

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Exatas - ICEX

Departamento de Estatística

PEDRO HENRIQUE ANTONACI GAMA

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS APLICADO AO SETOR DE
COMÉRCIO DE BUCHAS VEGETAIS**

Belo Horizonte

2015

Pedro Henrique Antonaci Gama

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS APLICADO AO SETOR DE
COMÉRCIO DE BUCHAS VEGETAIS**

Monografia Apresentada à
Coordenação do Curso de Estatística da
Universidade Federal De Minas Gerais
como parte dos Requisitos Necessários
para a Obtenção do Título de
Especialista Em Estatística – Ênfase
em Indústria e Mercado.

Orientador: Prof. Dr. Roberto da Costa Quinino

Belo Horizonte

2015

RESUMO

Autor: Pedro Henrique Antonaci Gama

Orientador: Roberto Quinino

No cenário atual, marcado pela grande competitividade no mercado, as empresas buscam cada vez mais aperfeiçoar seus processos produtivos para atender às exigências dos clientes. Nesse sentido, os métodos estatísticos de controle da qualidade, em especial os gráficos de controle, ganham destaque uma vez que apresentam uma dimensão quantitativa da variabilidade de um processo. No presente trabalho foram utilizados os gráficos de controle para avaliar a capacidade do processo produtivo de uma empresa que atua no setor de comércio. Os resultados permitirão aos gestores avaliarem melhor o processo produtivo da empresa, bem como atuarem de forma planejada nos setores defeituosos.

Palavras-chaves: Controle Estatístico do Processo, Gráficos de Controle, Capacidade do Processo.

ABSTRACT

Autor: Pedro Henrique Antonaci Gama

Orientador: Roberto Quinino

In the present scenario, marked by highly competitive market, companies are increasingly looking to improve their production processes to meet customer requirements. In this sense, statistical methods of quality control, particularly control charts, are highlighted as they present a quantitative dimension of variability of a process. In the present work were the control charts used to assess the ability of the production process of a company engaged in the trade sector. The results will allow managers to better assess the production process of the company and act in a planned manner in bad sectors.

Key-words: Statistical Process Control, Control Charts, Process Capability.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVO.....	1
1.3 JUSTIFICATIVA.....	2
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	2
CAPÍTULO II	3
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
2.2 O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO – CEP	3
2.3 OBJETIVOS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	4
2.4 FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	4
2.4.1 Histogramas.....	5
2.4.2 Folha de Verificação	6
2.4.3 Gráfico de Pareto.....	6
2.4.4 Diagrama de causa-e-feito.....	7
2.4.5 Diagrama de concentração de defeito	8
2.4.6 Diagrama de dispersão	8
2.4.7 Gráfico de Controle.....	9
CAPÍTULO III	10
3.1 INTRODUÇÃO	10
3.2 O GRÁFICO DE CONTROLE.....	10
3.3 TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS	11
3.4 GRÁFICOS DE CONTROLE PARA \bar{x} e R	13
3.5 INTERPRETAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE.....	14
3.6 CAPACIDADE DO PROCESSO	16
CAPÍTULO IV	18
4.1 A EMPRESA, O PRODUTO ESTUDADO E AS EXIGÊNCIAS DO CLIENTE.....	19
4.2 CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE PARA \bar{x} e R COM OS VALORES DO PROCESSO ATUAL.....	21
4.2.1 Gráficos \bar{x} e R para a Característica Comprimento.....	21
4.2.2 Gráficos \bar{x} e R para a Característica Largura	24

