$

onde

$$\bar{X}_{p.1,\dots,p-1} = \bar{X}_p + b_p'(X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)}), \quad (2.15)$$

com \bar{X}_p sendo a média amostral das n observações na p -ésima variável e

$$b_p = S_{XX}^{-1} S_{xX}, \quad (2.16)$$

sendo um vetor com dimensão $(p-1)$ estimando os coeficientes de regressão da p -ésima variável em função das primeiras $p-1$ variáveis, com

$$s_{p.1,\dots,p-1}^2 = s_x^2 - s'_{xX} S_{XX}^{-1} s_{xX}, \quad (2.17)$$

e

$$S = \begin{bmatrix} S_{XX} & s_{xX} \\ s'_{xX} & s_x^2 \end{bmatrix}. \quad (2.18)$$

Assim, o primeiro termo de $T^2 = T_{p-2}^2 + T_{p-1.1,\dots,p-2}^2$ é uma estatística de T^2 de Hotelling sobre $p-1$ variáveis. Pode-se também dividi-la em duas partes,

$$T^2 = T_{p-2}^2 + T_{p-1.1,\dots,p-2}^2, \quad (2.19)$$

onde T_{p-2}^2 é a estatística T^2 de Hotelling das primeiras $p-2$ variáveis e $T_{p-1.1,\dots,p-2}^2$ é o quadrado das $(p-1)$ -ésimas variáveis ajustadas pelas estimativas da média e desvio padrão da distribuição condicional de X_{p-1} dado por X_1, X_2, \dots, X_{p-2} .

Continuando a interagir e dividir desta maneira, chega-se a seguinte decomposição geral da estatística T^2 de Hotelling para as p variáveis

$$T^2 = T_1^2 + T_{2.1}^2 + T_{3.1,2}^2 + T_{4.1,2,3}^2 + \dots + T_{p.1,\dots,p-1}^2 = T_1^2 + \sum_{j=1}^{p-1} T_{j+1.1,\dots,j}^2. \quad (2.20)$$

O valor final de T^2 , T^2_1 , é a estatística T^2 de Hotelling para a primeira variável. Ela se reduz ao quadrado da estatística t univariada para a variável inicial, a partir de

$$T^2_1 = \frac{(X_{i1} - \bar{X}_1)^2}{S^2_1}. \quad (2.21)$$

Existem algumas propriedades interessantes associadas com a decomposição dada em (2.21).

- i)* A ordenação dos termos individuais condicionais não é única;
- ii)* Existem, de fato, $p!$ divisões diferentes que produzirão a mesma estatística T^2 , por exemplo, pode-se começar a divisão ao selecionar qualquer uma das $p - 1$ variáveis restantes para condicionar às primeiras características selecionadas. Prosseguindo assim, seriam produzidas sequências diferentes de termos que compõem a estatística geral;
- iii)* Os p termos dentro de uma decomposição são independentes um dos outros, embora os termos a partir das decomposições de $p!$ não sejam todos independentes.

Para Mason, Tracy e Young (1995), a estatística particionada segue uma distribuição F , com 1 e $(m - 1)$ graus de liberdade. Presumindo que para uma dada observação, a estatística T^2 dada em (2.8) é significativa, isto indica que um problema existe, mas não há informação sobre quais variáveis contribuem para este problema, então considerando a aproximação da decomposição dada em (2.20), pode-se verificar a relação de cada variável com as $p - 1$ variáveis restantes permite obter o seguinte conjunto de valores

$$T^2_{1,2,\dots,p}, T^2_{2,1,3,\dots,p}, \dots, T^2_{p,1,\dots,p-1}. \quad (2.22)$$

Assim, é possível comparar cada um dos termos com o valor tabelado da distribuição F , para verificar os termos significativos.

Neste capítulo foram apresentados os princípios de gráfico de controle, sua estrutura básica, os tipos de gráfico de controle e a relação entre gráficos de controle e teste de hipóteses, além do procedimento de construção, análise e interpretação do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, bem como sua decomposição.

Assim, pôde-se ver que existem inúmeras ferramentas do controle estatístico da qualidade, todavia o gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling permite monitorar mais de uma variável simultaneamente e a decomposição da estatística T^2 permite a verificação de qual ou quais amostras estão fora de controle estatístico, possibilitando maior agilidade na tomada de decisão para se reverter uma falha no processo produtivo.

No próximo capítulo será mostrado o procedimento de construção da ferramenta computacional Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling.

Capítulo 3

Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling

Neste capítulo são apresentados o processo de desenvolvimento, a arquitetura adotada, a linguagem de programação escolhida, as bibliotecas, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica, a entrada de dados da ferramenta computacional geradora de gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling.

3.1 Introdução

A partir do final do século XX houve um crescimento na utilização de computadores devido a sua popularização, o seu baixo custo e a sua alta capacidade de processamento. Com isso, a tendência mercadológica é cada vez mais utilizar ferramentas computacionais para realização de tarefas e resolução de problemas que antes eram solucionados manualmente.

Não se pode negar que a disseminação da tecnologia nos dias atuais é algo normal e intrínseco ao homem, o que possibilita maior agilidade nas relações e confiança nas informações geradas por equipamentos. Porém, mesmo experimentando um alto grau de desenvolvimento tecnológico muitos usuários do controle estatístico da qualidade, ainda, enfrentam dificuldades para a utilização de métodos multivariados, como por exemplo, a construção do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling.

Neste sentido, visando melhorar a utilização desta ferramenta do controle estatístico da qualidade, mostra-se neste capítulo como foi desenvolvida uma ferramenta computacional denominada Gerador Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling (GGCMTH). A ferramenta desenvolvida minimiza e/ou elimina as dificuldades dos usuários na geração desta poderosa ferramenta gráfica de análise estatística de processos.

3.2 Processo de Desenvolvimento e Arquitetura Adotada

O processo de desenvolvimento da ferramenta computacional foi em linguagem de programação Java (SDN, 2009) e seguindo o paradigma de programação orientada a objetos (PRESSMAN, 2005).

