



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE
DRESSAGEM UTILIZANDO SÉRIES
TEMPORAIS NO CONTROLE ESTATÍSTICO
DE PROCESSOS - CEP**

ALESSANDRA QUERINO DA SILVA

2003

ALESSANDRA QUERINO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE DRESSAGEM
UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS NO CONTROLE ESTATÍSTICO
DE PROCESSOS - CEP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Alessandra Querino da

Determinação do tempo ótimo de dressagem utilizando séries temporais no
Controle Estatístico de Processos – CEP / Alessandra Querino da Silva. --Lavras:
UFLA, 2003.

65 p. : il.

Orientador: Marcelo Silva de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Controle estatístico de processos. 2. Gestão da qualidade. 3. Séries
temporais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-519.232

ALESSANDRA QUERINO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE DRESSAGEM
UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS NO CONTROLE ESTATÍSTICO
DE PROCESSOS - CEP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para obtenção do título de “Mestre”.

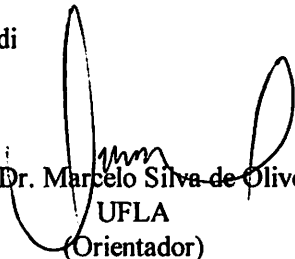
APROVADA em 18 de fevereiro de 2003

Profa. Dra. Marta Afonso Freitas

UFMG

Profa. Dra. Thelma Sáfyadi

UFLA


Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Nelson e Ana Maria.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	04
2.1 Histórico.....	04
2.2 Conceitos.....	06
2.3 O Papel da Estatística na Gestão da Qualidade.....	12
2.4 Controle Estatístico de Processo - CEP.....	12
2.4.1 Causas de Variação.....	13
2.4.2. Técnicas Utilizadas no CEP	14
2.4.2.1 Estratificação.....	15
2.4.2.2 Folha de Verificação	15
2.4.2.3 Gráfico (ou Diagrama) de Pareto.....	17
2.4.2.4 Diagrama de Causa e Efeito (ou Diagrama de Ishikawa)....	19
2.4.2.5 Histograma	21
2.4.2.6 Diagrama de Dispersão	22
2.4.2.7 Cartas ou Gráficos de Controle.....	23
2.4.2.7.1 Como Interpretar Gráficos de Controle	32
2.5 Capacidade de Processos.....	35
2.6 Séries Temporais	37
3. UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA	47
3.1 Uma Primeira Solução Simples	51
3.2 Melhorando a Abordagem Utilizando Séries Temporais	55

3.3 Conclusão.....	61
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e apoiaram.

Ao Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira pela amizade, conselhos e orientação em momentos decisivos do presente trabalho. Acredito que não poderia ter tido um orientador melhor para o meu mestrado.

À Profa. Dra. Thelma Sáfadi pela amizade, co-orientação e apoio.

Aos diretores e funcionários da empresa, em especial ao funcionário Wellington Geraldo Bueno, pela colaboração e disponibilidade de repassar todas as informações no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas da UFLA, que através das aulas ministradas contribuíram para minha formação.

Aos meus amigos pela solidariedade, companheirismo e otimismo durante as horas difíceis desta jornada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela colaboração financeira.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, Alessandra Querino da. **Determinação do Tempo Ótimo de Dressagem Utilizando Séries Temporais no Controle Estatístico de Processos - CEP.** Lavras: UFLA, 2003. 64 p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia/ Estatística e Experimentação Agropecuária)

Visando a melhoria do desempenho de processos industriais, as empresas manufatureiras utilizam-se do Controle Estatístico de Processos - CEP para controlar a variabilidade do processo. Assim, é possível intervir nas causas especiais que estão atuando, melhorando continuamente a qualidade do produto. Na fabricação de hastes de amortecedores, a rugosidade é uma característica importante da qualidade, a qual é determinada por especificações de engenharia. O equipamento utilizado para atender a estas especificações é denominado retífica "centreless". No decorrer do processo, esta retífica sofre um desajustamento, exigindo, portanto, uma intervenção do operador, denominada dressagem. Para proceder ao ajuste das retíficas, o operador deve determinar o período de tempo que deve comandar as intervenções, para que não haja nem mais intervenções do que o número necessário nem menos. Atualmente, este tempo é estabelecido em 45 minutos. Neste trabalho, foi analisado o comportamento de dados relativos ao sistema de produção da empresa TECNO de Lavras/MG, com o objetivo de determinar, cientificamente, o tempo ótimo de dressagem de tais retíficas. Inicialmente, foi apresentada uma solução simples, obtendo-se um tempo de aproximadamente 52 minutos para efetuar a dressagem. Como os dados são correlacionados no tempo, houve a necessidade de utilizar uma metodologia mais adequada para obtenção de resultados mais confiáveis. Para isto utilizou-se a metodologia de séries temporais. Neste caso, o tempo ótimo de dressagem foi de aproximadamente 73 minutos. Observa-se que, dispondo de uma metodologia mais adequada, houve um acréscimo de 28 minutos no tempo atualmente utilizado, implicando na diminuição do número de intervenções ao longo do tempo. Isso gera uma significativa redução do desperdício de tempo, dos esforços do operador e, adicionalmente, a solução de uma pendência nas auditorias de normas da gestão da qualidade.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processo; Gestão da Qualidade; Séries Temporais

Orientador: Marcelo Silva de Oliveira - UFLA
Co-orientadora: Thelma Sáfydi - UFLA

ABSTRACT

SILVA, Alessandra Querino da. **Determination of Optimum Time of Dressing Process Using Times Series to the Statistical Process Control – SPC.** Lavras: UFLA, 2003. 64 p. (Dissertation - Master in Agronomy/ Major in Statistics and Agricultural Experimentation).

Aiming the improvement of the performance of industrial processes, the manufacturing companies are used the Statistical Process Control -SPC to control the variability of the process. Thus, it is possible to intervene in the special causes that are acting, in the process, improving continuously the product quality. In the manufacture rods of shock absorbers, the rugosity is an important characteristic of the quality, which is determined by engineering specifications. The used equipment to take care of these specifications is called dressing machines "centreless". The operation of the process, break off this machines demanding, therefore, an intervention of the operator called dressing process. To proceed the adjustment from the grinding machines, the operator must determine the period of time that must command the interventions, so that they do not have nor more interventions of that the necessary number, nor less. Currently, this time is established in 45 minutes. In this work, the behavior of data originated from the operations system of the company TECNO of the Lavras/MG was analyzed, with the objective to determine, scientifically, the optimum time of dressing process of such machines. Initially, a simple solution was presented, getting a time of approximately 52 minutes to effect the dressing process. As the data are correlated in the time, there was the necessity to use a more adequate methodology for attainment of more trustworthy results. For this, it was used the methodology of times series. In this case, the optimum time of dressing process were of approximately 73 minutes. It is observed that making use of a more adjusted methodology, there was an addition of 28 minutes in the time currently used, implying in the reduction of the number of interventions. This fact generates a significant reduction of the time wastefulness, efforts of the operator and, additionally, the solution of a pendency in the auditorships of norms of the quality management.

Key Words: Statistical Process Control; Quality Management; Time Series.

Adviser: Marcelo Silva de Oliveira - UFLA
Co-Adviser: Thelma Sáfiadi – UFLA

1 INTRODUÇÃO

A agressiva competitividade presente na atual realidade de mercado faz com que as organizações despertem para a necessidade de um complexo e contínuo processo de transformação. Neste cenário, produtividade e qualidade são as duas componentes essenciais do equacionamento competitivo atual. O conceito geral de qualidade seria “tudo aquilo que satisfaz o cliente”, incluindo demandas tais como desempenho de produto, confiabilidade, durabilidade, conformidade, flexibilidade, rapidez nas entregas, inovação tecnológica, entre outras construídas na indústria, mais aquelas que envolvem aspectos intangíveis, tais como reputação (marca), atendimento e estética.

A qualidade está diretamente ligada à capacidade da organização em dominar a variabilidade. A produção de bens e serviços, suas melhorias e inovações são efeitos diretos da capacidade de fazer operar variações desejáveis e projetadas, e de impedir a operação de variações indesejáveis e prejudiciais. Esta posição central do controle da variabilidade na gestão de qualidade justifica a importância que esta tem em todo o pensamento e prática contemporânea visando qualidade. O controle da variabilidade, que é feito por conceitos, métodos e ferramentas estatísticas, induz a criação de dinâmicas de gestão, além de interrelacionar-se com outras ferramentas operacionais. Estas dinâmicas de gestão, por sua vez, induzem a criação de um sistema de gestão de qualidade, determinado também pelos princípios norteadores adotados, fechando, assim, o conjunto de itens presentes na gestão da qualidade. Esta cadeia de induções mostra claramente porque o atual estado de teoria e prática da gestão da qualidade depende e faz uso do CEP - Controle Estatístico de Processo, uma

técnica estatística criada e inicialmente desenvolvida nas décadas de 1920 e 1930, nos EUA.

Gráficos de controle da qualidade, um dos elementos do CEP, são bastante comuns na indústria manufatureira, principalmente naquelas de produção em massa. Em Lavras/MG, a empresa TECNO, que fabrica quase dois mil tipos de amortecedores diferentes, distribuídos para montadoras nacionais e internacionais, utiliza o CEP em muitos de seus pontos do sistema produtivo, tornando esta metodologia estatística um dos principais itens do seu sistema de garantia da qualidade.

Numa das etapas produtivas, a haste do amortecedor é trabalhada por uma máquina denominada retífica “centreless” (que é operada por um “colaborador”, terminologia adotada por esta empresa para “funcionário” e “operador”) para uniformizar sua rugosidade. A operação é realizada através de um desbaste ao longo da haste (que uniformiza a rugosidade). Este desbaste é feito por um rebolo interno à máquina, o qual é periodicamente retificado (pois ele também se desgasta) por uma peça denominada “diamante”. Esta operação de retífica denomina-se dressagem. Se tal retífica não for realizada, o rebolo desgastado irá produzir nas hastes uma operação irregular, causando defeitos, visíveis nas cartas de CEP, após um período de tempo suficientemente longo.

O problema da empresa neste ponto é a impossibilidade de determinar, de maneira objetiva e científica, o intervalo de tempo adequado para as intervenções que o colaborador deverá proceder. A supervisão deixa ao encargo do colaborador estas decisões do momento das intervenções, correndo-se, então, o risco de intervir mais, ou menos, do que o ideal. Esta subjetividade foi considerada uma pendência, na auditoria das normas de gestão da qualidade TS 16949, que necessita ser resolvida.

Este trabalho teve como enfoque estudar uma metodologia adequada para solucionar tal problema da empresa TECNO, que, pela exigência das

normas de gestão da qualidade, necessita, através da utilização de métodos e técnicas adequadas, garantir a melhoria contínua de seus processos produtivos.

Além deste, que é o capítulo introdutório, a presente dissertação está estruturada em mais três capítulos. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica de conceitos e metodologias para o desenvolvimento do trabalho. O capítulo 3 descreve uma aplicação na indústria e os benefícios para a empresa. O capítulo 4 finaliza o trabalho com algumas considerações importantes, assim como apresenta algumas propostas de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO

A História mostra os antigos esforços dos vários povos para a Ciência, Arte e Técnicas da Administração de Empresas, Empreendimentos e Negócios. A Gestão Qualidade moderna surge neste contexto, como um modo administrativo.

Nenhum de nós pode produzir tudo que necessita. Desde o início vivemos em interdependência, o que nos leva, então, às trocas, aos serviços mútuos. A quantidade e a qualidade de bens e serviços que uma pessoa recebe é função de muitas variáveis, entre elas o poder aquisitivo. Essencialmente, toda disputa econômica, toda luta de classes, todo esforço político, interno a uma nação ou internacional, almeja criar uma distribuição satisfatória de bens e serviços.

Na Antiguidade, as riquezas estavam distribuídas relativamente para poucos, em razão do sistema de produção vigente, que era artesanal. A vida era mais fácil para poucos. Este desequilíbrio levou a várias guerras. Foi por causa disto, por exemplo, que o Império Romano foi invadido pelos Bárbaros – a vida material era melhor para os súditos de Roma, pois havia mais bens e serviços do lado Romano da fronteira do que nas inóspitas condições da barbárie. Como um outro exemplo, enquanto a França experimentou uma sangrenta revolução por conta da concentração de bens e serviços para poucos, a Inglaterra (que passava por um forte movimento de ação evangelizadora e social por parte da Igreja de Cristo, fato que não aconteceu na França) foi beneficiada por uma crescente popularização de bens e serviços, através da sua Revolução Industrial. Este evento histórico lançou também as bases para o sistema de produção que viria a

ser conhecido como Produção em Massa. Bens e serviços para muitos – esta é a nova ordem desde então, e é nesse ambiente que se desenvolve a contínua luta das empresas pela competitividade.

Na década de 1920, W. A. Shewhart, enquanto trabalhava nos *Bell Telephone Laboratories*, nos Estados Unidos, investigava problemas da qualidade. Ele reconheceu que a variabilidade era natural nos processos e que seria entendida por meio de conceitos e técnicas de Probabilidade e Estatística. Assim, desenvolveu a Carta (ou Gráfico) de Controle, ferramenta básica do Controle Estatístico de Processos - CEP.

Após a Segunda Guerra Mundial, devido às mudanças políticas e econômicas, o Japão percebeu a necessidade de conquista de mercados e criação de maior número de empregos. A busca de vantagens competitivas fez com que a qualidade ganhasse um destaque especial. A qualidade dos produtos foi considerada como uma das condições necessárias para o sucesso japonês. Esse fato fez com que os japoneses adotassem uma estratégia que não privilegiaria somente os resultados a curto prazo.

Na década de 1950, W. E. Deming foi convidado pela JUSE (*Japanese Union of Scientists and Engineers*) a proferir palestras no Japão, possibilitando a consolidação do conceito da qualidade no país. Os japoneses importaram as técnicas de Inspeção por Amostragem e CEP dos EUA, adequando-as de acordo com as necessidades de suas empresas, e foram, além destas, criando outras técnicas inovadoras dentro da Gestão da Qualidade.

Deming popularizou o conceito da qualidade no Japão, desenvolvendo um sistema para o controle estatístico da qualidade. Enfatizava a responsabilidade da gerência no atingimento das metas da qualidade, baseando-se na necessidade de melhoria contínua.