4.3 ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO COM VALORES DE REFERÊNCIA ESTIPULADOS PELO CONTRATANTE	27
4.3.1 Capacidade do Processo para a característica Comprimento	27
4.3.1 Capacidade do Processo para a característica Largura.....	28
CAPÍTULO V	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de Histograma	5
Figura 2: Exemplo de Folha de Verificação.....	6
Figura 3: Exemplo de Gráfico de Pareto	7
Figura 4: Exemplo de Diagrama de Causa-e-Efeito.....	7
Figura 5: Exemplo de Diagrama de Concentração de Defeito.....	8
Figura 6: Exemplo de Diagrama de Dispersão.....	9
Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle	9
Figura 8: Gráfico de Controle	11
Figura 9: Exemplo Papel de Probabilidade	12
Figura 10: Carta de controle com (LSC (LIC) e central (LC) e linhas correspondentes aos desvios	15
Figura 11: Exemplos de processos fora de controle estatístico.....	16
Figura 11: Bancada de corte das buchas	20
Figura 12: Bucha vegetal em pedaço e inteira	20
Figura 13: Teste de Normalidade – comprimento.....	22
Figura 14: Carta X-barra - Comprimento.....	23
Figura 15: Carta R – Comprimento.....	24
Figura 16: Teste de Normalidade – largura.....	25
Figura 17: Carta X-barra - largura.....	26
Figura 18: Carta R - largura	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Interpretação valor da CP.....	18
Tabela 2: Dados comprimento	21
Tabela 3: Dados largura	26

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	31
---------------	----

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia e a crescente competitividade conduzem grandes desafios à indústria, revelando a importância da qualidade no processo produtivo.

Muitas empresas já se conscientizaram de que a venda de produtos de baixa qualidade, isto é, produtos que apresentam defeitos ou confiabilidade reduzida, diminuem a sua competitividade. Estas empresas também sabem que a implantação de um programa para melhoria da qualidade pode eliminar desperdícios, reduzir os índices de produtos defeituosos fabricados, diminuir a necessidade da realização de inspeção e aumentar a satisfação dos clientes. Estes fatores trazem como consequência um aumento da produtividade e da competitividade das empresas.

O Controle Estatístico do Processo, CEP, é uma metodologia clássica na área de qualidade e certamente uma das mais usadas no meio industrial. Desde seu aparecimento, vem sendo aplicado em vários processos e regiões do mundo todo. O CEP visa aprimorar e controlar o processo produtivo através da identificação das várias fontes de variabilidade do processo.

Os gráficos de controle, uma das sete ferramentas do CEP, permite identificar se o processo está sob controle ou não, ou seja, o gráfico de controle funciona como um detector de anormalidades estatísticas no processo, que poderiam conduzir às saídas defeituosas. Além disso, são usados no estudo da capacidade do processo, isto é, na capacidade da empresa de produzir dentro das especificações de projeto do produto.

1.2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é apresentar um estudo de caso que foi realizado no setor de comércio, no qual se aplicou as cartas de controle como ferramenta do controle estatístico do processo.

1.3 JUSTIFICATIVA

No cenário atual, marcado pela grande competitividade no mercado, as empresas buscam cada vez mais aperfeiçoar seus processos produtivos para atender às exigências dos clientes. Neste contexto, o presente trabalho torna-se justificável na medida em que busca aplicar o controle estatístico do processo como ferramenta de qualidade na gestão produtiva de uma empresa de comércio.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: o capítulo I traz a visão geral e introdutória do trabalho, bem como seu objetivo, justificativa e estruturação

O capítulo II apresenta o conceito de controle estatístico do processo – CEP, bem como suas sete ferramentas.

No capítulo III é dado maior enfoque para as cartas de controle, ferramenta utilizada no estudo de caso, além de conceituar e apresentar os formulários para a capacidade do processo.

No capítulo IV é apresentado o estudo de caso, mostrando a área de atuação da empresa, o produto comercializado, além da análise dos valores obtidos através das medições realizadas nas dependências da mesma.

O capítulo V é reservado para a conclusão sobre os resultados obtidos.

CAPÍTULO II

O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com a definição de Taguchi (1989), um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível em torno dele.

Cada produto possui um número de elementos que, em conjunto, descrevem sua adequação ao uso. Esses elementos são freqüentemente chamados características da qualidade ou indicadores de desempenho.

Segundo Montgomery (2009), essas características podem ser de diversos tipos: físicas, tais como comprimento, peso, voltagem e viscosidade; sensoriais, como gosto, aparência e cor; ou de orientação temporal, como confiabilidade, manutenção, utilidade e durabilidade.

O controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido.

2.2 O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO – CEP

O controle estatístico do processo é um sistema de inspeção por amostragem, operando ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar a qualidade do produto manufaturado.

Uma vez identificadas as causas especiais, podemos atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos de produção e, por conseguinte, a qualidade do produto final.

O CEP fornece uma radiografia do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando o controle dessa variabilidade ao longo do tempo através da coleta de dados continuada, análise e bloqueio de possíveis causas especiais que estejam tornando o sistema instável.

Num ambiente competitivo, o controle estatístico abre caminho para melhorias contínuas, uma vez que garante um processo estável, previsível, com uma identidade e capacidade definidas, cuja evolução pode ser facilmente acompanhada.

2.3 OBJETIVOS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O principal objetivo do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador em tempo real. Isso aumenta o comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido e libera a gerência para as tarefas de melhoria.

O CEP possibilita o monitoramento das características de interesse, assegurando que elas irão se manter dentro de limites preestabelecidos e indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. É importante ressaltar a importância de se detectar os defeitos o mais cedo possível, para evitar a adição de matéria-prima e mão-de-obra a um produto defeituoso.

O CEP objetiva aumentar a capacidade dos processos, reduzindo refugo, retrabalho e, por consequência, o custo da má qualidade. Assim, ele proporciona às empresas a base para melhorar a qualidade de produtos e serviços e, simultaneamente, reduzir substancialmente o custo da má qualidade.

2.4 FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

O CEP pode ser aplicado a qualquer processo. Suas sete principais ferramentas são:

- 1) Apresentação em histogramas
- 2) Folha de Verificação
- 3) Gráfico de Pareto

- 4) Diagrama de causa-e-efeito
- 5) Diagrama de concentração de defeito
- 6) Diagrama de dispersão
- 7) Gráfico de controle

A seguir será feita uma breve exposição das sete ferramentas citadas. Para maiores esclarecimentos recomenda-se Montgomery (2009).

2.4.1 Histogramas

Um histograma é uma ferramenta de análise e representação de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência, que permite distinguir a forma, o ponto central e a variação da distribuição, além de outros dados como amplitude e simetria na distribuição dos dados.

O histograma consiste em uma escala horizontal para os valores dos dados a serem representados, uma escala vertical para as frequências e barras para representar os valores das frequências das diversas classes. Em geral, a construção de um histograma para representar um conjunto de valores é precedida de uma tabela completa de frequência daqueles valores. Cada barra é delimitada pela fronteira interior de classe à esquerda e pela fronteira superior de classe à direita. Obtém-se, entretanto, melhor legibilidade tomando-se os pontos médios das classes em lugar das fronteiras das classes. A figura 1 apresenta um exemplo de histograma.

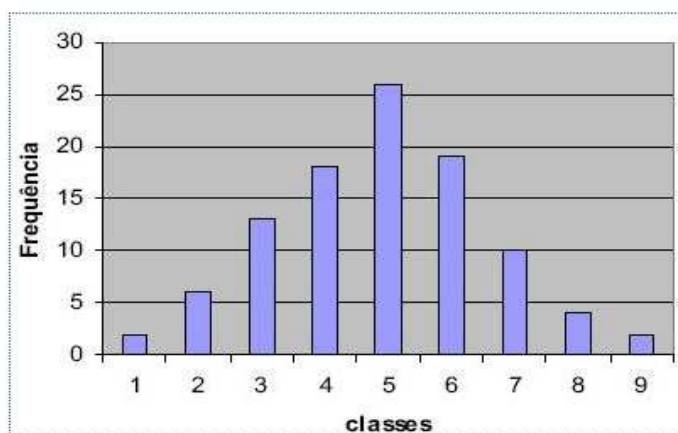


Figura 1: Exemplo de Histograma

Fonte: Werkeman (2006)

2.4.2 Folha de Verificação

As folhas de verificação são tabelas ou planilhas usadas para facilitar a coleta e análise de dados. O uso de folhas de verificação economiza tempo, eliminando o trabalho de se desenhar figuras ou escrever números repetitivos. Além disso, elas evitam comprometer a análise dos dados. A tabela 2.2 mostra a concentração de cada tipo de defeito num processo de montagem com uma amostra de 1000 peças.