A análise de requisitos para criação da ferramenta passa obrigatoriamente pela compreensão das necessidades da geração do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling. Sendo assim, definiu-se a necessidade de utilizar somente softwares livres, com interface amigável, além de deixar a manipulação e o tratamento dos dados transparentes ao usuário final.

O projeto da ferramenta foi dividida em módulos funcionais, sendo eles: a interface do usuário, a entrada de dados, o tratamento estatístico, cálculos, formatação dos dados e a exibição e gravação dos resultados. A Figura 3.1 ilustra a comunicação entre os módulos, isto é, a arquitetura da ferramenta computacional GGCMTH. A seguir são detalhados o funcionamento e implementação de cada módulo.

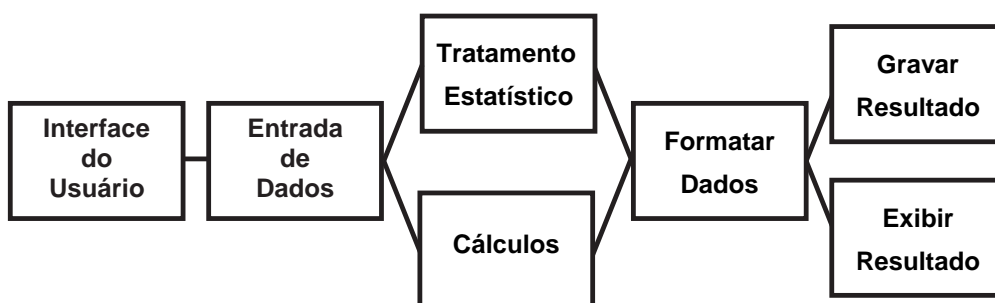


Figura 3.1 *Arquitetura da Ferramenta Computacional do GGCMTH.*

- i)* **Interface dos Usuários:** traz explicações sobre o GGCMTH e permite a entrada e saída do sistema.
- ii)* **Entrada de Dados:** permite ao usuário entrar com as variáveis a serem monitoradas, o arquivo é gerado no padrão CSV (*Comma-Separated Values*) que é de fácil utilização.

- iii) Tratamento Estatístico:* os dados do arquivo CSV são lidos e tratados pelas APIs (*Interface de Programa Aplicativo*).
- iv) Cálculos:* são executados cálculos necessários a construção do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling e de sua decomposição, a partir dos dados do arquivo CSV, utilizando as APIs.
- v) Formatar Dados:* para facilitar a exibição do resultado as informações são salvas em variáveis utilizando APIs.
- vi) Gravar Resultados:* é gerado um arquivo HTML (HyperText Markup Language) e uma imagem do gráfico no mesmo diretório onde está o arquivo CSV de dados, a partir da utilização de APIs.
- vii) Exibir Resultados:* é exibido um arquivo HTML, gerado a partir de APIs.

3.3 A Linguagem de Programação Java e a Ferramenta GGCMTH

O projeto da empresa Sun Microsystems, comandado por James Gosling, Patrick Naughton e Mike Sheridan teve início em 1991 e foi considerado o ponto inicial da linguagem Java. No princípio o projeto não visava o desenvolvimento de uma nova linguagem e sim planejar o próximo passo da evolução digital, que seria a interligação dos computadores a eletrodomésticos e a eletroeletrônicos. Pensando nisso tentaram antecipar essa tendência e acabaram construindo as bases da linguagem que se conhece por Java (DELTTEL, 2001).

JAVA é uma linguagem de programação orientada a objeto. E tem como uma de suas principais características compilar seus fontes em “*bytecode*” que pode ser executado por uma máquina virtual específica para cada sistema operacional. Tornando os sistemas desenvolvidos nessa linguagem multiplataforma, diferentemente das linguagens convencionais que têm seus fontes compilados em código nativo rodando apenas no sistema operacional para o qual são criados (MANZANO, 2006).

Com a ampla disseminação da linguagem, grandes empresas de tecnologia se voltaram para esse mercado novo que abria as portas, disponibilizando suporte à linguagem. Mas

o lançamento oficial da linguagem ocorreu em 23 maio de 1995, na SunWorld Expo 95, que acabou sendo consumida pelo mercado em velocidade recorde. E hoje é uma das linguagens mais utilizadas no mercado.

Em Java existem várias plataformas, que são usadas conforme a necessidade do sistema. No desenvolvimento da ferramenta GGCMTH, utilizou-se o J2SE (*Java 2 Standard Edition*), já que se trata de uma aplicação *desktop* (área de trabalho) simples que roda sem a necessidade de um servidor (SDN, 2009).

A versão J2SE é uma ferramenta de desenvolvimento Java que contém as funcionalidades para se criar aplicações Java, incluindo a máquina virtual Java “*JVM*”, o compilador Java, as ferramentas utilitárias para o desenvolvimento de sistemas e todas as “*APIs*” do Java (SDN, 2009).

3.4 Bibliotecas ou APIs da Ferramenta GGCMTH

As APIs Java consistem um conjunto de bibliotecas disponíveis, que fornecem ao desenvolvedor de *software* uma forma padrão de acessar (utilizar) os recursos de determinado sistema (SDN, 2009), por exemplo, uma rotina pré-existente para obtenção da média aritmética, a partir de um determinado conjunto de dados.

A máquina virtual Java (*JVM*), define um computador abstrato. Sendo assim, sua especificação define a funcionalidade que toda máquina virtual deve ter, mas dá liberdade quase total aos projetistas (LINDHOLM e YELLIN, 1999). As APIs utilizadas no desenvolvimento da ferramenta GGCMTH, são:

- i) jfreechart* 1.0.13 (JFREECHART, 2009) - utilizada para criação de gráficos;
- ii) commons-math* 2.0 (COMMONS-MATH, 2009) - utilizada para realizar operações matemáticas;
- iii) velocity engine* 1.6.2 (VELOCITY ENGINE, 2009) - utilizada para geração de relatórios em HTML;
- iv) FDistribution* (FDISTRIBUTION, 2009) - utilizada para implementar os valores da distribuição *F* de Snedecor.