Foi somente quando o Japão passou a ser considerada uma nação líder em qualidade, que o mundo despertou para a importância da obtenção de

produtos estatisticamente estáveis e capazes de atender às necessidades dos clientes. Na implementação efetiva da qualidade, espera-se envolver a cooperação de todas as pessoas da empresa, incluindo representantes de funções tais como marketing, pesquisa, desenvolvimento, aquisição, fabricação e prestação de serviço a clientes. Esta abordagem para qualidade é conhecida como Controle da Qualidade Total (CQT, ou, em inglês, *TQC*¹ – *Total Quality Control* ou *CWQC* – *Company Wide Quality Control*).

O movimento TQC do Japão recebeu influência da proposta do TQC formulado nos EUA, em meados da década de 1950, por Armand Feigenbaum. O Controle da Qualidade Total serviu como modelo para os primeiros esforços japoneses para integrar múltiplas funções dentro do processo da qualidade e delinear a qualidade dentro de novos produtos (Garvin, 1992).

A abordagem japonesa para o gerenciamento da qualidade tem crescido com o tempo, tornando-se ampla em conceitos e filosofia.

No Brasil, o CEP vem sendo implantado em um número cada vez maior de empresas, devido à eficácia na melhoria da produtividade das operações e também como exigência das normas de gestão da qualidade ISO 9000 e congêneres. Em última análise, quando o CEP é usado adequadamente, reduz custos, aumenta a produtividade e melhora a posição competitiva da empresa.

2.2 CONCEITOS

Uma indústria que pratica a Gestão da Qualidade na visão moderna, tal como a empresa TECNO de Lavras/MG, pode estar trabalhando sob a tutela de diversas *normas* (tipo de documento normativo que contém descrições e prescrições que estabelecem os procedimentos técnicos adotados, definem valores, fazem recomendações, estabelecem limites e regras de maneira

¹ O TQC japonês foi reinterpretado nos EUA como *TQM* – *Total Quality Management*.

ordenada, uniformizam termos e símbolos (Prazeres, 1996)) de qualidade ao mesmo tempo. A razão desta pluralidade é a necessidade de atender clientes de diferentes países, com diferentes expectativas de qualidade. Normalmente, a norma ISO 9000 constitui-se como um “núcleo” destas várias normas, a qual adicionam-se as outras normas exigidas pelos clientes/compradores. Como exemplo, na empresa, além da ISO 9000, são atendidas também as normas QS 9000 (Ford, Chrysler, General Motors), VDA 6.1 (Mercedes), AVSQ'94 (Fiat), entre outras. Para contornar o problema de atender a múltiplas normas, com requisitos possivelmente conflitantes, ou pelo menos de difícil conciliação, criou-se uma outra norma, a TS 16949, a qual teria por finalidade harmonizar todas estas outras normas individuais (veja Figura 1).

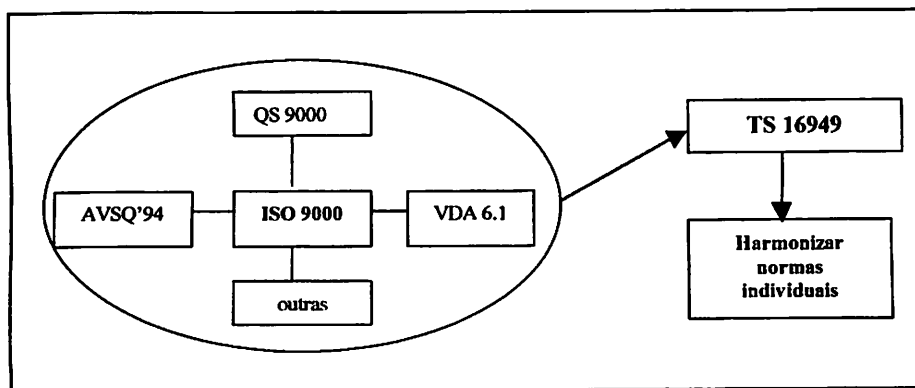


FIGURA 1– Esquema de agregação de pontos de várias normas ISO 9000 dando origem a norma TS 16949

O desenvolvimento de técnicas e teorias da qualidade teve seu reconhecimento na década de 50, no período pós-guerra, através de autores conhecidos mundialmente como os "Gurus da qualidade". Os anos de 60, 70 e 80, caracterizam-se como os da extensão do conceito básico da qualidade para novas e abrangentes ampliações. Atualmente as contribuições das obras de

autores como William E. Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum, Philip B. Crosby, Kaoru Ishikawa, Genichi Taguchi e David A. Garvin, publicadas originalmente nos períodos acima citados, são conhecidas em praticamente todos os países em que indústrias desenvolvem atividades de produção de bens e serviços sob o prisma da Gestão da Qualidade.

Cada um destes autores, apesar de tratarem do mesmo assunto, apresenta um enfoque e uma abordagem um tanto diferente da qualidade.

O enfoque de Deming (1990) para a qualidade é voltado para o uso da Estatística em processos, focalizando os problemas da variabilidade e suas causas. Técnicas estatísticas como gráficos de controle de processos, são propostos por permitirem a distinção entre "causas especiais e comuns". As primeiras são atribuídas a indivíduos ou máquinas, e as outras são pertencentes ao sistema e são inevitáveis. Uma das invenções mais conhecida de Deming é uma abordagem sistêmica para a solução de problemas da qualidade, conhecida como Ciclo de Deming ou PDCA – Plan (planejar), Do (fazer), Check (checar), Action (agir), método base para a análise de processos em todos os níveis da organização.

Juran (1990) define a qualidade como "qualidade é desempenho do produto" e também como "qualidade é a ausência de falhas". Mas a sua definição mais conhecida é "qualidade como adequação ao uso", ou seja, a qualidade deve ser conceituada a partir do usuário, e deve ser vista de maneira global em todos os aspectos do gerenciamento em uma organização. Juran é reconhecido como o profissional que acrescentou dimensão humana à qualidade, ampliando suas origens estatísticas, criando as bases do que chamamos hoje de gestão da qualidade. O autor aborda qualidade sob dois aspectos. O primeiro refere-se à qualidade como um maior número de características que satisfazem

às necessidades dos clientes. O segundo aspecto relaciona-se à “liberdade de problema”, ou seja, alta qualidade consiste em poucos defeitos.

A contribuição de Feigenbaum refere-se ao conceito de "Controle da Qualidade Total", nos anos 60 e 70, como um sistema eficiente para a integração do desenvolvimento da qualidade, da manutenção da qualidade e dos esforços de melhoramento da qualidade em todos os níveis econômicos e por toda a empresa. Feigenbaum conceitua a qualidade como "um conjunto de características incorporadas ao produto através de projeto e manufatura que determina o grau de satisfação do cliente" (Oliveira, 2000).

Segundo Crosby (1991), qualidade é “conformidade aos requisitos”. Não se trata, pois, de uma mera adequação aos requisitos, mas de uma fiel conformidade aos mesmos. Para que todos os requisitos dos clientes sejam cumpridos, e com isso obter-se a qualidade dos produtos e serviços que eles querem, cabe à gerência realizar "três tarefas básicas: estabelecer os requisitos que os empregados devem cumprir, fornecer o material de que necessitam para cumprir tais requisitos, e permanecer incentivando e ajudando os empregados a cumprir tais requisitos" (Crosby, 1991).

De acordo com Oliveira (2000), Ishikawa é considerado, junto com Feigenbaum, um dos pioneiros no Controle da Qualidade Total. Para ele, a qualidade deve ser entendida através de uma ampla visão da empresa, e controlada em todas as suas manifestações. Em sua obra é forte a ênfase no papel social da empresa, numa ação que contemple fatores humanos dentro e fora da organização: deve-se compreender a qualidade como inerente ao trabalho, fazendo parte e sendo resultado do trabalho, com a construção da qualidade de vida de cada um e da sociedade. Uma das realizações de Ishikawa que contribuiu para o sucesso dos círculos de qualidade foi o diagrama de causa

e efeito, batizado posteriormente de diagrama de Ishikawa. É uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada para analisar e resolver problemas.

O termo engenharia da qualidade foi adotado por Genichi Taguchi, o qual defendia que "o preço representa, para o consumidor, uma perda na hora da compra, e a baixa qualidade representa uma perda adicional para ele durante o uso do produto. Um dos objetivos da engenharia da qualidade deve ser a redução da perda total para o cliente" (Oliveira, 2000).

O trabalho de Garvin (1992) pode ser considerado definitivo no aspecto dinâmico da definição do termo qualidade, quando mostra que o conceito sofre modificações simultâneas às atividades de concepção, projeto, fabricação e comercialização do produto. Segundo ele, "qualidade tem oito dimensões" (veja Quadro 1). Embora sob diferentes pontos de vista, a ênfase no consumidor é o aspecto mais importante das dimensões em que Garvin (1992) desenvolveu em sua obra.

Segundo Montgomery (1997), a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade, e a melhoria de qualidade é a redução na variabilidade em processos e produtos, a qual, em excesso, gera produtos defeituosos. Assim, o emprego de ferramentas estatísticas, como, por exemplo, o Controle Estatístico de Processos-CEP, contribui para que a redução da variabilidade possa ser alcançada de forma eficaz.

QUADRO 1: DIMENSÕES PARA A QUALIDADE, SEGUNDO GARVIN(1992)

Dimensões	Definição
Desempenho	Características fundamentais de um produto.
Características	Características secundárias de um produto, seus adereços que suplementam as características fundamentais. A distinção entre o que é fundamental e o que é secundário é função subjetiva do usuário.
Confiabilidade	Reflete a probabilidade de mau funcionamento de um produto ou de falhas num determinado período.
Durabilidade	Medida da vida útil do produto. Há duas dimensões: técnica e econômica.
Conformidade	É o grau em que o projeto e as características operacionais de um produto estão de acordo com padrões pré-estabelecidos.
Atendimento	Algumas variações associadas com a qualidade do atendimento podem ser objetivamente medidas; já outras são subjetivas.
Estética	São percepções dos cinco sentidos mais o "agrado" que eles produzem.
Qualidade percebida	São as percepções indiretas de qualidade, não a própria qualidade. Propaganda e reputação, principalmente.

Fonte: Oliveira (2000)

2.3. O PAPEL DA ESTATÍSTICA NA GESTÃO DA QUALIDADE

Num país em que a qualidade está se tornando dia a dia um fator decisivo na competição entre as empresas, os métodos estatísticos ajudam a mostrar o caminho a ser seguido.

A *Estatística* é uma ciência que ajuda a tomar decisões com base em fatos e dados, e não simplesmente em opiniões, facilitando o estabelecimento de conclusões confiáveis sobre algum fenômeno que esteja sendo estudado (Werkema, 1995).

As técnicas estatísticas são muito úteis para o controle da qualidade de bens e serviços e, por esse motivo, o conhecimento destes métodos está se tornando cada vez mais importante em programas da qualidade e produtividade.

A Estatística é muito importante em um programa para a melhoria da qualidade porque as técnicas estatísticas podem ser utilizadas para descrever e interpretar as causas que levam à variabilidade aleatória, não prevista, a qual é responsável pela fabricação de produtos defeituosos. Atualmente, técnicas e métodos estatísticos são requisitos básicos para uma empresa ser certificada com a ISO 9000, o que faz com que as empresas busquem a implantação de técnicas adequadas para alcançar seus objetivos de melhoria contínua dos processos. Esta função da Estatística será melhor explicada na próxima seção.

2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO – CEP

O CEP preconiza que a qualidade deve ser conduzida simultaneamente com o processo produtivo dos bens e serviços (controle de processo), ao invés da inspeção após a produção, em que se separam os produtos bons daqueles que são defeituosos. Seu enfoque está na prevenção de defeitos ou erros. É muito mais fácil e econômico fazer certo da primeira vez, do que depender de seleção e

retrabalho de itens que não sejam perfeitos, além de sofrer prejuízos com o desperdício de itens que não possam ser retrabalhados. Em suma, a idéia do CEP focaliza a ação sobre o processo (causa) que gerou o defeito, e não sobre o produto (efeito) em si.

O desempenho do *processo* (conjunto de atividades planejadas e interrelacionadas, realizadas com o objetivo de gerar produtos e/ou serviços que atendam às necessidades de clientes) em termos de qualidade e produtividade depende de dois fatores: a forma pela qual ele é projetado e como é operado.

Qualquer processo apresenta variabilidade, a qual ocorre naturalmente e está presente em tudo. Ela é inerente aos processos e não pode ser totalmente eliminada, mas pode ser controlada dentro de limites aceitáveis. A variação nas características da qualidade existe em função das diferenças entre operários, lotes de matéria-prima, equipamentos, instrumentos de medição, etc. Entretanto, as causas de variação podem ser divididas em dois grupos: causas comuns e causas especiais.

2.4.1 CAUSAS DE VARIAÇÃO

Uma causa comum (ou causa aleatória) é definida como uma fonte de variação que afeta o processo, resultante da variabilidade natural, é inerente ao processo considerado, e que estará presente mesmo que todas as operações sejam executadas empregando métodos padronizados. Quando apenas as causas comuns estão atuando em um processo, a quantidade de variabilidade se mantém em uma faixa estável, conhecida como faixa característica do processo. Neste caso, dizemos que o processo está *sob controle estatístico*, apresentando um comportamento estável e previsível.

Já as causas especiais (ou causas identificáveis) de variação surgem esporadicamente, devido a uma situação particular que faz com que o processo

se comporte de um modo completamente diferente do usual, o que pode resultar em um deslocamento do seu nível de qualidade. Quando um processo está operando sob a atuação de causas especiais de variação, dizemos que ele está *fora de controle estatístico* e, neste caso, sua variabilidade geralmente é bem maior do que a variabilidade natural. As causas especiais de variação devem ser, de modo geral, localizadas e eliminadas, e além disto devem ser adotadas medidas para evitar sua reincidência. Alguns exemplos de causas especiais de variação são: um lote de matéria-prima com problema, a admissão de um novo operador para a realização de uma tarefa, uma desregulagem ocasional da máquina, a utilização de um novo tipo de matéria-prima e o descumprimento dos padrões operacionais.