Componente: Conjunto ABC		Seção: Linha de montagem			
Processo de trabalho: montagem		Data da produção: 30/03/05			
Quantidade produzida: 1.000 peças		Inspetor:			
Tipo de defeito	Tabulação	Frequência do item	Class	% Individual	% acumulada
Alinhamento		12	6º	06%	
Solda		21	4º	10%	
Parafuso solto		68	1º	34%	
Junção		15	5º	07%	
Sujeira		41	2º	20%	
Riscos		29	3º	14%	
Trinca		10	7º	05%	
Rebarba		06	8º	03%	
Bolha		01	9º	01%	
totais		202	-	100%	

Figura 2: Exemplo de Folha de Verificação
Fonte: Werkeman (2006)

2.4.3 Gráfico de Pareto

Diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado para estabelecer uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas. Tem o objetivo de compreender a relação ação/benefício, ou seja, prioriza a ação que trará o melhor resultado. O diagrama é composto por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências em ordem decrescente, e permite a localização de problemas vitais e a eliminação de futuras perdas. O diagrama baseia-se no princípio de que a maioria das perdas tem poucas causas, ou, que poucas causas são vitais, a maioria é trivial.

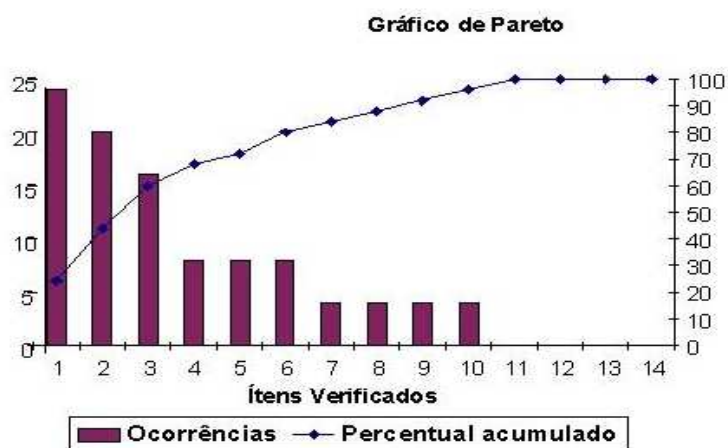


Figura 3: Exemplo de Gráfico de Pareto
Fonte: Werkeman (2006)

2.4.4 Diagrama de causa-e-feito

O Diagrama de Causa e Efeito, também chamado de “Diagrama de Ishikawa” ou “Diagrama Fishbone”, tem como objetivo facilitar a identificação das causas de problemas que devem ser sanados ou mesmo os fatores que levam a determinado resultado que desejamos obter através da representação gráfica.



Figura 4: Exemplo de Diagrama de Causa-e-Efeito
Fonte: Werkeman (2006)

2.4.5 Diagrama de concentração de defeito

O diagrama de concentração de defeito é uma ferramenta gráfica que é útil para a análise das causas dos defeitos do produto ou peça. É um desenho do produto, com todos os pontos de vista relevantes apresentados, no qual os locais e as frequências de vários defeitos são mostrados. A figura 5 exemplifica um diagrama de concentração de defeito, mostrando um circuito eletrônico com pontos de defeito lotados. A região em vermelho é onde localiza a maior parte dos defeitos da placa.