3.5 Ambiente de Desenvolvimento Integrado Netbeans

No processo de desenvolvimento da ferramenta computacional GGCMTH utilizou-se o NetBeans 6.7.1 que é um ambiente de desenvolvimento de aplicações gratuito e de código aberto. Quando orientado para a linguagem Java permite o desenvolvimento rápido de aplicações. Neste ambiente é possível fazer a escrita, compilação e depuração (*debugging*) do código Java (NETBEANS, 2009).

Trata-se de um ambiente de desenvolvimento multiplataforma, ou seja, é uma estrutura reutilizável que simplifica o desenvolvimento e aumenta a produtividade. O NetBeans fornece uma base sólida para a criação de projetos e módulos, possui um grande conjunto de bibliotecas, módulos e API's, além de uma documentação vasta para auxiliar o desenvolvedor de forma a escrever seu software de maneira mais rápida.

3.6 Programação Gráfica SWING

O *SWING* é um tipo de artefato de aplicação reutilizável, comumente denominado de *frameworks*. Seu princípio básico é o reuso de componentes prontos reduzindo, assim o tempo de desenvolvimento, o que evita erros comuns e aumenta a qualidade do produto. A utilização de um *SWING* proporciona a ferramenta GGCMTH ganhos de produtividade e qualidade interna.

Quando um programa é desenvolvido, é necessário tornar a solução proposta numa solução de qualidade. Ao se utilizar *frameworks* para definir uma arquitetura da aplicação, ou seja, dividi-la em módulos, ganha-se em modularidade e reusabilidade. O *SWING* é uma biblioteca de interface gráfica que permite o desenvolvimento de aplicações Java para *desktop*.

Além disso, o *SWING* permite ao programador desenhar os componentes, ao invés de passar essa tarefa ao Sistema Operacional, isto faz com que o programa fique com uma interface visual semelhante, independente de em qual Sistema Operacional ele irá ser executado, isto é, a visualização da ferramenta computacional e/ou de suas saídas será a mesma independente do Sistema Operacional, por exemplo, Linux ou Windows.

Na ferramenta de GGCMTH foi usado o *swing application framework* 1.03, que gerou

uma estrutura gráfica básica para a criação de aplicações *desktop* (APPFRAMEWORK, 2009).

3.7 Entrada de Dados em Arquivo do Tipo CSV

O CSV é um formato de arquivo que armazena dados tabelados e são suportados por toda plataforma de computador. Além disso, os arquivos do tipo CSV são simples de serem gerados. A Figura 3.2 mostra um exemplo de um arquivo do tipo CSV.

```
A;B;C
15,23;86,05;43,02
13,41;85,02;42,89
17,21;83,02;42,56
14,35;83,87;42,56
14,35;83,75;42,59
16,98;82,59;42,45
17,52;83,29;43,21
16,23;88,02;47,26
18,23;84,63;42,56
18,56;85,79;44,26
15,51;85,52;43,57
16,56;84,74;42,58
16,41;84,99;42,89
16,7;87,25;42,78
16,32;87,26;45,01
16,43;85,68;43,25
16,78;85,15;44,01
16,69;82,88;44,89
```

Figura 3.2 *Exemplo de Arquivo do Tipo CSV.*

O CSV é uma implementação peculiar de arquivos de texto separados por um delimitador, que utiliza o ponto e vírgula e a quebra de linha para separar os valores. Nos arquivos do tipo CSV também pode-se utilizar aspas em campos no qual são usados os caracteres especiais. A robustez do seu formato o torna mais amplo e atraente perante outros formatos digitais do mesmo segmento e a facilidade de encontrar ferramentas computacionais que gerem esse formato o torna quase imbatível.

Em sua forma básica, o CSV é uma sintaxe simples para a transferência de dados, além de facilitar o intercâmbio de dados e a sua reutilização por múltiplas aplicações.

3.8 Ferramenta Computacional GGCMTH

A ferramenta computacional GGCMTH é um aplicativo destinado a construção do gráfico multivariado T^2 de Hotelling. Além disso, o GGCMTH exhibe as principais es-

tatísticas necessárias à construção do gráfico. Para que o usuário possa analisar a influência de cada variável, durante a ocorrência de pontos além do limite de controle, o GGCMTH realiza a decomposição da estatística T^2 a partir do método proposto por Mason, Tracy e Young (1995).

O GGCMTH foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA a partir da plataforma J2SE e da utilização API's específicas, NetBeans e SWING. O código fonte, isto é, o programa de computador, que reúne todas as ferramentas necessárias à construção do GGCMTH, contém aproximadamente 2472 linhas de comandos e encontra-se disponível no arquivo GGCMTH_CF.ZIP que vêm junto com o executável do GGCMTH.

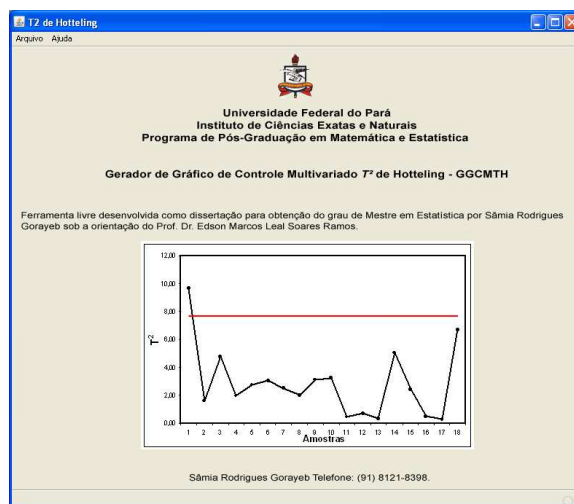


Figura 3.3 Tela Inicial do GGCMTH.

A Figura 3.3 apresenta a tela inicial do GGCMTH. Nela, pode-se observar que na barra superior é mostrada a sigla da ferramenta computacional gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling. Também pode-se ver os menus Arquivo e Ajuda, além das informações dos responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta computacional, ou seja, nome da instituição, do instituto, do programa de pós-graduação, do orientador e do desenvolvedor da ferramenta computacional.