A importância de se distinguir entre causas comuns e especiais de variação reside no fato de que o tipo de *ação* a ser adotada está em diferentes esferas da empresa. A eliminação de causas especiais exige uma ação local, que pode ser tomada por pessoas próximas ao processo, como, por exemplo, os operários. Já as causas comuns exigem ações sobre o sistema de trabalho, que somente podem ser tomadas pela administração, visto que o processo é, em si, consistente, mas mesmo assim incapaz de atender às especificações.

Uma vez que o processo seja estável e se saiba o que esperar dele, pode-se determinar se é possível atender às especificações ou necessidades dos clientes. Caso o processo não seja capaz, deve-se atuar na eliminação das causas especiais de variação, diminuindo, assim, a variabilidade total das características da qualidade que determinam o bom desempenho do produto.

2.4.2 TÉCNICAS UTILIZADAS NO CEP

Várias ferramentas estatísticas podem ser utilizadas para o conhecimento e a análise da variabilidade presente nos processos produtivos. Dentre estas

ferramentas, segundo Werkema (1995), é importante destacar as chamadas “**Sete Ferramentas da Qualidade**”:

- 1.Estratificação
- 2.Folha de Verificação
- 3.Gráfico de Pareto
- 4.Diagrama de Causa e Efeito
- 5.Histograma
- 6.Diagrama de Dispersão
- 7.Cartas de Controle

2.4.2.1 ESTRATIFICAÇÃO

Quando os mesmos produtos são fabricados, por exemplo, em várias máquinas ou por vários operadores, é mais conveniente classificá-los de acordo com a máquina e o operador, de modo que a diferença entre eles possa ser analisada e o controle do processo fique fácil.

A *Estratificação* consiste na divisão de um grupo de valores observados ou medidos em subgrupos, com base em determinados fatores, os quais são conhecidos como fatores de estratificação. É um método de identificação e classificação da variação dos dados coletados. A estratificação é utilizada principalmente com o objetivo de possibilitar uma análise das diferenças quanto à média e à variação entre diferentes classes, pesquisar oportunidades de melhoria e a tomada de medidas corretivas, quando necessárias (Prazeres, 1996).

2.4.2.2 FOLHA DE VERIFICAÇÃO

A *Folha de Verificação* é a ferramenta da qualidade utilizada para facilitar o processo de coleta e registro de dados, de forma a contribuir para

otimizar uma posterior análise dos dados obtidos. É um formulário no qual um conjunto de dados pode ser sistematicamente coletado e registrado de maneira ordenada e uniforme, permitindo rápida interpretação de resultados. Deve ser projetada de forma a permitir a coleta de diferentes tipos de dados e indicar claramente quem os coletou, a fonte, o período de tempo da coleta, como foram coletados e a população de onde foi obtida.

O tipo de folha de verificação a ser utilizado depende do objetivo da coleta dos dados. Normalmente essa ferramenta é utilizada após a definição das categorias para estratificação dos dados. A Figura 2 apresenta um exemplo de uma folha de verificação para classificação de defeitos em hastes de amortecedores de automóveis.

FOLHA DE VERIFICAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS		
Produto: <u>Hastes de amortecedores de automóveis</u>		
Estágio de Fabricação: <u>Inspeção final</u>		
Tipo de defeito: <u>Desgaste do rebolo, Qualidade do aço, Erros do operador, Defeito na máquina</u>		
Data: <u>03/02/2003</u>		
Seção: <u>Cromação</u>		
Inspetor: <u>Paulo da Silva</u>		
Observações: _____		

Defeito	Contagem	Sub-total
Desgaste do rebolo		
Qualidade do aço		
Erros do operador		
Defeito na máquina		
Outros		
	Total	

FIGURA 2 - Folha de Verificação para Classificação de Defeitos em Hastes de Amortecedores de Automóveis

2.4.2.3 GRÁFICO (OU DIAGRAMA) DE PARETO

O *Gráfico de Pareto* é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de problemas e projetos. Seu enfoque estatístico é usado para classificação de causas atribuíveis de defeitos, não-conformidades, custos, etc., de acordo com a frequência de ocorrência.

Segundo Prazeres (1996), em 1897, o sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1843-1923) apresentou uma teoria para modelar a desigualdade da distribuição de renda. Uma teoria similar foi expressa em forma de diagrama pelo economista americano M. C. Lorenz, em 1907. Juran foi o primeiro a notar que essa teoria se aplicava aos problemas de qualidade – a distribuição dos problemas e de suas causas eram desiguais. No campo da qualidade, o Dr. J. M. Juran aplicou o método do diagrama de Lorenz, principalmente no Japão, como uma forma de classificar prioridade de problemas, e deu o nome a esse método de Análise de Pareto, demonstrando que, em muitos casos, a maioria dos defeitos (ou não-conformidades) e o custo deles são originados de um número relativamente pequeno de causas.

O Diagrama de Pareto é usado quando é preciso dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e também quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los. O diagrama construído corretamente indica as áreas mais problemáticas, seguindo uma ordem de prioridade (Bouer, 1998).

O Princípio de Pareto estabelece que os problemas relacionados à qualidade (percentual de itens defeituosos, número de reclamações de clientes, modos de falhas de máquinas, perdas de produção, gastos com reparos dentro do prazo de garantia do produto ou serviço, ocorrências de acidentes de trabalho, entre outros), se traduzem sob a forma de perdas, cuja prioridade pode ser

classificada em duas categorias: os *poucos vitais* e os *muitos triviais*. Os *poucos vitais* representam um pequeno número de problemas, mas que, no entanto, resultam em grandes perdas para a empresa. Já os *muitos triviais* são uma extensa lista de problemas, mas que, apesar de seu grande número, convertem-se em perdas pouco significativas. Em outras palavras, o princípio de Pareto estabelece que, se forem identificados, por exemplo, cinquenta problemas relacionados à qualidade, a solução de apenas cinco ou seis destes problemas já poderá representar uma redução de 80 ou 90% das perdas que a empresa vem sofrendo devido à ocorrência de todos os problemas existentes. Este princípio também estabelece que um problema pode ser atribuído a um pequeno número de causas. Logo, se forem identificadas as poucas causas vitais dos poucos problemas vitais enfrentados pela empresa, será possível eliminar quase todas as perdas por meio de um pequeno número de ações corretivas. Isto é, deve-se concentrar a atenção sobre os poucos vitais, deixando de lado os muitos triviais, para que os problemas possam ser resolvidos de forma mais eficiente possível.

A Figura 3 mostra um possível gráfico de Pareto para classificação dos defeitos de hastes de amortecedores, utilizado aqui para ilustração da técnica.

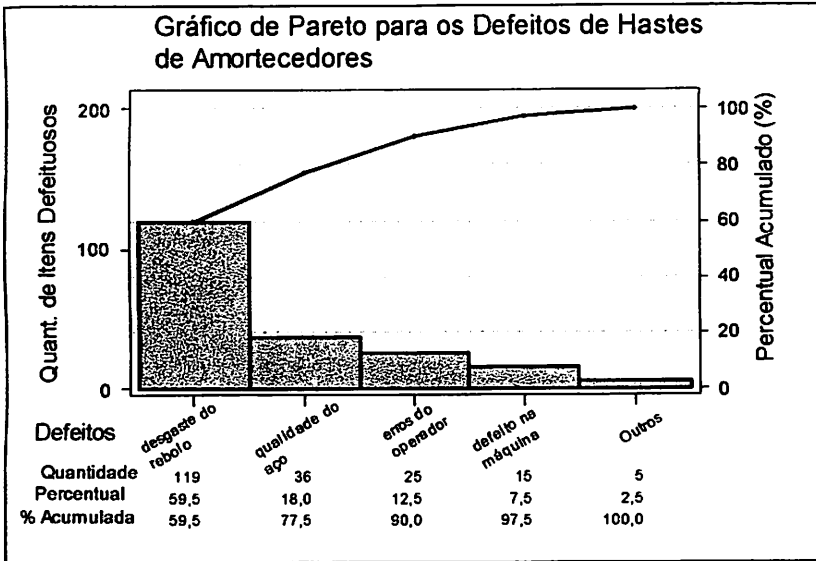


FIGURA 3 – Gráfico de Pareto para Classificação dos Defeitos de Hastes de Amortecedores

2.4.2.4 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (OU DIAGRAMA DE ISHIKAWA)

O *Diagrama de Causa e Efeito* é uma figura composta de linhas e símbolos, representando uma relação significativa entre efeito e suas possíveis causas. Permite descrever situações complexas, muito difíceis de serem descritas e interpretadas somente por palavras. É uma técnica visual que interliga os resultados (efeitos) com os fatores (causas), propiciando uma visualização prática das variáveis que afetam um processo analisado ou um problema, sendo uma das mais importantes ferramentas do ciclo de melhoria da qualidade de processos. As causas são divididas em “famílias”, podendo compreender a mão-

de-obra, métodos, materiais, máquinas, medidas e meio ambiente (6M) e, às vezes, também dinheiro e gerenciamento (8M).

O diagrama de Ishikawa constitui uma metodologia de análise sendo, portanto, um meio e não um fim de solucionar um problema. Tem muitas utilidades, como, por exemplo: análise de um problema; estabelecimento/retificação de uma norma ou procedimento operacional; introdução de melhorias; introdução/condução de atividades à garantia ou ao controle de qualidade. Proporciona ao gerente ou aos responsáveis por determinado processo um melhor entendimento de que ele(s) tem (têm) autoridade sobre as causas e responsabilidades sobre os efeitos (resultados) de um processo. A análise de causa-e-efeito dos problemas que afetam a qualidade em uma organização deve ser gerenciada pela administração. Como exemplo, tem-se a Figura 4.

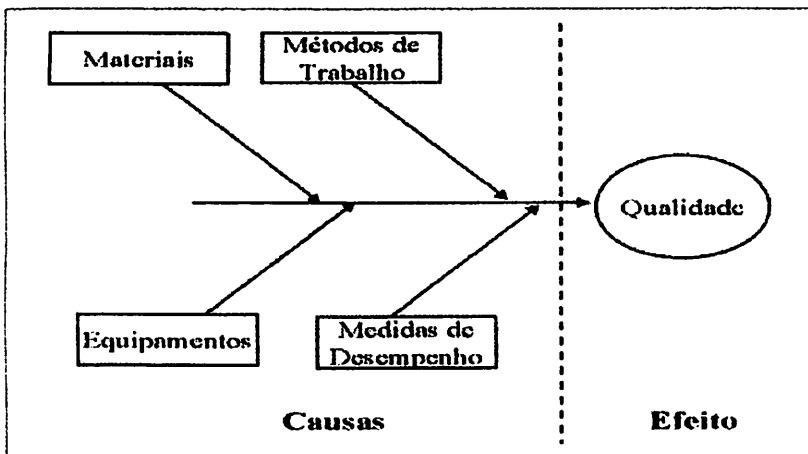


FIGURA 4 – Diagrama de Causa e Efeito

2.4.2.5 HISTOGRAMA

Define-se *histograma* como uma seqüência de retângulos com bases iguais, justapostos, em que cada retângulo tem como base a amplitude e como altura a freqüência simples (absoluta, relativa ou percentual) da classe que representa (lemma, 1992). Ele permite verificar facilmente a forma da distribuição, a média e a dispersão dos dados. Através da organização de dados num histograma é possível, num rápido exame, obter informações úteis sobre um conjunto de dados, amostra, lote ou população, incluindo uma visão geral da variabilidade dos dados. Sua utilização ajuda a identificar e descrever um problema em termos de sua especificidade e extensão, bem como analisar a evolução em decorrência de medidas corretivas adotadas (Prazeres, 1996). Como exemplo, tem-se a Figura 5.

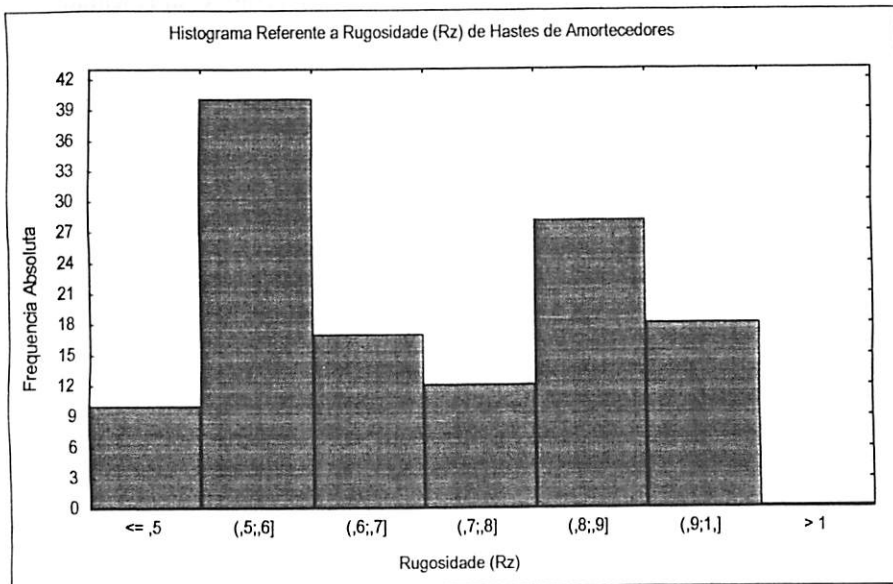


FIGURA 5 - Histograma referente à variável rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores

2.4.2.6 DIAGRAMA DE DISPERSÃO

Quando duas (ou mais) variáveis apresentam uma tendência de variação conjunta, ou seja, quando o valor de uma se altera, o da outra também se altera, diz que estão correlacionadas.

A existência de correlação entre duas variáveis indica uma possível relação de causa e efeito que, portanto merece uma maior investigação (Bouer, 1998).

A correlação entre as variáveis pode ser analisada através de um *diagrama de dispersão*, que nada mais é do que um gráfico cartesiano, com os pares de ordenadas e abscissas de cada ponto marcado nele. Quando os pontos estiverem mostrando uma tendência, pode-se dizer que há existência de correlação.

Um possível aspecto de um diagrama de dispersão é apresentado na Figura 6.