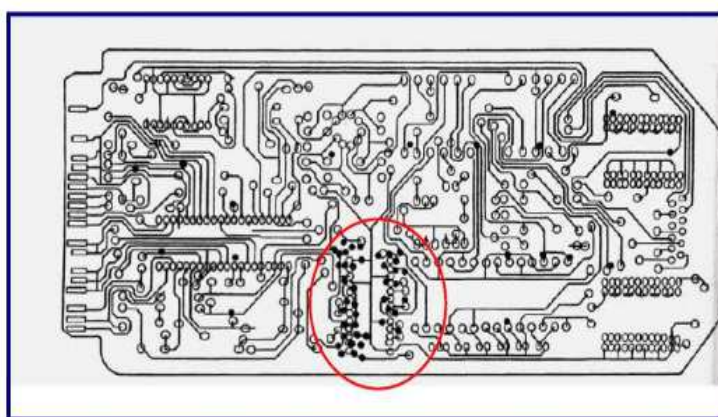


Figura 5: Exemplo de Diagrama de Concentração de Defeito
Fonte: Werkeman (2006)

2.4.6 Diagrama de dispersão

Montgomery (2009) define diagrama de dispersão como um “gráfico útil para a identificação das relações potenciais entre duas variáveis. Os dados são coletados aos pares sobre as duas variáveis, (x_i, y_i) , para $i = 1, 2, \dots, n$. Assim, y_i é plotado versus x_i a forma de um diagrama de dispersão em geral indica que tipo de relação pode existir entre as duas variáveis”. A figura 6 demonstra claramente a correlação negativa entre o consumo de vegetais e a média da taxa de mortalidade para o sexo feminino. Quanto maior o consumo de vegetais menor se torna a taxa de mortalidade.

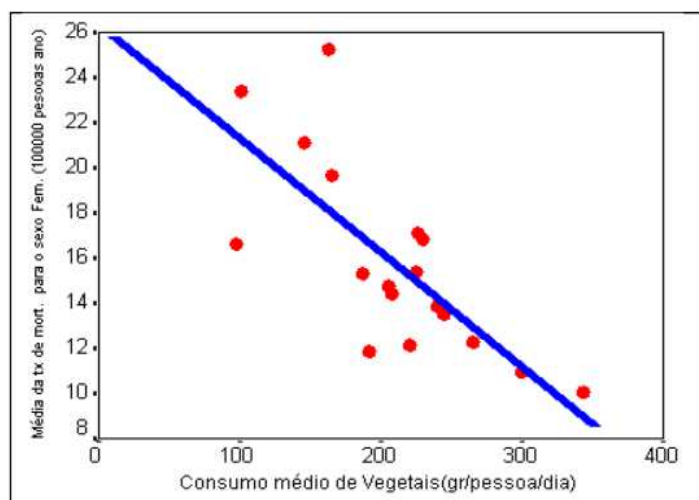


Figura 6: Exemplo de Diagrama de Dispersão
Fonte: Werkeman (2006)

2.4.7 Gráfico de Controle

De acordo com Werkeman (2006) os gráficos de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo. O gráfico de controle permite a distinção entre os dois tipos de causas de variação (comuns ou especiais), eles informam se o processo está ou não sob controle estatístico. O gráfico de controle a seguir demonstra um processo com duas causas especiais (destacadas em vermelho), caracterizando um processo fora de controle.

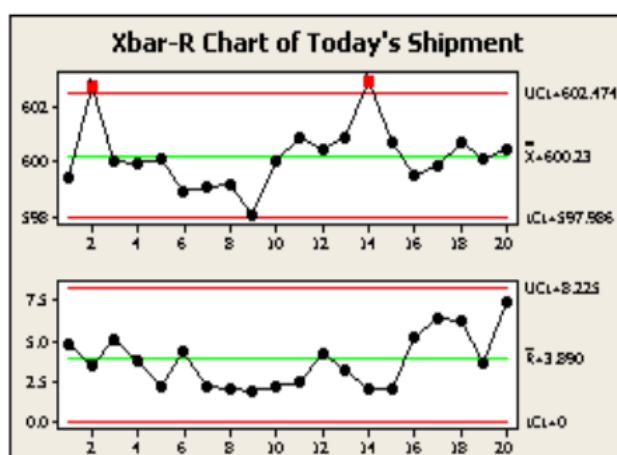


Figura 7: Exemplo de Gráfico de Controle
Fonte: Werkeman (2006)

CAPÍTULO III

GRÁFICO DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS

3.1 INTRODUÇÃO

Para que uma empresa consiga atender às exigências dos clientes o processo de produção dos seus itens deve ser estável e replicável. Em outras palavras, o processo deve possuir pequena variabilidade em torno das dimensões alvo das características de qualidade de seus produtos (MONTGOMERY, 2009).