A Figura 3.4 mostra um exemplo de planilha de entrada de dados após a execução do GGCMTH. Nela, pode-se ver os valores da estatística T^2 para cada amostra e a média de cada variável analisada. Também, destaca em vermelho o valor da amostra que encontra-se

T² de Hotelling

Arquivo: C:\Documents and Settings\adilson\Desktop\Gerador de Grafico de T2 de Hotelling\exemplo3.csv.html
 Data/hora de processamento: 12/02/2010 01:55:20

Amostras

#	A	B	C	T ² _h
1	15,23000000	86,05000000	43,02000000	1,61792190
2	13,41000000	85,02000000	42,89000000	4,78046122
3	17,21000000	83,02000000	42,56000000	1,98090731
4	14,35000000	83,87000000	42,56000000	2,76298877
5	14,35000000	83,75000000	42,59000000	2,86906574
6	16,98000000	82,59000000	42,45000000	2,50831472
7	17,52000000	83,29000000	43,21000000	1,99346834
8	16,23000000	88,02000000	47,26000000	9,64097267
9	18,23000000	84,63000000	42,56000000	3,14203436
10	18,56000000	85,79000000	44,26000000	3,24527775
11	15,51000000	85,52000000	43,57000000	0,46336384
12	16,56000000	84,74000000	42,58000000	0,69316317
13	16,41000000	84,99000000	42,89000000	0,34292583
14	16,70000000	87,25000000	42,78000000	5,03724484
15	16,32000000	87,26000000	45,01000000	2,41988805
16	16,43000000	85,68000000	43,25000000	0,48933588
17	16,78000000	85,15000000	44,01000000	0,29683394
18	16,69000000	82,88000000	44,89000000	6,71683167
Médias	16,30388889	84,87222222	43,46333333	2,83333333

LSC = /,54454500
 Distribuição F com $\alpha=0,02500000$

Figura 3.4 Exemplo de Planilha de Entrada de Dados Após a Execução do GGCMTH.

fora de controle estatístico. Além disso, no rodapé da planilha é mostrada o valor de LSC (limite superior de controle) e o valor de α utilizado na obtenção do valor da estatística F de Snedecor, utilizado no cálculo de LSC. Finalmente, tem-se uma legenda para melhorar o entendimento do usuário, com relação aos destaques que GGCMTH faz na planilha.

A Figura 3.5 apresenta um exemplo de matriz de covariância e matriz inversa de covariância após a execução do GGCMTH.

Matriz S

1,76362516 -0,08270327 0,21991569
S = -0,08270327 2,46764183 1,05236275
 0,21991569 1,05236275 1,54327059

Matriz S⁻¹

0,58776691 0,07814296 -0,13704266
S⁻¹ = 0,07814296 0,58180740 -0,40787228
 -0,13704266 -0,40787228 0,94563289

Figura 3.5 Exemplo de Matriz de Covariância e Matriz Inversa de Covariância após a Execução do GGCMTH.

A Figura 3.6 mostra um exemplo de gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling, gerado a partir do GGCMTH. Nela, pode-se observar uma linha em vermelho indicando o LSC e uma linha em azul indicando os valores da estatística T^2 , para cada amostra.

Além disso, para melhorar análise do usuário os valores de T^2 de cada amostra também são apresentados.

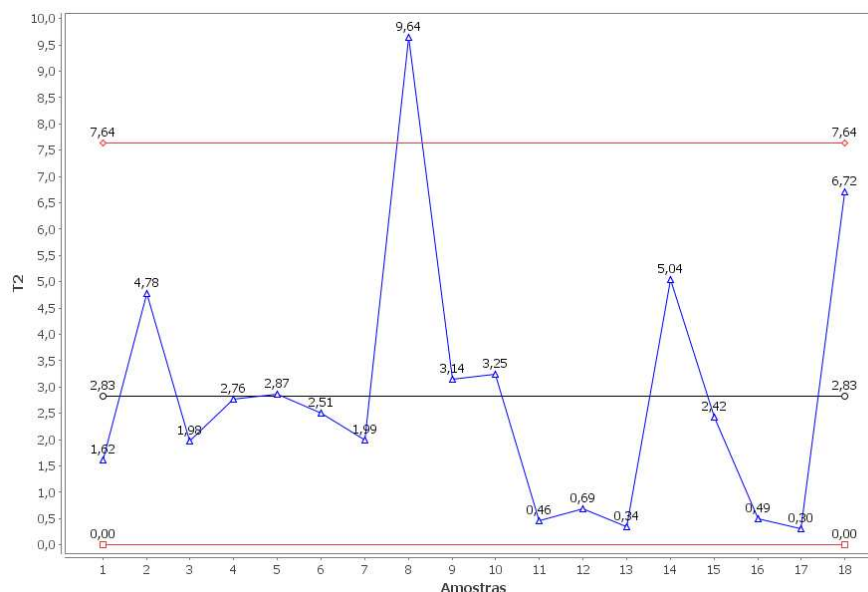


Figura 3.6 Exemplo de Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, Gerado a partir do GGCMTH.

A Figura 3.7 mostra um exemplo de decomposição da estatística T^2 , gerada a partir do GGCMTH, a partir do método proposto por Mason, Tracy e Young (1995).

Decomposições			
# amostra	T^2_1 (A)	$T^2_{2,1}$ (B)	$T^2_{3,2,1}$ (C)
8	0,00309565	3,76165995	5,87621707

Figura 3.7 Exemplo de Decomposição da Estatística T^2 , Gerada a partir do GGCMTH.

Neste capítulo foram apresentados o processo de desenvolvimento, a arquitetura adotada, a linguagem de programação escolhida, as bibliotecas, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica, a entrada de dados e a ferramenta computacional geradora de gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling (GGCMTH).

Ainda, pôde-se constatar que as tecnologias utilizadas no desenvolvimento da ferramenta computacional GGCMTH seguem os padrões internacionais atuais da área de desenvolvi-

mento de software. Finalmente, no próximo capítulo será mostrado a aplicabilidade do Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling.