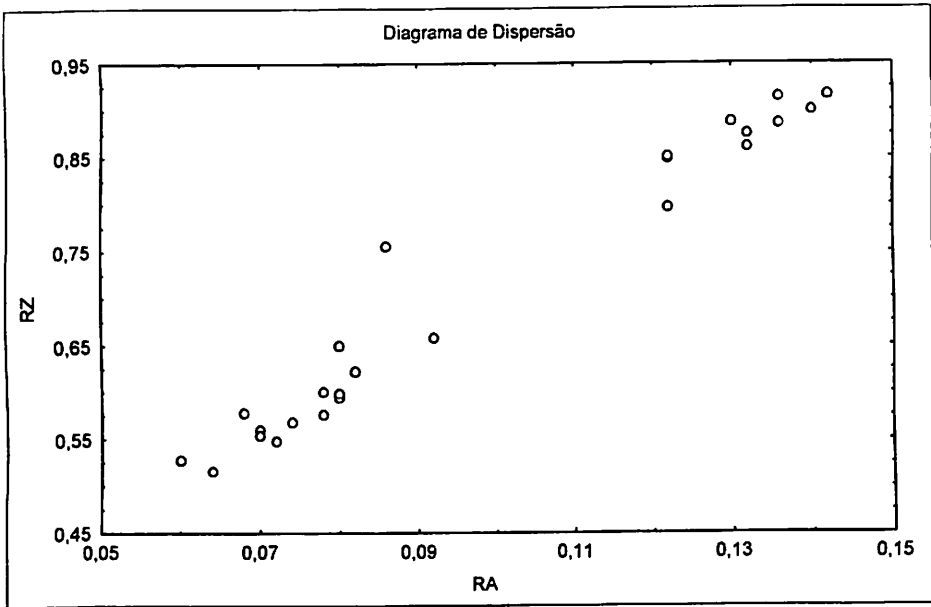


FIGURA 6 - Diagrama de Dispersão Referente à Rugosidade, em unidades Ra versus Rz

2.4.2.7 CARTAS OU GRÁFICOS DE CONTROLE

Dentre as diversas ferramentas do Controle Estatístico de Processos - CEP, as cartas (ou gráficos) de controle são, sem dúvida, as mais importantes.

Um gráfico de controle nos informa se o processo está ou não sob controle estatístico. É importante destacar que ele não “descobre” quais são as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação destas causas.

As cartas de controle possuem três objetivos básicos:

- a) verificar se o processo estudado está *estatisticamente estável* (ou *sob controle*), ou seja, se não há presença de causas especiais de variação;

- b) verificar se o processo estudado *permanece estável* (é capaz de operar durante todo o tempo dentro dos limites de controle estatístico do processo), indicando quando é necessário atuar sobre ele;
- c) permitir o *aprimoramento contínuo* do processo, mediante redução de sua variabilidade.

Neste trabalho serão utilizados os gráficos de controle para variáveis, pois a característica da qualidade de interesse (rugosidade) é expressa por um número em uma escala contínua de medida. O tipo mais usado é o gráfico \bar{X} -R, sendo um gráfico usado para controlar a média da amostra, \bar{X} , e o outro usado para controlar a variação dentro da amostra pela amplitude R. Os dois gráficos devem ser empregados conjuntamente.

Para a modelagem estatística do processo, suponha que a característica da qualidade de interesse (X) tenha distribuição normal com média μ e desvio-padrão σ , ou seja, $X \sim N(\mu, \sigma^2)$.

Se X_1, X_2, \dots, X_n é uma amostra de tamanho n desta distribuição, pode-

se demonstrar que a média amostral $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ tem distribuição normal com

média μ e desvio-padrão $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, ou seja, $\bar{X} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ (Mood et al, 1974).

De acordo com as propriedades da distribuição Normal, sabe-se que há uma probabilidade igual a $(1-\alpha)$ de que a média amostral \bar{X} esteja entre

$$\mu \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

e

$$\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

em que $z_{\alpha/2}$ é o quantil superior $\alpha/2$ da distribuição Normal Padronizada.

Se μ e σ forem conhecidos, as equações (1) e (2) poderão ser utilizadas como limite superior e inferior de controle, respectivamente, de um gráfico (ou carta) de controle para a média.

Para a determinação dos limites de controle, é utilizado o chamado *sistema 3 σ* , que consiste em fazer $z_{\alpha/2} = 3$. Logo, é fácil perceber que se

$\bar{X} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$, então 99,73% das observações de \bar{X} estarão no intervalo

$\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Como esta probabilidade é muito elevada, a ocorrência de um valor

da média amostral fora deste intervalo, ou fora dos limites de controle, é uma indicação de que causas especiais de variação estão atuando no processo, fazendo com que sua média não seja mais igual a μ , ou seu desvio-padrão seja diferente de σ , ou ambos. Nesta condição, conclui-se que o processo está fora de controle e deve-se investigar as causas especiais que estão atuando nesta situação indesejável. No sistema 3 σ , o risco de atribuir causas especiais a uma variação devida a causas aleatórias será muito pequeno (0,27%).

Até agora está sendo suposto que a característica da qualidade de interesse (X) tem distribuição Normal. No entanto, mesmo que X não tenha uma distribuição Normal, os resultados acima poderão ser considerados aproximadamente corretos, se a amostra é suficientemente grande, devido ao Teorema Central do Limite (Mood et al., 1974).

Na prática, os parâmetros μ e σ são desconhecidos e deverão ser estimados a partir dos dados amostrais. O procedimento de estimação de μ e σ

consiste em tomar m amostras, cada uma contendo n observações da característica da qualidade de interesse. Estas amostras devem ser extraídas quando se acredita que o processo esteja sob controle e que as condições de operação são mantidas tão uniformes quanto possível.

- **Estimação de μ**

A média μ é estimada por meio da média global da amostra ($\bar{\bar{X}}$) definida por

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i \quad (3)$$

em que \bar{X}_i , $i=1,2,\dots,m$ é a média da i -ésima amostra.

- **Estimação de σ com base na amplitude amostral**

O desvio-padrão σ é estimado com base na amplitude média \bar{R} definida por

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (4)$$

em que R_i , $i=1,2,\dots,m$ é a amplitude (diferença entre o maior e menor valor) da i -ésima amostra.

A estimação do desvio-padrão σ , a partir da amplitude média \bar{R} , é apropriada para amostras pequenas ($n \leq 10$). Para amostras de tamanho superior, \bar{R} perde eficiência. Neste caso, é melhor utilizar o desvio-padrão amostral s (Werkema, 1995).

Agora, serão apresentadas as expressões para o cálculo dos limites de controle dos gráficos \bar{x} e R .

A) Gráfico \bar{x}

Conforme Montgomery (1997), a linha média (ou linha central), LM, para o gráfico \bar{x} é dada por:

$$LM = \bar{\bar{x}}.$$

Os limites de controle para a média da amostra são:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

e

(5)

$$LSC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

em que A_2 é uma constante tabelada em função do tamanho n das amostras (Tabela 1) (Montgomery, 1997).

B) Gráfico R

A linha média, LM, para o gráfico R, é:

$$LM = \bar{\bar{R}}.$$

Os limites de controle para a variabilidade da amostra são:

$$LSC = D_4\bar{R} \quad e \quad LIC = D_3\bar{R} \quad (6)$$

em que D_3 e D_4 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras (Tabela 1) (Montgomery, 1997).

Desenvolvimento das equações (5) e (6) dos limites de controle

O desenvolvimento das equações para a obtenção dos limites de controle do gráficos \bar{x} e R é mostrado a seguir.

Existem relações entre a amplitude de uma amostra que provenha de uma distribuição Normal e o desvio-padrão desta distribuição (Montgomery,

1997). A variável aleatória $W = \frac{R}{\sigma}$ é conhecida como *amplitude relativa*. Os parâmetros da distribuição de W , sob normalidade, estão em função somente do tamanho amostral n . A média de W será d_2 , um número que só depende de n .

Um possível estimador de σ é $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$, já que:

$$E(W) = \frac{E(R)}{\sigma} = d_2 \Rightarrow \sigma = \frac{E(R)}{d_2} \Rightarrow \hat{\sigma} = \frac{\hat{E}(R)}{d_2} = \frac{\bar{R}}{d_2}.$$

Estas idéias construtivas é o chamado Método dos Momentos, para construção de estimadores pontuais (Mood et al, 1974). Os valores de d_2 variam de acordo com o tamanho amostral n , e alguns de seus valores são mostrados na Tabela 1.

Como $\bar{\bar{X}}$ é um estimador para μ e $\frac{\bar{R}}{d_2}$ é um estimador para σ , então

tem-se para o gráfico de \bar{x} :

$$LIC = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LM = \bar{\bar{X}} \tag{7}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

considerando-se $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$.

Agora considere o gráfico R. A linha central (ou média) será \bar{R} . Para determinar os limites de controle, é necessário obter uma estimativa para σ_R . Suponha que a característica de qualidade é normalmente distribuída. Retornando-se à definição de W, tem-se:

$$W = \frac{R}{\sigma} \Rightarrow R = W \cdot \sigma.$$

O desvio-padrão de R, então, é dado por

$$\sigma_R = \sigma_w \sigma.$$

Pode-se demonstrar que, sob normalidade, σ_w é função somente de w. Isto faz escrever $\sigma_R = d_3 \sigma$. Adotando-se outra vez o Método dos Momentos, um estimador para σ_R é $\hat{\sigma}_R = d_3 \hat{\sigma}$. Utilizando o estimador de σ já obtido, tem-se que $\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$.

Conseqüentemente, os limites de controle para o gráfico R, usando o sistema 3σ , são:

$$LSC = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = \bar{R} \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right)$$

$$LM = \bar{R}$$

$$LIC = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = \bar{R} \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right).$$

Fazendo $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ e $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$, obtêm-se os limites

utilizados.

TABELA 1: Fatores para o cálculo dos limites de controle.

Tamanho da amostra n	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂	d ₃
2	1.880	0	3.267	1.128	0.853
3	1.023	0	2.575	1.693	0.888
4	0.729	0	2.282	2.059	0.880
5	0.577	0	2.115	2.326	0.864
6	0.483	0	2.004	2.534	0.848
7	0.419	0.076	1.924	2.704	0.833
8	0.373	0.136	1.864	2.847	0.820
9	0.337	0.184	1.816	2.970	0.808
10	0.308	0.223	1.777	3.078	0.797
11	0.285	0.256	1.744	3.173	0.787
12	0.266	0.283	1.717	3.258	0.778
13	0.249	0.307	1.693	3.336	0.770
14	0.235	0.328	1.672	3.407	0.763
15	0.223	0.347	1.653	3.472	0.756
16	0.212	0.363	1.637	3.532	0.750
17	0.203	0.378	1.622	3.588	0.744
18	0.194	0.391	1.608	3.640	0.739
19	0.187	0.403	1.597	3.689	0.734
20	0.180	0.415	1.585	3.735	0.729
21	0.173	0.425	1.575	3.778	0.724
22	0.167	0.434	1.566	3.819	0.720
23	0.162	0.443	1.557	3.858	0.716
24	0.157	0.451	1.548	3.895	0.712
25	0.153	0.459	1.541	3.931	0.708

Fonte: Montgomery (1997)

Um exemplo do gráfico \bar{x} - R é apresentado na Figura 7.

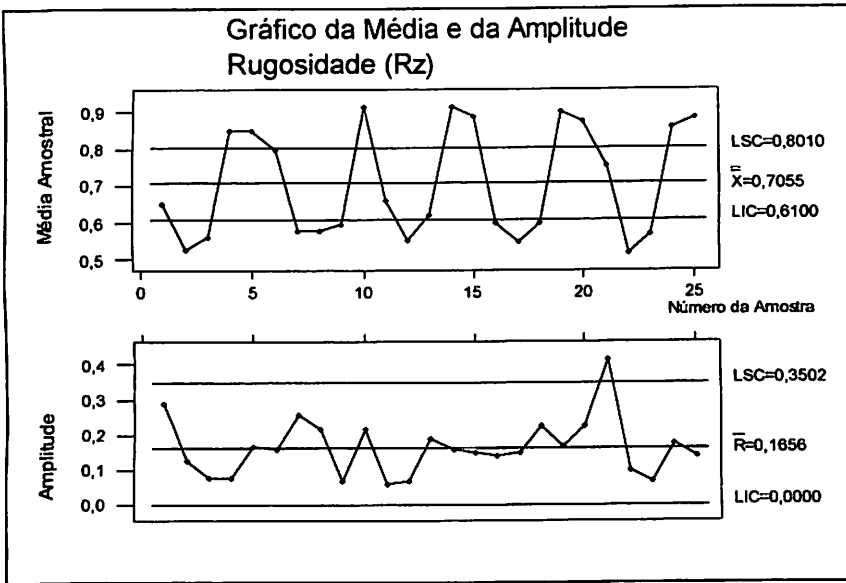


FIGURA 7 - Gráfico da Média e da Amplitude para a Rugosidade (Rz)

Além do gráfico para a média e para amplitude (\bar{x} e R), existem muitos outros, tanto para variáveis (medições) como para atributos (contagem ou classificação). A seguir serão citados os mais freqüentes na indústria:

- gráfico da média e desvio-padrão (\bar{x} e s);
- gráfico da mediana e amplitude (\tilde{x} e R);
- gráfico para valores individuais e amplitude moveis (x e AM);
- gráfico da fração defeituosa na amostra (p);
- gráfico do número de defeituosos na amostra (np);
- gráfico do número total de defeitos na amostra (c);
- gráfico do número de defeitos por unidade (u).

O gráfico da média e desvio-padrão (\bar{x} e s) são geralmente preferíveis em relação aos gráficos \bar{x} e R quando $n > 10$, devido ao fato de que, para

amostras maiores, a amplitude amostral R perde eficiência para estimar σ , quando comparada ao desvio-padrão amostral s .

Os gráficos \bar{x} e AM são usados quando os dados de um processo são obtidos num longo intervalo ou quando a formação de subgrupos não é eficaz. As amostras utilizadas na construção destes gráficos de controle são de tamanho unitário, ou seja, $n = 1$. Um exemplo de tal situação seria processos para os quais a taxa de produção é baixa, não sendo conveniente permitir que tamanhos amostrais superiores a um se acumulem para a análise dos resultados. Uma vez que não existem subgrupos e o valor de R não pode ser calculado, a amplitude móvel AM, de observações sucessivas, é utilizada para estimar a variabilidade do processo.