Capítulo 4

Execução da Ferramenta Computacional GGCMTH

Neste capítulo mostra-se como executar a ferramenta computacional desenvolvida, seus pré-requisitos, a instalação do Java e como criar um arquivo do tipo CSV. Além dos menus, saídas e análises das saídas do GGCMTH.

4.1 Pré-requisitos para Utilização do GGCMTH

4.1.1 Instalação do Java

Para executar a ferramenta computacional GGCMTH é necessário instalar o Java. Para isso, basta acessar o site www.java.com como mostra a Figura 4.1 e fazer o *download* gratuito e sua instalação.



Figura 4.1 Tela do Site do Java para Download e Instalação.

4.1.2 Editor de CSV

Conforme foi mostrado na Seção 3.7 é necessário um editor de CSV para gerar o arquivo que irá armazenar o conjunto de dados, o qual irá conter os valores das amostras de cada variável. Um editor comum de um arquivo do tipo CSV é a planilha eletrônica Excel da Microsoft, porém vale ressaltar que existem diversos editores gratuitos de arquivo do tipo CSV, como por exemplo, o Calc da BrOffice (www.BrOffice.org.br).

Na Subseção 4.2.1 é exemplificado como se realiza a geração de um arquivo do tipo CSV, para tanto utiliza-se a planilha eletrônica Excel. A Figura 4.2 mostra a tela inicial da planilha eletrônica Excel.

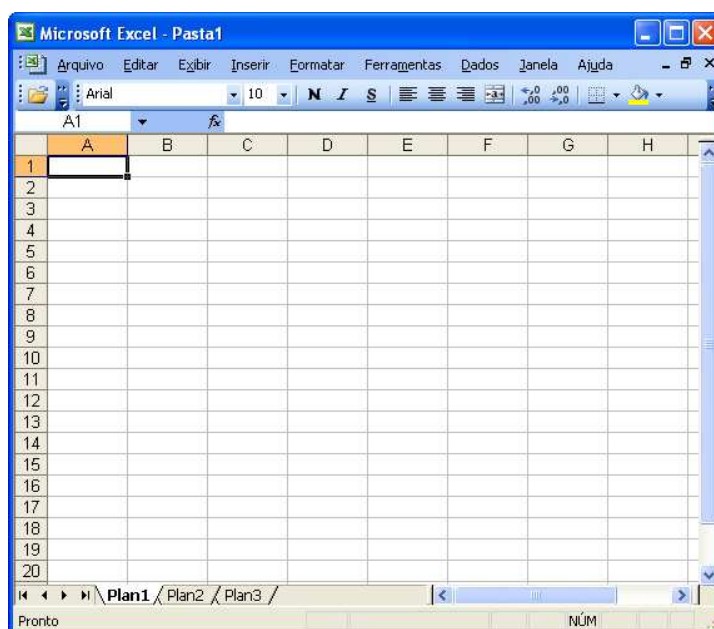


Figura 4.2 Tela Inicial da Planilha Eletrônica Excel.

4.1.3 Descompactando o GGCMTH

Como o GGCMTH é um programa executável, ele apresenta-se de maneira compactada e para executá-lo basta descompactá-lo no ambiente de trabalho do computador. A Figura 4.3 mostra o ícone do GGCMTH compactado. Vale lembrar que existem diversos aplicativos, disponíveis na internet, utilizados para compactar e descompactar arquivos e programas. O GGCMTH utiliza como descompactador o aplicativo Winzip.



Figura 4.3 Ícone do GGCMTH Compactado.

4.2 Utilizando o GGCMTH

Inicialmente, clica-se no ícone da ferramenta computacional GGCMTH. A Figura 4.4 apresenta o ícone do GGCMTH.



Figura 4.4 Ícone da Ferramenta Computacional GGCMTH.

Para ilustrar a construção do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling no GGCMTH, considere, inicialmente, o conjunto de dados apresentados por Mason, Tracy e Young (1992), que representa um processo químico, envolvendo a monitoria de três variáveis: o percentual de impurezas (X_1), a temperatura (X_2) e a concentração de determinada substância (X_3). Neste conjunto de dados são utilizadas medidas individuais e a amostra consiste em 14 observações para as três variáveis mencionadas. O conjunto de dados é apresentado na Figura 4.5.

4.2.1 Criando um Arquivo CSV

A Figura 4.5 apresentada conjunto de dados de Mason, Tracy e Young (1992), referente a um processo químico, envolvendo a monitoria de três variáveis: o percentual de impurezas (X_1), a temperatura (X_2) e a concentração de determinada substância (X_3), digitados na planilha eletrônica Excel.

Após digitar os dados na planilha eletrônica Excel é necessário salvar a planilha como arquivo do tipo CSV. Assim, durante o procedimento de salva a planilha com os dados o Excel permite ao usuário escolher tipo de arquivo a ser salvo, neste caso sendo obrigatório o tipo CSV. A Figura 4.6 ilustra o procedimento de como salvar um arquivo do Excel como um arquivo do tipo CSV.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X 1	X 2	X 3					
2	14,92	85,77	42,26					
3	16,90	83,77	43,44					
4	17,38	84,46	42,74					
5	16,90	86,27	43,60					
6	16,92	85,23	43,18					
7	16,71	83,81	43,72					
8	17,07	86,08	43,33					
9	16,93	85,85	43,41					
10	16,71	85,73	43,28					
11	16,88	86,27	42,59					
12	16,73	83,46	44,00					
13	17,07	85,81	42,78					
14	17,60	85,92	43,11					
15	16,90	84,23	43,48					
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

Figura 4.5 Dados de um Processo Químico (Mason, Tracy e Young, 1992), Digitados na Planilha Eletrônica Excel.