Os gráficos p e np são utilizados quando a característica da qualidade é representada pela fração defeituosa ou número de itens defeituosos. Conforme Kume (1987), usa-se um gráfico np do número de itens defeituosos, para amostras de tamanho constante, enquanto que um gráfico p é utilizado para amostras de tamanho variável. São gráficos equivalentes, ocorre apenas uma mudança na escala de ordenadas.

Os gráficos c e u são utilizados em situações onde é necessário controlar e analisar um processo através dos defeitos em um produto, tais como riscos em metal revestido e número de soldas defeituosas num aparelho de televisão.

Na prática, a empresa TECNO utiliza a mediana como estimativa para média e a amplitude como estimativa para o desvio-padrão, visando facilitar o trabalho do colaborador no chão-de-fábrica.

2.4.2.7.1 COMO INTERPRETAR GRÁFICOS DE CONTROLE

O mais importante no controle do processo é compreender o estado do processo com exatidão, interpretando o gráfico de controle e agindo

apropriadamente quando algo suspeito for encontrado. Um processo sob controle é estável, e sua média e desvio-padrão não mudam. Nesta seção, serão apresentados alguns critérios indicativos de falta de controle do processo.

1) Pontos Fora dos Limites de Controle

Pontos que estão fora dos limites (superior e inferior) de controle são a indicação mais evidente de falta de controle de um processo, o que exige uma investigação imediata da causa de variação responsável pela sua ocorrência. Muitas vezes a ocorrência de pontos fora dos limites de controle pode ser resultado de erros de registros das observações, de medição ou de cálculo.

2) Seqüência

Uma seqüência é a situação em que vários pontos consecutivos incidem em um dos lados da linha central. O número de pontos nesta situação é chamado de *comprimento de seqüência*.

De acordo com Kume (1987), os tipos de seqüências considerados anormais são:

- Uma seqüência de sete;
- Uma seqüência com menos de seis pontos, em que:
 - a) pelo menos 10 de 11 pontos consecutivos aparecem em um mesmo lado da linha média (LM).
 - b) pelo menos 12 de 14 pontos consecutivos aparecem em um mesmo lado da linha média (LM).
 - c) pelo menos 16 de 20 pontos consecutivos aparecem em um mesmo lado da linha média (LM).

Uma seqüência indica uma mudança no nível do processo. Tais mudanças podem resultar, por exemplo, da introdução de novos operadores, matérias-primas, entre outros.

3) Tendência

Tendência é a configuração de pontos que forma uma linha contínua em uma direção (ascendente ou descendente). A ocorrência de uma tendência constituída por sete ou mais pontos consecutivos ascendentes ou descendentes é uma indicação de falta de controle do processo.

As tendências são geralmente provocadas pelo desgaste de ferramentas ou de equipamentos, mas também podem ocorrer devido ao cansaço do operador ou à presença de supervisores.

4) Aproximação dos Limites de Controle

A aproximação dos limites de controle corresponde à ocorrência de dois de três pontos consecutivos fora dos limites 2σ , apesar destes pontos ainda estarem dentro dos limites de controle 3σ . Este caso é considerado anormal no processo de produção.

Conforme Werkema (1995), este tipo de configuração pode resultar do excesso de controle (super ajuste), quando os operadores fazem reajustes no processo freqüentemente, respondendo às variações no resultado do processo que são provocadas por causas aleatórias, em lugar de responder apenas às variações resultantes da atuação de causas especiais.

5) Aproximação da Linha Central (ou Linha Média)

Quando a maioria dos pontos estão posicionados entre as linhas $1,5\sigma$ (as duas faixas entre a linha central e cada uma das linhas $1,5\sigma$), isto se deve a uma maneira inadequada na formação de subgrupos (amostras). A proximidade da linha central (LM) não significa que um processo está sob controle, mas pode estar indicando a mistura de dados de populações distintas em um mesmo subgrupo, o que torna o intervalo entre os limites de controle muito amplo.

Segundo Werkema (1995), se em uma mesma amostra tiverem misturados dados de duas distribuições diferentes, a amplitude amostral \bar{R} deverá ser bastante elevada, o que dará origem a limites excessivamente largos no gráfico \bar{x} . Além disto, \bar{R} deixará de medir a variabilidade natural do processo (provocada por causas aleatórias) e passará a medir a variabilidade existente entre duas diferentes distribuições (dois processos distintos).

6) Periodicidade

A periodicidade está presente quando a curva traçada no gráfico de controle apresenta repetidamente uma tendência para cima e para baixo, em intervalos de tempo que têm aproximadamente a mesma amplitude. Alguns exemplos de causas especiais que podem provocar o surgimento de uma periodicidade são cansaço do operador, mudanças sistemáticas nas condições ambientais, rotatividade de máquinas e alterações sazonais na qualidade da matéria-prima.

2.5 CAPACIDADE DE PROCESSOS

Como já foi citado, os gráficos de controle são utilizados para avaliar a estabilidade de um processo, ou seja, verificar se o processo está sob controle estatístico. No entanto, é possível que mesmo um processo com variabilidade controlada e previsível produza itens defeituosos. É fundamental avaliar se o processo estatisticamente estável atende, ou não, às especificações de engenharia (do produto). Esta análise costuma ser realizada através do cálculo e interpretação de índices específicos para tal finalidade.

a) Índice C_p

Este índice é definido como sendo a razão entre a tolerância de engenharia e a dispersão total do processo:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \frac{\bar{s}}{c_4}} \quad (8)$$

em que LSE e LIE são, respectivamente, os limites superior e inferior da especificação de engenharia. $C_p > 1$ indica que o processo é capaz de atender à especificação de engenharia; caso contrário, não é capaz.

Observa-se que o índice C_p relaciona aquilo que se deseja produzir (LSE-LIE), que corresponde à variabilidade permitida ao processo, com a variabilidade natural do processo. Também é possível perceber que quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, desde que a média μ esteja centrada no valor nominal.

De acordo com Werkema (1995), a definição de C_p assume implicitamente que o processo está centrado no valor nominal de especificação da especificação. Se o processo não estiver centrado, sua capacidade real será menor do que a indicada por C_p . Portanto, pode-se pensar em C_p como uma medida de capacidade potencial, isto é, a capacidade de um processo centrado no valor nominal. Se o processo não estiver centrado, deve-se utilizar o índice C_{pk} , porque o C_{pk} é considerado um ajuste de C_p para o efeito de distribuição não centrada.

b) Índice C_{pk}

O índice C_{pk} é definido como sendo o menor valor entre C_{pi} e C_{ps} ,

ou seja:

$$C_{pk} = \min\{C_{pi}, C_{ps}\} \quad (9)$$

com

$$C_{pi} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3 \cdot \frac{\bar{s}}{c_4}} \quad (10)$$

e

$$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3 \cdot \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3 \cdot \frac{\bar{s}}{c_4}} \quad (11)$$

O índice C_{pk} avalia a distância da média ($\bar{\bar{x}}$) do processo aos limites da especificação, tomando aquela que é menor e, portanto, mais crítica em termos de chances de se produzirem itens fora da especificação. Se $C_{pk} > 1$, então o processo é considerado capaz.

2.6 SÉRIES TEMPORAIS

É razoável admitir que se dados são analisados no tempo, existe uma correlação entre a observação no instante t e a observação no instante $(t-h)$, em que h é um intervalo de tempo anterior ao tempo t . Esta correlação no tempo dificulta a aplicação de métodos estatísticos convencionais, pois na utilização

desses métodos, parte-se da pressuposição de que as observações sejam independentes e identicamente distribuídas. A melhor abordagem a ser aplicada em tais casos são as técnicas de séries temporais, as quais levam em consideração a estrutura de dependência estocástica possivelmente existente entre as observações alinhadas no tempo.

Segundo Morettin & Tolo (1985), uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo. Considere uma variável Y que descreve alguma característica de interesse num determinado produto oriundo de um processo produtivo. Esta variável é avaliada seqüencialmente no tempo, isto é, ela é indexada pelo tempo de observação t : $Y(t)$ ou y_t . Como um exemplo, considere a rugosidade de hastes de amortecedores (Tabela 2 e Figura 8).

TABELA 2 - Valores observados da rugosidade em R_z no processo produtivo de hastes de amortecedores, antes do polimento.

Tempo	Rugosidade (R_z)	Tempo	Rugosidade (R_z)
1	0,570	14	0,534
2	0,468	15	0,782
3	0,504	16	0,466
4	0,434	17	0,438
5	0,558	18	0,804
6	0,714	19	0,796
7	0,502	20	0,450
8	0,446	21	0,430
9	0,494	22	0,418
10	0,672	23	0,452
11	0,592	24	0,544
12	0,578	25	0,556
13	0,488		

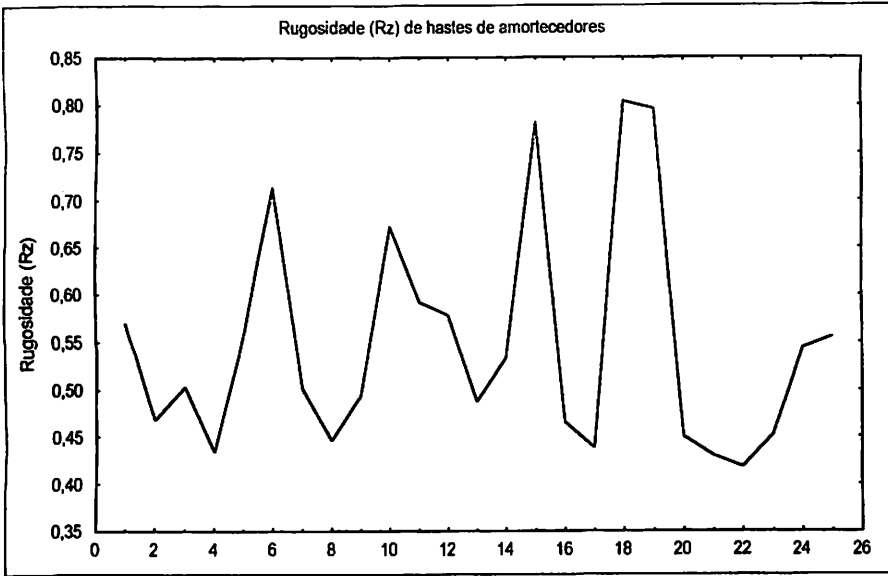


FIGURA 8 – Série da rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores

A suposição usualmente citada para justificar o uso das cartas de controle é de que os dados obtidos por um processo, quando este está sob controle, são normalmente e independentemente distribuídos, com média μ e desvio-padrão σ . Ambos, μ e σ , são considerados desconhecidos. Uma condição fora de controle é uma variação em μ ou em σ (ou em ambos) para algum valor diferente. Além disso, dizemos que quando o processo está sob controle, a característica de qualidade no tempo t , y_t , é representada pelo modelo

$$y_t = \mu + \varepsilon_t \quad t=1, 2, \dots \quad (12)$$

em que ε_t é normalmente e independentemente distribuído, com média zero e desvio-padrão σ . Este modelo é chamado de modelo de Shewhart do processo.

Quando estas suposições são satisfeitas, podemos aplicar uma carta de controle e retirar conclusões sobre o estado de controle estatístico do processo.

A mais importante das pressuposições feitas em relação às cartas de controle é a independência das observações. As cartas de controle não funcionam bem se as características da qualidade exibirem algum nível de correlação, mesmo que baixo, transversalmente ou longitudinalmente no tempo. Especificamente e a princípio, estas cartas não devem ser utilizadas se os dados forem correlacionados.

Infelizmente, a suposição de observações independentes ou não correlacionadas não é satisfeita em muitos processos de manufatura. Para contornar este problema, pode-se utilizar a metodologia de séries temporais.

A autocorrelação em uma série de observações orientadas longitudinalmente no tempo (chamadas de séries temporais) é medida por uma função de autocorrelação

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(y_t, y_{t-k})}{V(y_t)}, \quad k = 0, 1, \dots \quad (13)$$

em que t é a posição da observação tomada no tempo, $\text{cov}(y_t, y_{t-k})$ é a covariância das observações que são independentes em k períodos de tempo, e assume-se que as observações têm variância constante dada por $V(y_t)$.

Estimam-se os valores de ρ_k pela função de autocorrelação amostral

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, K. \quad (14)$$

Uma aplicação que tem sido muito útil em dados autocorrelacionados é modelar a estrutura correlacionada do modelo com um modelo apropriado de

séries temporais. Usa-se o modelo para remover a autocorrelação dos dados e aplicar cartas de controle para os resíduos. Por exemplo, suponha que se pode modelar a característica da qualidade y_t , como

$$y_t = \xi + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

em que ξ e ϕ ($-1 < \phi < 1$) são constantes desconhecidas, ε_t é normalmente e independentemente distribuído com média zero e desvio-padrão σ .

A equação (15) é chamada de modelo auto-regressivo de primeira ordem; as observações y_t no modelo tem média $\xi/(1-\phi)$, desvio-padrão $\sigma/(1-\phi^2)^{1/2}$, e as observações que são independentes em k períodos (y_t e y_{t-k}) têm coeficiente de correlação ϕ^k (Montgomery, 1997). Suponhamos que $\hat{\phi}$ é uma estimativa de ϕ , obtida da análise dos dados amostrais do processo, e \hat{y}_t é o valor ajustado de y_t . Então os resíduos

$$e_t = y_t - \hat{y}_t \quad (16)$$

são aproximadamente normais e independentemente distribuídos, com média zero e variância constante. Cartas convencionais de controle poderiam agora ser aplicadas para a seqüência dos resíduos. Pontos fora de controle ou testes padrões incomuns em tais cartas podem ser um indicativo que o parâmetro ϕ tenha mudado, implicando que a variável original y_t estava fora do controle.

Um modelo clássico para séries temporais supõe que a série temporal y_t , $t = 1, \dots, n$ possa ser escrita como a soma de três componentes: uma tendência T_t , uma componente sazonal S_t e um termo aleatório a_t ,

$$y_t = T_t + S_t + a_t, \quad t = 1, \dots, n. \quad (17)$$

A componente sazonal aparece quando as observações são intra-anuais, isto é, são registradas mensalmente, trimestralmente ou semanalmente, por exemplo. É também chamada componente anual ou estacional e pode ser considerada aproximadamente periódica.