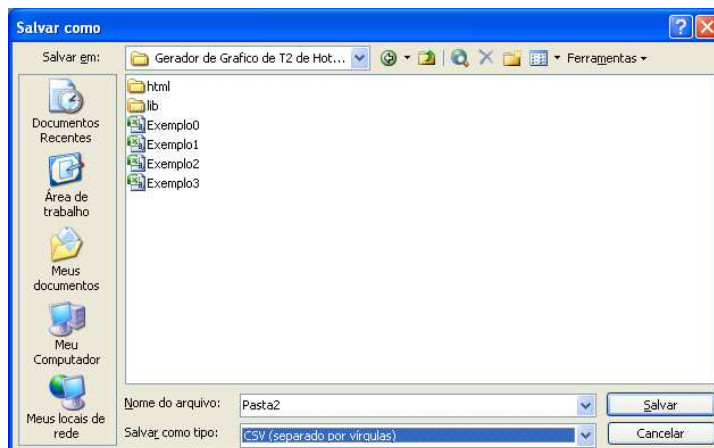
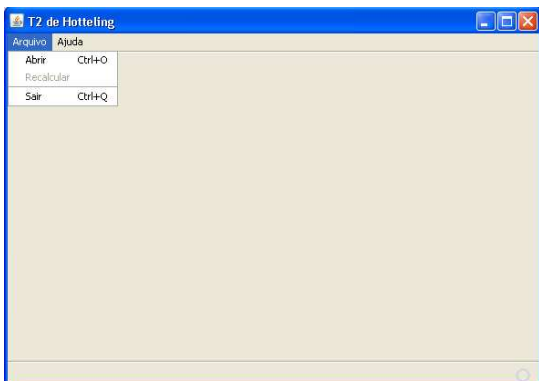


Figura 4.6 Ilustração do Procedimento de como Salvar um Arquivo do Excel como um Arquivo do tipo CSV.

4.2.2 Menus do GGCMTH

Ao executar o GGCMTH disponibilizam-se os menus Arquivo e Ajuda, apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8, respectivamente. No menu Arquivo têm-se as opções: Abrir, Recalcular e Sair e no menu Ajuda têm-se as opções: Manual do Usuário e Sobre. A seguir são descritas a utilidade de cada opção.

Figura 4.7 *Menu Arquivo.*Figura 4.8 *Menu Ajuda.*

i) Abrir: possibilita ao usuário introduzir o banco de dados que irá gerar o experimento. Lembrando que o mesmo deverá estar no formato CSV.

ii) Recalcular: permite ao usuário refazer os cálculos de um arquivo CSV aberto que sofreu alteração.

iii) Sair: encerra o programa e caso o usuário queira fazer novo experimento será necessário executá-lo novamente.

iv) Manual do Usuário: mostra ao usuário o funcionamento da ferramenta.

v) Sobre: Apresenta informações gerais sobre o GGCMTH.

4.2.3 Saídas do GGCMTH

A Figura 4.9 mostra a planilha de dados, de um processo químico, apresentado em Mason, Tracy e Young (1992), após a execução do GGCMTH. Nela, pode-se ver os valores da estatística T^2 para cada amostra e a média de cada variável analisada, isto é, do percentual de impurezas (X_1), da temperatura (X_2) e da concentração de determinada substância (X_3). Também, destaca em vermelho o valor da amostra que encontra-se fora de controle estatístico. Além disso, no rodapé da planilha é mostrado o valor de LSC = 7,13965776 e o valor de $\alpha = 0,025$, necessário para a obtenção do valor da estatística F de Snedecor, utilizado no cálculo de LSC. Finalmente, tem-se uma legenda para melhorar o entendimento do usuário, com relação aos destaques que GGCMTH faz na planilha.

T² de Hotelling

Arquivo: C:\Documents and Settings\ladilson\Desktop\Gerador de Grafico de T2 de Hotelling\exemplo3.csv.html
 Data/hora de processamento: 12/02/2010 01:55:20

Amostras

#	X1	X2	X3	T ₀
1	14,92000000	85,77000000	42,26000000	10,92574522
2	16,90000000	83,77000000	43,44000000	2,04101852
3	17,38000000	84,46000000	42,74000000	5,58271498
4	16,90000000	86,27000000	43,60000000	3,86395311
5	16,92000000	85,23000000	43,18000000	0,03718251
6	16,71000000	83,81000000	43,72000000	2,25341298
7	17,07000000	86,08000000	43,33000000	1,43537217
8	16,93000000	85,65000000	43,41000000	1,20767913
9	16,71000000	85,73000000	43,28000000	0,67655198
10	16,88000000	86,27000000	42,59000000	2,16923819
11	16,73000000	83,46000000	44,00000000	4,17172541
12	17,07000000	85,81000000	42,78000000	1,40027896
13	17,60000000	85,92000000	43,11000000	2,33195718
14	16,90000000	84,23000000	43,48000000	0,90316965
Médias	16,83000000	85,19000000	43,20857143	2,78571429

Legenda

- Amostra cujo valor T² está acima do LSC
- Amostra cujo valor T² não está acima do LSC

LSC = 7,13965776
 Distribuição F com $\alpha=0,025$

Figura 4.9 Planilha de Dados, de um Processo Químico, Apresentado em Mason, Tracy e Young (1992), após a Execução do GGCMTH..

Na Figura 4.10 são mostradas a matriz de covariância e matriz inversa de covariância, geradas pelo GGCMTH, para os dados do processo químico, apresentado Mason, Tracy e Young (1992).

Matriz S

$$S = \begin{bmatrix} 0,36406154 & -0,02141538 & 0,10035385 \\ -0,02141538 & 1,03658462 & -0,24436923 \\ 0,10035385 & -0,24436923 & 0,22499780 \end{bmatrix}$$

Matriz S⁻¹

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 3,23252464 & -0,36710130 & -1,84048261 \\ -0,36710130 & 1,33841042 & 1,61737736 \\ -1,84048261 & 1,61737736 & 7,02200979 \end{bmatrix}$$

Figura 4.10 Matriz de Covariância e Matriz Inversa de Covariância, Geradas pelo GGCMTH, para os Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992).

A Figura 4.11 mostra o gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling, para os dados do processo químico, apresentado Mason, Tracy e Young (1992), obtido a partir do GGCMTH. Nela, pode-se observar que o limite superior de controle está em vermelho e os valores da estatística T^2 das amostras estão ligados por uma linha azul.