A tendência ocorre quando a série sofre uma inclinação, linear, quadrática ou de ordens superiores, enquanto a sazonalidade é uma periodicidade que acontece em um intervalo máximo de 12 meses, sendo o intervalo acima deste período denominado ciclo.

Removendo-se as componentes T_t e S_t , o que sobra é a componente aleatória ou residual a_t . A suposição usual é de que a_t seja um processo estocástico puramente aleatório (ruído branco).

Para detalhes da identificação ou ajustamento do modelo de séries temporais, pode-se proceder conforme a metodologia proposta por Morettin & Toloí (1985), que consiste em ajustar modelos de Box e Jenkins. O método de Box e Jenkins é um método *paramétrico* (número de parâmetros finitos), o qual consiste em ajustar modelos *autorregressivos integrados médias móveis*, ARIMA(p, d, q), a um conjunto de dados.

A construção do modelo é baseada em um ciclo iterativo. Os estágios iterativos do ciclo são:

- a) uma classe geral de modelos é considerada para a análise (especificação);
- b) há a identificação de um modelo, com base na análise de funções de autocorrelações (FAC), autocorrelações parciais (FCAP) e outros critérios;
- c) a seguir, vem a fase de estimação, na qual os parâmetros do modelo identificado são estimados;

- d) finalmente, há a verificação do modelo ajustado, através de uma análise de resíduos, para saber se este é adequado para os fins em vista (por exemplo, previsão).

Caso o modelo não seja adequado, o ciclo é repetido, voltando-se à fase de identificação. Um procedimento que muitas vezes é utilizado é identificar não só um único modelo, mas alguns modelos que serão estimados e verificados. Se o propósito é previsão, escolher-se-á, entre os modelos ajustados, o melhor; por exemplo, o que fornecer o menor erro quadrático médio de previsão.

Em geral, os modelos identificados são *parcimoniosos* no sentido de conter um menor número de parâmetros e as previsões obtidas são bastante precisas se comparadas favoravelmente com os demais métodos de previsão.

É possível que vários pesquisadores identifiquem modelos diferentes para a mesma série temporal.

A construção do gráfico de uma série temporal pode revelar características importantes, como tendência, sazonalidade, variabilidade, outliers, etc. Além da inspeção gráfica, pode-se utilizar testes de hipóteses estatísticos para verificar se realmente existe tendência (Morettin & Tolo, 1985) ou sazonalidade na série. Como exemplo, tem-se o teste do sinal para verificar uma possível existência de tendência e o teste para sazonalidade (Priestley, 1989). Na prática, geralmente as séries apresentam tendência e (ou) sazonalidade.

Quando a série não apresenta o componente sazonal, mas possui o componente de tendência, ela pode ser representada por um modelo ARIMA (Autorregressivo Integrado Médias-Móveis), ou seja, o ajuste é feito por um modelo sem a componente sazonal.

O modelo ARIMA considera a tendência da série temporal, tem ordem (p, d, q) e pode ser representado por:

$$\phi(B)\Delta^d y_1 = \theta(B)a_1 \quad (18)$$

em que Δ é o operador das diferenças, d é o número de diferenças necessárias para que a série se torne estacionária (flutua ao redor de uma média), $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$, $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ são os polinômios autorregressivos e de médias móveis, respectivamente, e B é o operador de retardo, tal que $B^j y_t = y_{t-j}$. Em geral, com o uso de no máximo duas diferenças, a série obtida não apresenta mais a componente de tendência.

Quando uma série temporal apresenta comportamento periódico em um período máximo de 12 meses, é necessário acrescentar uma componente sazonal no modelo. Esse intervalo periódico é chamado de sazonalidade.

A sazonalidade ocorre devido a vários fatores, como o clima, datas festivas, fatores institucionais, desgaste do rebolo de uma máquina, entre outros. Como exemplos desta ocorrência tem-se o aumento de vendas no comércio na época do Natal, aumento de vendas de passagens aéreas no verão, etc.

Quando duas observações distantes entre si de s intervalos de tempo apresentam alguma semelhança, pode-se retirar esta sazonalidade utilizando o operador de diferença com s "lags",

$$\nabla_s y_t = (1 - B^s) y_t = y_t - B^s y_t = y_t - y_{t-s} \quad (19)$$

Segundo Morettin & Tolo (1985), Box e Jenkins propõem o modelo sazonal, representado-o pela seguinte expressão

$$\phi_p(B) \Phi_p(B^s) \nabla^d \nabla_s^D y_t = \theta_q(B) \Theta_Q(B^s) a_t \quad (20)$$

o qual é denominado modelo SARIMA de ordem $(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$, em que

p é a ordem do modelo autorregressivo;

q é a ordem do modelo de médias móveis;

d é o número de diferenças necessárias para estacionariedade;

P é a ordem do modelo autorregressivo sazonal;

Q é a ordem do modelo de médias móveis sazonal;

D é o número de diferenças necessárias para remover a sazonalidade.

Para identificação do modelo SARIMA, utilizam-se a FAC e a FACP, observando as correlações nos “lags” sazonais de interesse, como, por exemplo, pode existir correlação no “lag” múltiplo de cinco, isto é, existe um período sazonal de cinco meses.

Para verificar se o modelo proposto é adequado, utilizam-se, por exemplo, os testes de autocorrelação residual ou aplica-se o teste de Box e Pierce (Morettin & Toloí, 1985). Existem também outros critérios para a escolha do melhor modelo, entre eles o critério de Akaike (Morettin & Toloí, 1985).

Conforme Morettin & Toloí (1985), Box & Pierce (1970) propuseram um teste para as autocorrelações dos resíduos estimados, o qual é um dos mais utilizados para verificar se o resíduo do modelo é um ruído branco. A estatística do teste de Box e Pierce é dada por

$$Q = n(n + 2) \sum_{k=1}^K \frac{\hat{\rho}_k^2}{(n - k)} \quad (21)$$

em que n é o número de observações da série temporal e k representa o número de “lags”. Essa estatística apresenta uma distribuição aproximadamente qui-quadrado (χ_m^2) com $m=k-p-q$ graus de liberdade (Morettin & Toloí, 1985). A hipótese de ruído branco para os resíduos é rejeitada, ao nível de significância α , quando o valor da estatística $Q > \chi_m^2$. Portanto, se $Q < \chi_m^2$, conclui-se que o modelo está bem ajustado e seu resíduo não é correlacionado, ou seja, é independente e identicamente distribuído.

No modelo SARIMA, o teste de Box e Pierce faz uso da distribuição Qui-quadrado acrescentado o número de coeficientes sazonais nos graus de liberdade. Tem-se, então, $m=K-(p+q+P+Q)$ graus de liberdade, em que K representa o número de “lags”.

Os parâmetros da equação (15) do modelo autorregressivo de primeira ordem podem ser estimados pelo método de mínimos quadrados, que é a escolha de valores de ξ e ϕ que minimizam a soma dos erros quadráticos ε_1 . Muitos pacotes de softwares estatísticos têm rotinas para ajustamento destes modelos de séries temporais.

O modelo descrito na equação (15) pertence a uma família de modelos de séries temporais chamados de *modelos autorregressivos integrados de médias móveis (ARIMA)*. Enquanto estes modelos aparecem muito diferentes do modelo de Shewhart [equação (12)], são relativamente semelhantes e incluem o modelo de Shewhart como um caso especial. Note que se fosse considerado $\phi = 0$ na equação (15), o resultado seria o modelo de Shewhart.

3 UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA

Os dados utilizados para análise foram fornecidos por uma empresa de Lavras/M.G. São observações coletadas por colaboradores numa das etapas do processo produtivo de hastes de amortecedores de automóveis. Tais dados são referentes à rugosidade e foram coletadas amostras de cinco elementos a cada quinze minutos, totalizando 125 observações. Os dados estão apresentados na Tabela 3. Como a análise será realizada em função do tempo, foi calculada a média levando-se em conta o tempo *i* em que foi retirada a amostra *i*.

TABELA 3 – Observações Referentes à Rugosidade, em Rz, de Hastes de Amortecedores

Amostra (i)	Rugosidade em Rz					Média
1	0,610	0,710	0,830	0,560	0,540	0,650
2	0,560	0,490	0,520	0,600	0,470	0,528
3	0,600	0,590	0,520	0,550	0,540	0,560
4	0,850	0,840	0,800	0,870	0,880	0,848
5	0,860	0,760	0,820	0,930	0,880	0,850
6	0,810	0,700	0,860	0,830	0,780	0,796
7	0,530	0,480	0,740	0,520	0,610	0,576
8	0,550	0,710	0,640	0,500	0,490	0,578
9	0,590	0,550	0,610	0,620	0,600	0,594
10	0,990	0,900	0,950	0,960	0,770	0,914
11	0,690	0,660	0,660	0,630	0,650	0,658
12	0,550	0,550	0,600	0,530	0,540	0,554
13	0,550	0,610	0,600	0,740	0,610	0,622
14	0,940	0,820	0,890	0,980	0,950	0,916
15	0,860	0,960	0,810	0,920	0,890	0,888
16	0,530	0,600	0,600	0,600	0,670	0,600
17	0,580	0,630	0,510	0,540	0,480	0,548
18	0,480	0,520	0,710	0,620	0,660	0,598
19	0,900	0,990	0,920	0,820	0,870	0,900
20	0,920	0,750	0,980	0,850	0,870	0,874
21	0,530	0,600	0,780	0,920	0,950	0,756
22	0,490	0,570	0,470	0,500	0,550	0,516
23	0,600	0,560	0,570	0,580	0,530	0,568
24	0,820	0,780	0,830	0,910	0,960	0,860
25	0,830	0,900	0,900	0,830	0,970	0,886

A Figura 9 mostra uma foto ilustrativa de uma haste de amortecedor. A empresa fabrica hastes de vários tamanhos, dependendo do projeto da montadora de automóveis para a qual serão fornecidas.

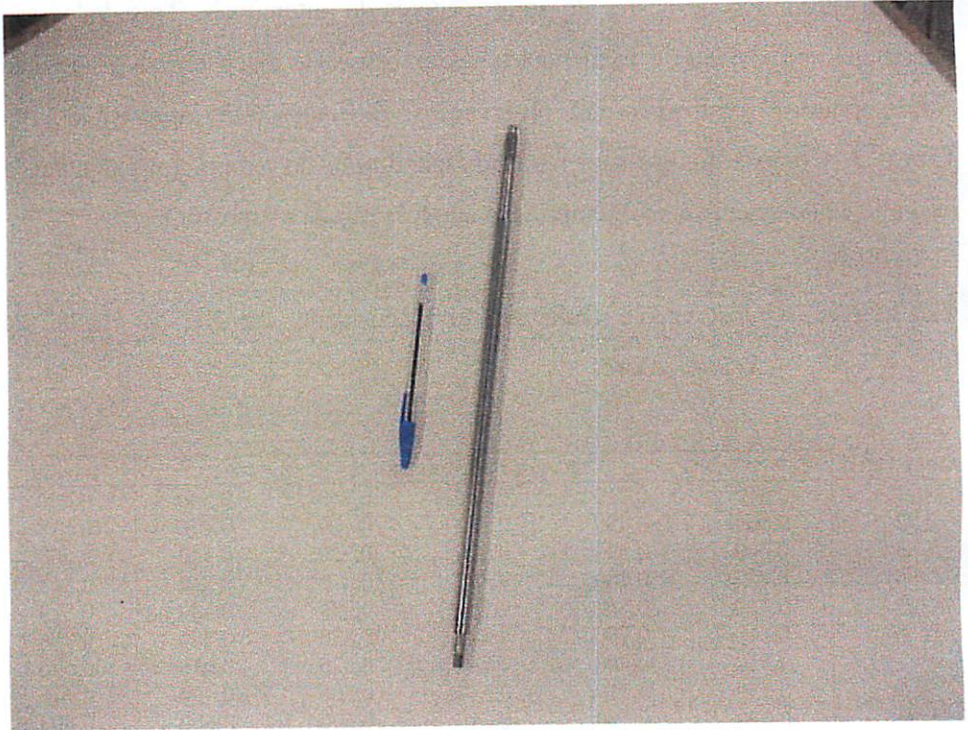


FIGURA 9 - Haste de amortecedor produzida pela empresa TECNO

A rugosidade é medida em unidades Ra ou Rz, porém, a unidade mais importante é Rz. Para medir a rugosidade, a fábrica dispõe de um aparelho especial, denominado Rugosímetro (Figura 10).

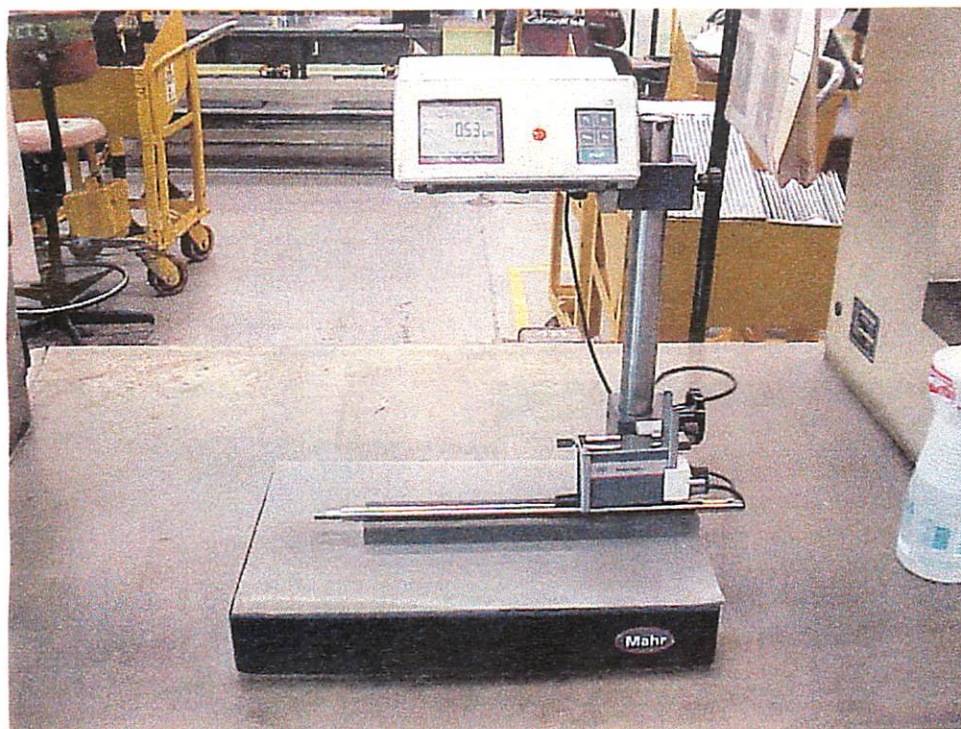


FIGURA 10 - Rugosímetro, aparelho para medição da rugosidade.