A Figura 4.12 mostra os valores da decomposição da estatística T^2 de Hotelling, obtida

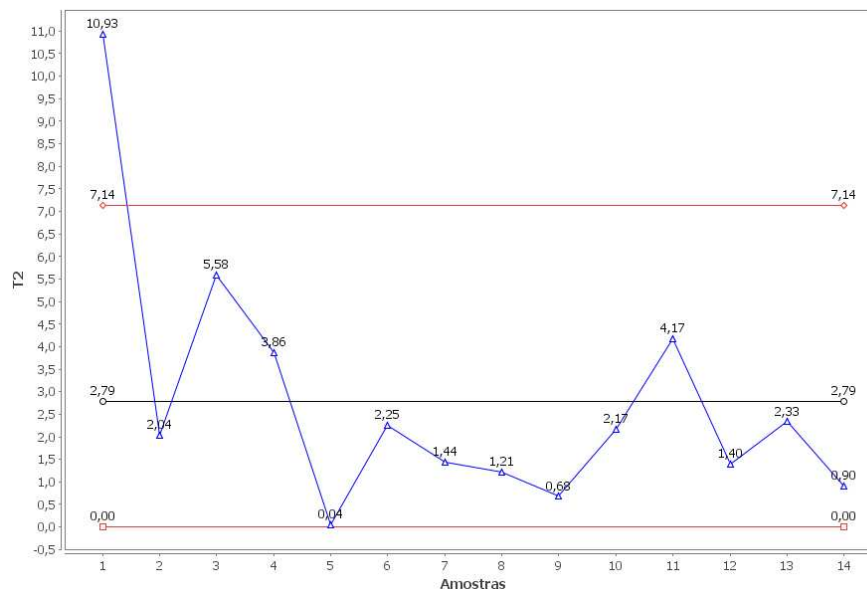


Figura 4.11 Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, para os Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992), obtido a partir do GGCMTH.

a partir do GGCMTH, para a 1ª amostra dos dados do processo químico, apresentado Mason, Tracy e Young (1992).

Decomposições			
# amostra	$T^2_1 (X1)$	$T^2_{2,1} (X2)$	$T^2_{3,2,1} (X3)$
1	10,02055865	0,21123202	0,69395454

Figura 4.12 Valores da Decomposição da Estatística T^2 de Hotelling, obtida a partir do GGCMTH, para a 1ª Amostra dos Dados do Processo Químico, Apresentado Mason, Tracy e Young (1992).

4.2.4 Análises das Saídas do GGCMTH

A partir das Figuras 4.9 e 4.11 pode-se observar que a 1ª amostra dos dados do processo químico, apresentado Mason, Tracy e Young (1992), encontra-se fora de controle estatístico, pois na Figura 4.9 a 1ª amostra está destacada em vermelho e na Figura 4.11 ponto referente ao valor da estatística T^2 da 1ª amostra ultrapassa o limite superior de controle.

O valor da estatística $T^2 = 10,93$, que levou a 1ª amostra dos dados do processo químico, apresentado por Mason, Tracy e Young (1992), encontrar-se fora de controle estatístico, é influenciado pelos valores originais das três variáveis deste processo, isto é, pelo percentual de impurezas (X_1), temperatura (X_2) e concentração de determinada substância (X_3). Assim, para se conhecer qual ou quais variáveis têm mais influência no valor da estatística T^2 , analisa-se os valores da decomposição de T^2 , apresentados na Figura 4.12. Nela, pode-se observar os valores de $T_1^2 = 10,0206$; $T_{2,1}^2 = 0,2112$; e $T_{3,2,1}^2 = 0,6940$. Como, T_1^2 é a contribuição da variável percentual de impurezas (X_1) na estatística T^2 , $T_{2,1}^2$ é a contribuição da variável temperatura (X_2) na estatística T^2 e $T_{3,2,1}^2$ é a contribuição da variável concentração de determinada substância (X_3) na estatística T^2 , a variável percentual de impurezas (X_1) é aquela que levou 1ª amostra dos dados do processo químico encontrar-se fora de controle estatístico.

Neste capítulo foi visto como executar a ferramenta computacional desenvolvida, seus pré-requisitos, a instalação do Java e como criar um arquivo do tipo CSV. Também, apresentou-se os menus, saídas e análises das saídas do GGCMTH. Finalmente, no próximo capítulo serão exibidas as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 5

Considerações Finais e Recomendações

5.1 Considerações Finais

Este trabalho teve o intuito de apresentar desenvolvimento de uma ferramenta computacional para geração do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, suas principais estatísticas e a decomposição da estatística T^2 de Hotelling.

Para tanto, inicialmente, foram mostrados os principais conceitos do controle estatístico da qualidade, os princípios de gráfico de controle, sua estrutura básica, os tipos de gráfico de controle e a relação entre gráficos de controle e teste de hipóteses, além do procedimento de construção, análise e interpretação do gráfico de controle multivariado de T^2 de Hotelling, bem como sua decomposição.

Além disso, mostrou-se o processo de desenvolvimento da ferramenta computacional denominada Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, detalhando sua arquitetura de funcionamento, a linguagem escolhida, a plataforma, o ambiente de desenvolvimento, a programação gráfica utilizada e a execução da ferramenta.

Foi visto como executar a ferramenta computacional desenvolvida, seus pré-requisitos, a instalação do Java e como criar um arquivo do tipo CSV. Também, apresentou-se os menus, saídas e análises das saídas do Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling.

A partir de um exemplo clássico da literatura, apresentado em Mason, Tracy e Young (1992), referente a um processo químico, envolvendo o monitoramento de 3 variáveis: o percentual de impurezas (X_1), da temperatura (X_2) e da concentração de determinada substância (X_3), pôde-se mostrar na prática a utilização do Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, suas saídas e análises das saídas do processo do estudo.

Destaca-se o fato do Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling ser uma ferramenta computacional com código aberto, além de ter sido desenvolvida numa linguagem moderna e respeitando as padronizações internacionais de projeto de software, com isso, qualquer desenvolvedor que deseje aprimorá-la ou utilizá-la como base para criação de outras ferramentas poderá fazê-lo. A vida útil da ferramenta tende a aumentar de acordo com a vida útil da linguagem a qual ela foi desenvolvida, neste caso, a linguagem Java por ser atual, muito utilizada e de tendência de mercado, prolonga a vida útil da ferramenta desenvolvida.

Vale lembrar que atualmente não existe nenhuma ferramenta computacional gratuita com essas características e, que possibilite o monitoramento e controle de processos e/ou serviços envolvendo dados multivariados. Finalmente, espera-se que Gerador do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling por atuar como facilitador na disseminação da utilização do gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling e sua Decomposição.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, podem-se destacar:

- i)* Desenvolver outros geradores de gráficos de controle multivariados, por exemplo, para o gráfico de controle multivariado de qui-quadrado;
- ii)* Estender a metodologia utilizada neste trabalho para desenvolver geradores de gráficos de controle univariados, por exemplo, para o gráfico de controle da mediana;
- iii)* Estender a metodologia utilizada neste trabalho para desenvolver geradores de gráficos de controle que monitoram conjuntamente variáveis correlacionadas, por exemplo, para o gráfico de controle de regressão.
- iv)* Estender a implementação do gráfico probabilístico para avaliar a distribuição multivariada do gráfico de T^2 de Hotelling com o método Bootstrap.

Referências Bibliográficas

APARISI, Francisco. Hotelling's T^2 control chart with adaptive samples sizes. International Journal of Production Research, 1996.

APPFRAMEWORK. Disponível em: <https://appframework.dev.java.net/>. Acessado em março de 2009.

BALESTRASSI, Pedro. P. Identificação de Padrões em Gráficos de Controle Estatístico de Processos, em tempo real, utilizando Séries Temporais e Redes Neurais Artificiais. Florianópolis, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

BANKS, J. Principles of Quality Control, New York: John Wiley & Sons, 1989.

COMMONS-MATH. Disponível em: <http://commons.apache.org/math/>. Acessado em julho de 2009.

COUTINHO, Luciano; CASSIOLATO, José Eduardo; SILVA, Ana Lucia G. da. Telecomunicações, globalização e competitividade. Campinas: Papirus, 1995.

DEITEL, II M. Java, como programar. Trad. Edson Furnankiewicz. 3.ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

DEMING, W. E. Out of the Crisis, Cambridge: First MIT Press Edition, 2000.

FDISTRIBUTION. Disponível em: <http://jsci.sourceforge.net/api/JSci/maths/statistics/-FDistribution.html>. Acessado em novembro de 2009.

GRANT, Eugene; LEAVENWORTH, Richard S. Statistical Quality Control. 5.ed., New York: McGraw-Hill, 1980.

HAWKINS, Douglas. M.; OLWELL, David. H. Cumulative Sum Charts and Charting for Quality Improvement. New York: Springer Verlag, 1998.

HOTELLING, H. Multivariate Quality Control. Techniques of Statistical Analysis. New York: McGraw-Hill, 1947.

JACKSON, J. E. Multivariate Quality Control. Communications in Statistics - Theory and Methods, 1985.

JFREECHART. Disponível em: <http://www.jfree.org/jfreechart/>. Acessado em agosto de 2009.

- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M.; BINGHAM, R. S. Quality Control Handbook. New York: McGraw Hill, 1979.
- LINDHOLM, T.; YELLIN, F. The Java Virtual Machine Specification. 2.ed., Reading: Addison - Wesley Longman, 1999.
- LOWRY, C. A.; MONTGOMERY, D. C. A Preview of Multivariate Control Charts. IIE Transactions, 1995.
- MANZANO, José Augusto Navarro Garcia; COSTA, Roberto Affonso Junior. Java 2 Programação de Computadores. 1.ed., Érica, 2006.
- MASON, R. L.; TRACY, N. D.; YOUNG, J. C. Multivariate Control Charts for Individual Observations. Journal of Quality Technology, 1992.
- MASON, R. L.; TRACY, N. D.; YOUNG, C. H. Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation. Journal of Quality Technology, 1995.
- MASON, R. L.; YOUNG, J. C. Multivariate statistical process control with industrial applications. Philadelphia: SIAM, 2002.
- MICHEL, R.; FLOGLIATTO, F. S. Projeto Econômico de Cartas Adaptativas para Monitoramento de Processos, 2000.
- MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control, 2.ed., New York: John Wiley & Sons, 1997.
- NETBEANS. Disponível em: <http://netbeans.org/>. Acessado em março de 2009.
- PALADINI, E. P. Controle de Qualidade: uma Abordagem Abrangente. São Paulo: Atlas, 1990.
- PIGNATELLO, J. J. Jr.; RUNGER, G. C. Comparisons of Multivariate CUSUM charts. Journal of Quality Technology, 1990.
- PRESSMAN, R. S. Software Engineering: a practitioner's approach. 6.ed., New York: McGraw Hill, 2005.
- RAMOS, E. M. L. S. Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade - Utilizando Quartis para Estimar o Desvio Padrão. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- RENCHER, A. C. The contribution of individual variables to Hotelling's T^2 . Wilks's and R^2 . Biometrics, 1993.
- ROBERTS, S. W. Control charts tests based on geometric moving averages, Technometrics, v. 1, n. 3, p. 239-250, August 1959.
- SCHAFF, Adam. A sociedade informática. São Paulo: Unesp, 1993.
- SDN-Sun Developer Network. Disponível em: <http://java.sun.com>. Acessado em Março de

2009.

SHEWHART, Walter A. Economic Control of Quality of Manufactured Product, Princeton: Van Nostrand Reinhold, 1931.

STATSOFT, INC. Statistica for Windows computer program manual. OK: Tulsa, 1995.

SULLIVAN, J. H.; WOODALL, W. H. Comparison of Multivariate Control Charts for Individual Observations. *Journal of Quality Technology*, 1996.

TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

VELOCITY ENGINE. Disponível em: <http://velocity.apache.org/>. Acessado em julho de 2009.

WADE, M. R.; WOODALL, W. H. A Review and Analysis of Cause - Selecting Control Charts. *Journal of Quality Technology*, 1993.

WESTERN ELECTRIC COMPANY, Inc. Statistical Quality Control Handbook. New York: Mack Printing Company, 1956.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)