As Figuras 11 e 12 se referem, respectivamente, ao lado de entrada e de saída das hastes de amortecedores na máquina denominada retífica “CENTRELESS”, através da qual será trabalhada sua rugosidade. Pode-se observar que existem dois rebolos internos à máquina: um de arraste (arrasta a haste puxando-a para dentro da máquina) e outro de desbaste (desbasta a haste para controlar sua rugosidade).

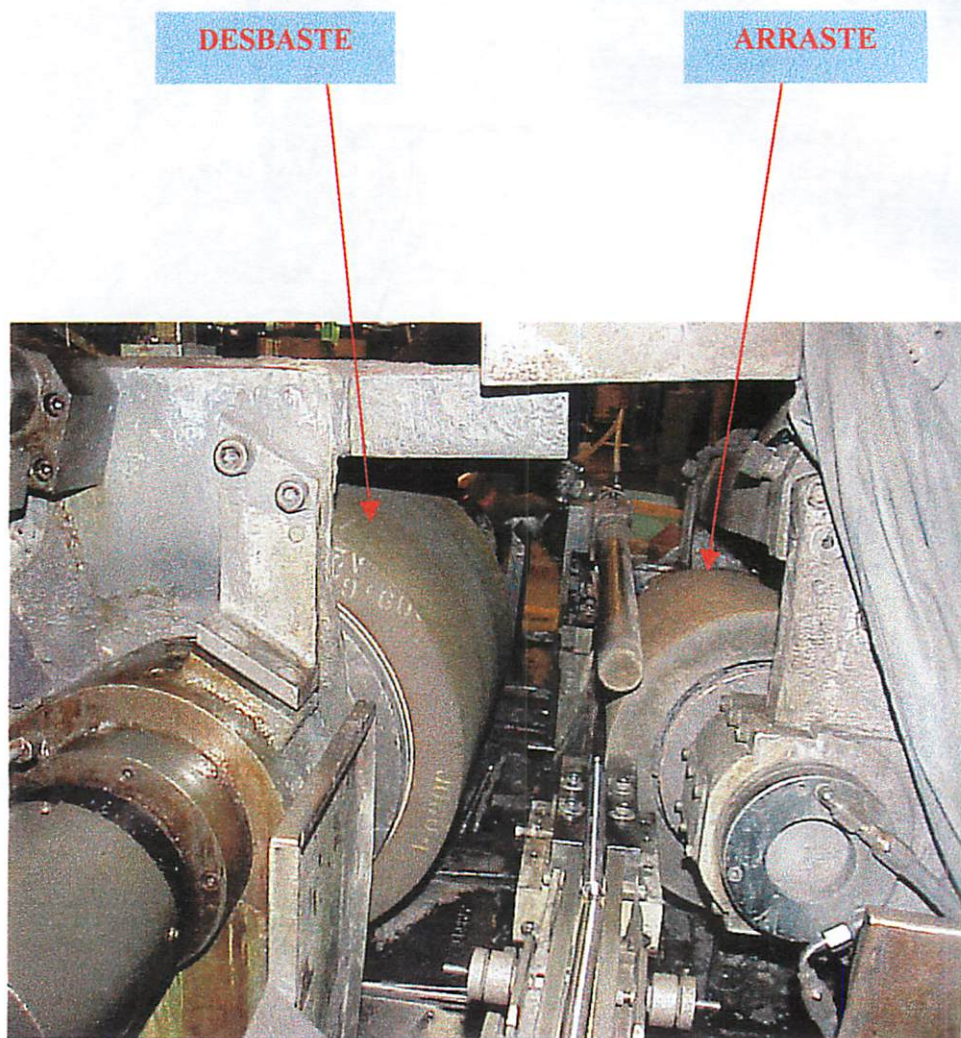


FIGURA 11 - Vista interna da retífica “CENTRELESS” pelo lado de entrada da haste



FIGURA 12 - Vista da retífica “CENTRELESS” pelo lado de saída da haste

Para o estudo e a análise dos dados para dimensionamento do tempo ótimo de dressagens foram utilizados os seguintes “softwares”: MINITAB™ (1998), STATISTICA™ (1995) e Econometrics Views™ (1995).

3.1 UMA PRIMEIRA SOLUÇÃO SIMPLES

O estudo e a análise preliminar dos dados para dimensionamento do tempo ótimo de dressagens foram realizados utilizando-se o gráfico de controle para variáveis $\bar{x} - R$.

A Figura 13 representa o gráfico $\bar{x} - R$ com os dados referentes à rugosidade (R_z) de hastes de amortecedores. Pode-se notar a presença de uma

tendência (ou configuração especial (não aleatória)) na carta de controle para a média. Isto ocorre devido à retífica realizada na máquina para impedir operação irregular (defeitos) nas hastes. Os “picos”, mostrados na Figura 13, são referentes às intervenções realizadas pelo colaborador, em intervalos de tempo de 45 minutos.

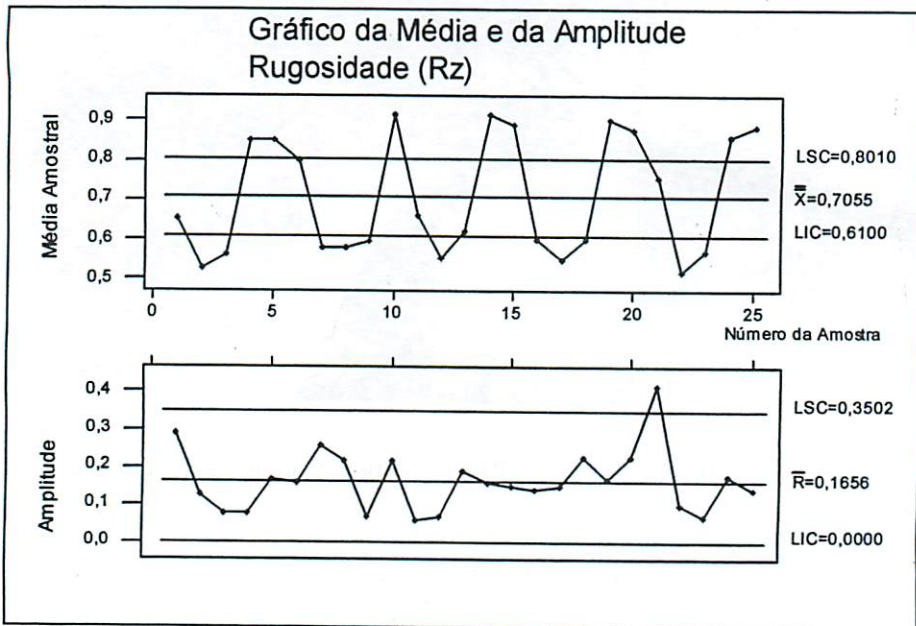


FIGURA 13 - Gráfico para média-amplitude referente à rugosidade de hastes de amortecedores

Suponha que os dados referentes à rugosidade (Y) obtidos do processo de produção provenham de uma distribuição normal com média $\mu(t)$, em função do tempo, e desvio-padrão σ , cuja relação funcional com o tempo não será aqui considerada, ou seja, $Y \sim N(\mu(t), \sigma)$. Considerando-se tal fato, e que o limite superior de especificação (LSE) de engenharia seja 0,9 Rz,

determina-se uma média de corte (m_{corte}) como sendo o limite inferior do intervalo de confiança unilateral de 99% para a média, quando o processo estiver centrado em 0,9 Rz.

$$m_{\text{corte}} = 0,9 - z_{0,01} \cdot S_p \quad (22)$$

em que $S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + \dots + (n_{25} - 1)S_{25}^2}{n_1 + \dots + n_{25} - 25}}$ é o desvio-padrão ponderado pelo tamanho da amostra e $z_{0,01}$ é o quantil superior de 1% da distribuição normal padronizada.

O estimador do desvio-padrão σ é obtido por S_p . Procedendo-se os cálculos com os dados amostrais, tem-se:

$$m_{\text{corte}} = 0,9 - z_{0,01} \cdot (0,0751479) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{corte}} = 0,9 - 2,327 \cdot (0,0751479) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{corte}} \cong 0,7251309.$$

Para modelar a tendência de desajuste no CEP (que acontece nas “subidas dos picos”, veja Figura 14) devido ao desgaste do rebolo, ajustou-se uma equação de regressão linear para os dados da Tabela 4.

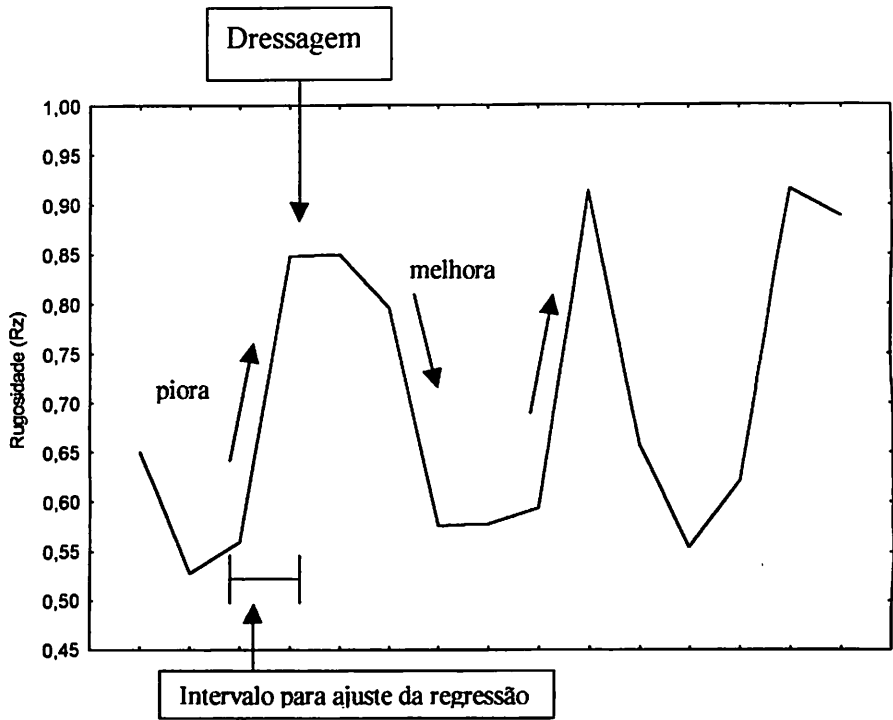


FIGURA 14 – Esquema do comportamento do processo

TABELA 4: Dados utilizados para o ajuste da equação de regressão

Amostra	Tempo	Rz
3	0	0,560
9	0	0,594
13	0	0,622
17	0	0,548
23	0	0,568
4	15	0,848
10	15	0,914
14	15	0,916
19	15	0,900
24	15	0,860

A equação obtida foi a seguinte:

$$\hat{y} = 0,5784 + 0,020613 \cdot t \quad (23)$$

em que y é a rugosidade média em unidades Rz e t é o tempo em minutos.

Igualando m_{corte} a \hat{y} na equação (23), obtém-se $t \cong 7,1184 \cong 7$ minutos. Logo, as intervenções do colaborador na retífica “CENTRELESS” poderiam ser efetuadas em intervalos de 52 minutos, o que é obtido pelo acréscimo de 7 minutos ao intervalo de 45 minutos que estava sendo utilizado para realizar as dressagens.

Como o desgaste do rebolo afeta a rugosidade ao longo do tempo, uma melhor abordagem do problema será apresentada na próxima seção, utilizando séries temporais.

3.2 MELHORANDO A ABORDAGEM UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS

Para analisar a série da rugosidade de hastes de amortecedores, aplicouse a metodologia de séries temporais utilizando os modelos de Box e Jenkins (Morettin & Toloí, 1985). Estes métodos foram utilizados para a modelagem do desajuste do CEP no tempo, devido ao desgaste do rebolo.

A metodologia aplicada para ajustar o modelo adequado foi a seguinte:

1. Descrição do comportamento do conjunto de dados através da construção de gráficos e diagramas de dispersão, obtenção de estatísticas descritivas, verificação da existência de tendência ou sazonalidade;

2. Ajuste conveniente do modelo a partir das características da série, utilizando a metodologia de Box e Jenkins.

Os “softwares” utilizados para realizar essas análises foram os seguintes: STATISTICA™ (1995) e Econometrics Views™ (1995).

A série relata a rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores numa das etapas produtivas da empresa estudada, sendo que cada período de tempo é equivalente a 15 minutos.

Na Figura 15 pode-se observar que há presença de uma sazonalidade (repetição de um padrão no tempo) na série, sendo necessário verificar, através de uma análise espectral, em que período ocorre.

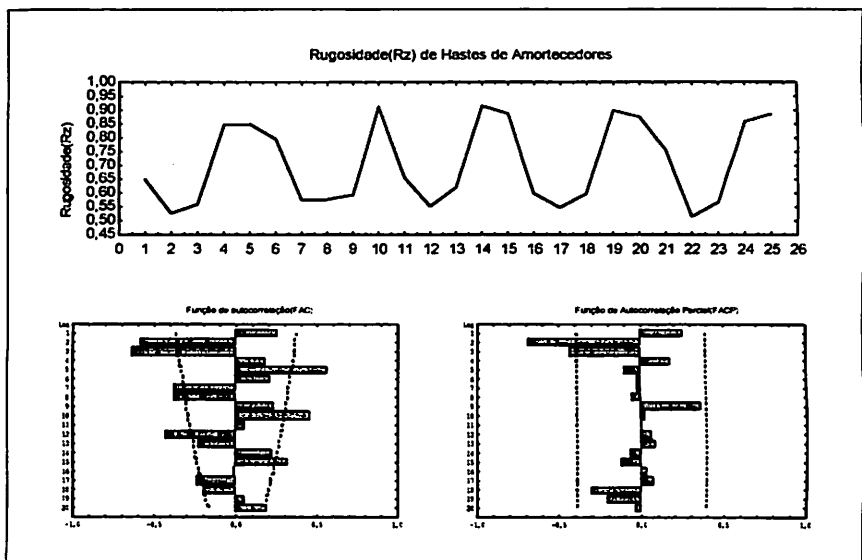


FIGURA 15 - Série original e as FAC e FACP, da rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores

A Figura 16 indica uma possível periodicidade no período de tempo aproximadamente igual a cinco, o que corresponde a 75 minutos.

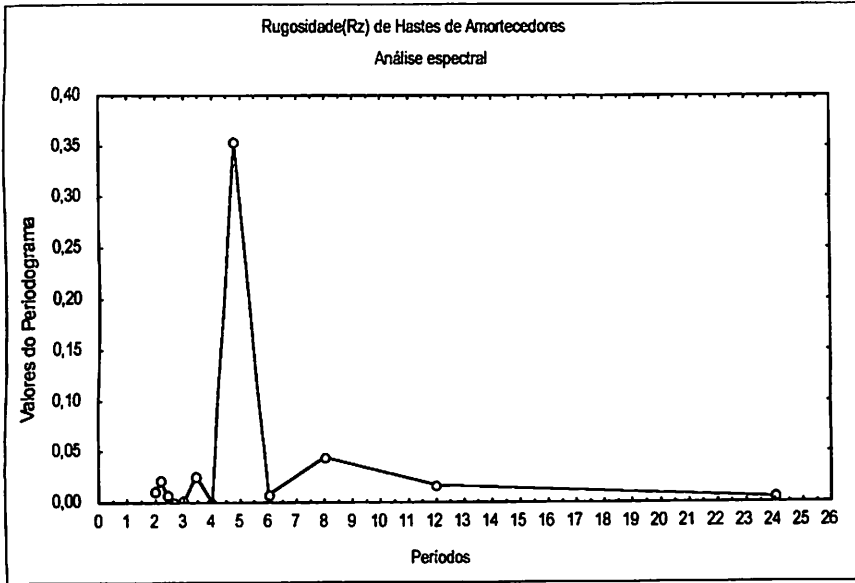


FIGURA 16 - Análise Espectral para a série da rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores

Dado o pequeno número de observações na série estudada, optou-se por não retirar a sazonalidade, e sim considerar o componente sazonal significativo nos “lags” múltiplos de 5. O modelo proposto é SARIMA(0,0,0)x(2,0,0)₅, ou seja,

$$y_t = \phi_1 y_{t-5} + \phi_2 y_{t-10} + a_t$$

em que a_t é considerado um ruído branco, isto é, é independente e identicamente distribuído, com média zero e variância constante.

As estimativas dos parâmetros do modelo foram obtidas através do método de mínimos quadrados e são apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5 – Estimativas dos Parâmetros do Modelo SARIMA(0,0,0)x(2,0,0)₅

Parâmetro	Estimativa	Erro-Padrão	Teste t	p-value
ϕ_1	0,512471	0,188866	2,713416	0,0177
ϕ_2	0,501484	0,190518	2,632212	0,0207

As estimativas dos parâmetros do modelo proposto na Tabela 5 são estatisticamente significativas ao nível de 5% de significância.

A Figura 17 apresenta a função de autocorrelação residual do modelo escolhido.

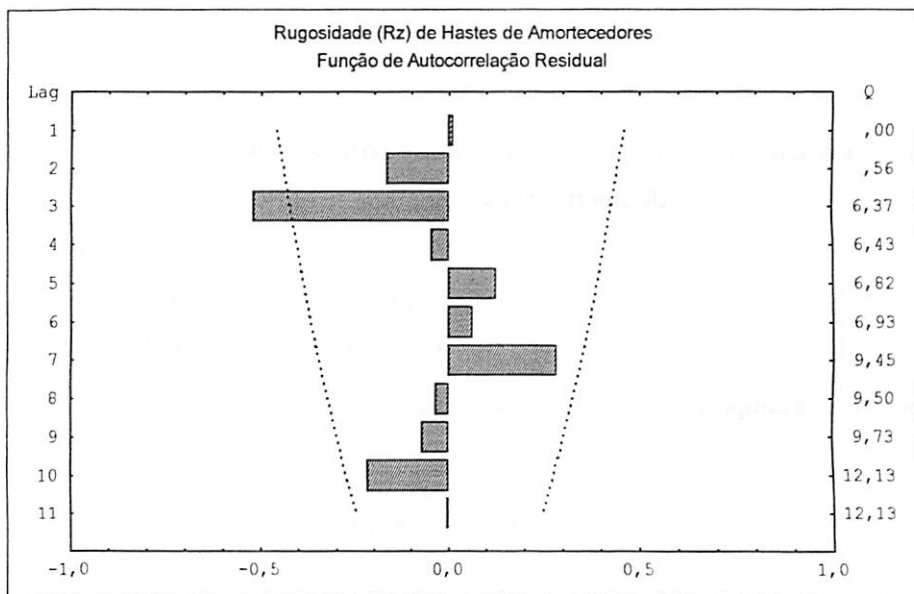


FIGURA 17 – Função de Autocorrelação Residual da série da rugosidade (Rz) de hastes de amortecedores

Através da análise gráfica da Figura 17, pode-se observar que, na função de autocorrelação (FAC) residual do modelo proposto, apenas um “lag” é significativo, podendo ser um ruído branco. Para verificar se é um ruído branco, aplica-se o teste de Box e Pierce.

O valor da estatística de Box e Pierce é dado através do “lag” 11 da figura 16, cuja estimativa foi $Q = 12,13$. Esta estatística é comparada com o valor crítico encontrado da distribuição Qui-quadrado, ao nível de significância de 5%, com 9 graus de liberdade, $\chi_9^2 = 16,919$. Como $Q < \chi_9^2$, o resíduo do modelo ajustado é um ruído branco, ou seja, é independente e identicamente distribuído (i.i.d), com média zero e variância constante. Então, pode-se concluir que o modelo está bem ajustado.

Efetuando-se uma previsão para “dentro” da série com o modelo ajustado, obtêm-se os valores mostrados na Tabela 6.

TABELA 6 - Valores observados e ajustados utilizando o modelo SARIMA(0,0,0)x(2,0,0)₅

Tempo	Observ.	Ajust.	Tempo	Observ.	Ajust.
1	0,650	0,650	14	0,916	0,730
2	0,528	0,528	15	0,888	0,895
3	0,560	0,560	16	0,600	0,775
4	0,848	0,848	17	0,548	0,576
5	0,850	0,850	18	0,598	0,586
6	0,796	0,796	19	0,900	0,672
7	0,576	0,576	20	0,874	0,917
8	0,578	0,578	21	0,756	0,765
9	0,594	0,594	22	0,516	0,576
10	0,914	0,914	23	0,568	0,589
11	0,658	0,734	24	0,860	0,710
12	0,554	0,560	25	0,886	0,919
13	0,622	0,577			

O tempo decorrido da Tabela 7 refere-se ao tempo i em que foi retirada a amostra i , sendo que cada intervalo de tempo é equivalente a 15 minutos. Admitindo-se uma variação linear entre os períodos de tempo, pode-se estimar os valores fracionários para o período em que a rugosidade atinge o valor máximo de 0,9Rz. Lembrando que há uma repetição no comportamento dos dados, de período igual a cinco, foi zerado o intervalo de tempo a cada múltiplo de cinco. Observou-se entre quais períodos a rugosidade atingia 0,9 Rz, e foi efetuada uma interpolação entre tais valores, determinando em minutos o intervalo de tempo correspondente. Procedendo-se os cálculos, utilizando uma interpolação linear, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 7.

TABELA 7: Tempos estimados para rugosidade ser menor ou igual a 0,9Rz

Tempo			Tempo		
Decorrido	intervalo	minutos	Decorrido	intervalo	minutos
9,00	4,00	60,0	19,93	4,93	74,0
9,96	4,96	74,3	20,00	5,00	75,0
10,00	5,00	75,0	24,00	4,00	60,0
15,00	5,00	75,0	24,91	4,91	73,6
19,00	4,00	60,0	25,00	5,00	75,0

Observe que para o intervalo de tempo entre 14 e 15 não foi necessária uma interpolação linear, isto porque a rugosidade não atingiu o valor de 0,9Rz.

O tempo ótimo estimado de dressagem foi o mínimo dos quatro tempos interpolados (em destaque na Tabela 7) para evitar que a rugosidade ultrapasse o limite superior de especificação de 0,9Rz, trabalhando em direção à segurança. Assim, o tempo ótimo estimado de dressagem será de aproximadamente 73 minutos.

3.3 CONCLUSÃO

As dressagens poderiam ser realizadas com intervalos de tempo de 73 minutos, ao invés de 45 minutos (atualmente utilizado na empresa), ou mesmo os 52 minutos obtidos pela solução simples, sendo, portanto, efetuadas doze intervenções a menos por dia. Em consequência, no final de um mês serão realizadas 360 dressagens a menos, gerando economia de recursos do processo de produção pelo impedimento de desbastes excessivos no rebolo. Este número menor de intervenções também levaria a uma prática operacional adequada, amenizando o esforço do colaborador, evitando estresse e outras doenças ocupacionais.

Utilizando a metodologia de Séries Temporais, mais adequada na análise dos dados, pode-se perceber um aumento de 11 minutos do tempo ótimo de dressagens em relação à análise preliminar, que foi de 52 minutos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise dos dados devem ser vistos com uma certa cautela, uma vez que a metodologia de séries temporais exige, no mínimo, 50 observações, sendo que, neste trabalho, foram utilizadas apenas 25 observações. Isto se deve a limitações do experimento realizado na empresa, a qual forneceu apenas esse número de elementos. Acredita-se que esse fato ocorreu devido ao desconhecimento de técnicas de planejamento de experimentos e também aos custos envolvidos. Uma sugestão seria a de que, em um outro trabalho, a empresa realizasse tais ensaios com o auxílio de um Estatístico, para garantir a boa condução do experimento e satisfazer as suposições básicas de experimentação, obtendo resultados mais confiáveis e precisos. Isto para que, quando as informações do experimento forem analisadas estatisticamente, garanta-se que o produto será projetado com robustez, em detrimento das variações decorrentes do próprio processo de fabricação, do meio ambiente e do usuário. Assim, resultados mais satisfatórios podem ser alcançados pela empresa.

Um questionamento quanto à metodologia desenvolvida é o uso de médias nas cartas de controle, quando o ideal seria trabalhar com máximos, considerando que o valor $0,9 R_z$ é um limite máximo de especificação para a rugosidade das hastes de amortecedores. A razão do não enfrentamento desse problema nesta dissertação é a existência de uma prática padrão, na fábrica, que utiliza cartas de controle com médias ou medianas para facilidade operacional. Porém, este problema merece ser estudado em futuros trabalhos que visem a melhoria do CEP em situações como a vista aqui.

Outro questionamento importante é a utilização de um limite inferior de controle para a determinação do tempo ótimo de dressagem, em vez do

estimador pontual utilizado nesta dissertação. Tal questão poderá também ser abordada em pesquisas futuras, levando-se em consideração uma possível melhoria na metodologia com a utilização de tal limite inferior, visto que ele conferiria maior segurança na estimativa.

Deve-se também salientar que a metodologia apresentada tem a vantagem adicional de possuir objetividade científica, resolvendo, portanto, de um modo ótimo e mais seguro, uma pendência registrada pela auditoria das normas de gestão da qualidade TS 16949 da empresa em questão.

Aqui foi utilizada uma metodologia que poderia ser considerada como “simples”, pois a abordagem de uma metodologia complexa seria interessante em termos de conhecimento acadêmico, mas não para a empresa, que necessita de soluções para seus problemas de maneira eficiente, prática e de fácil compreensão para seus colaboradores.

Finalmente, um resultado bastante importante deste trabalho é o de mostrar às pessoas envolvidas a validade de analisar cientificamente problemas de uma empresa e, com isso, não só desenvolver o uso de técnicas estatísticas, mas também promover a integração universidade-empresa. Com essa relação, é possível criar um processo de aprendizagem, isto é, os pesquisadores adquirem informações técnicas do processo de fabricação e os funcionários vão se familiarizando com os determinados conceitos de Estatística.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUER, G. **Qualidade: conceitos e abordagens.** In: CONTADOR, J. C. **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa.** 2. ed. São Paulo: Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 1998. cap. 14, p. 177-200.

BOX, G. E. P.; PIERCE, D. A. Distribution of residual auto-correlations in autorregressive-integrated moving average time series models. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 65, n. 332, p. 1509-1529, Dec. 1970.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento.** 4. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1991. 327 p.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** Rio de Janeiro: Editora Marques Saraiva, 1990. 367 p.

ECONOMETRIC VIEWS versão 2. Copyright® 1994-1995.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992. 357 p.

IEMMA, A. F. **Estatística descritiva.** Piracicaba: φσρ Publicações, 1992. 182 p.

JURAN, J. M. **Juran na liderança pela qualidade.** 2. ed. São Paulo: Livraria Pioneira, 1990.

KUME, H. **Statistical methods for quality improvement.** Tóquio: AOTS Chosakai, 1987. 231 p.

MINITAB 12 for Windows. Copyright 1998.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control.** 3 ed. New York: John Wiley, 1997. 677 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de séries temporais.** São Paulo: Atual, 1985. 439 p.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of statistics**. 3. ed. Tokyo: Mc, 1974. 564 p.

OLIVEIRA, M. S. **Qualidade na educação universitária**. 2000. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PRAZERES, P. M. **Dicionário de termos da qualidade**. São Paulo: Atlas, 1996. 421 p.

PRIESTLEY, M. B. **Spectral analysis and time series – (Probability and Mathematical Statistical)**. 6. ed. New York: Academic Press, 1989. 890 p.

STATISTICA for Windows. Realese 5. Copyright Stat Soft. 1984-1995.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. 404 p.