No capítulo anterior foram citadas algumas ferramentas do controle estatístico do processo (CEP). No presente capítulo daremos enfoque ao Gráfico de Controle.

3.2 O GRÁFICO DE CONTROLE

O propósito do gráfico de controle é determinar se o desempenho de um processo está mantendo um nível de qualidade aceitável. É esperado que qualquer processo experimente variabilidade natural, sem qualquer importância e incontroláveis. Por outro lado, um processo pode experimentar tipos mais graves de variabilidade em medidas de desempenho importantes.

Essas fontes de variabilidade podem surgir de uma dentre várias causas não aleatórias, como erros de operador ou medidores inadequados. Um processo que opera nessa situação é chamado *fora de controle*. Um processo que experimenta variação ao acaso é dito estar sob *controle estatístico* (WALPOLE, 2010).

Um gráfico de controle é usado como ferramenta para detecção de estados não aleatórios ou fora de controle de um processo. Estes gráficos determinam estatisticamente uma faixa denominada limite de controle, que é limitada por uma linha superior (limite superior de controle – LSC) e uma linha inferior (limite inferior de controle – LIC), além de uma linha central (limite central – LC). A figura 8 mostra exemplos de cartas de controle.

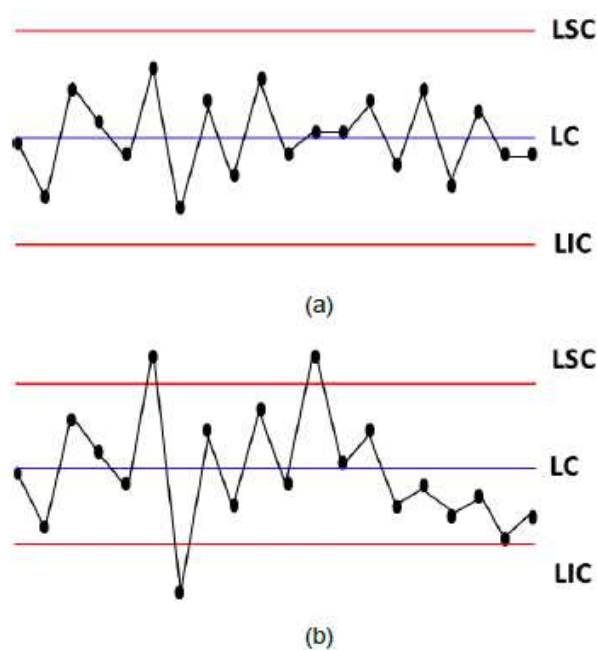


Figura 8: Gráfico de Controle
 Fonte: Oliveira (2013)

Quando todos os pontos amostrais estiverem dispostos dentro dos limites de controle de forma aleatória, considera-se que o processo está “sob controle” (figura 7 - a). No entanto, se um ou mais pontos estiverem dispostos fora dos limites de controle, há evidência de que o processo está “fora de controle” (Figura 7 - b), e que a investigação e ações corretivas são necessárias para detectar e eliminar as causas especiais no processo.

3.3 TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS

Uma suposição fundamental no desenvolvimento das cartas de controle para variáveis, é que a distribuição da característica seja normal.

Para checar a normalidade dos dados várias técnicas podem ser utilizadas, como o uso de histogramas, testes não paramétricos (Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov ou Shapiro-Wilk) ou gráficos de probabilidade (Q-Q plot ou papel de probabilidade).

A figura 9 mostra um Gráfico de Probabilidade para verificar a adequação dos dados à distribuição Normal. Quanto mais próximos os dados estiverem da reta, mais próximos estarão da distribuição Normal.

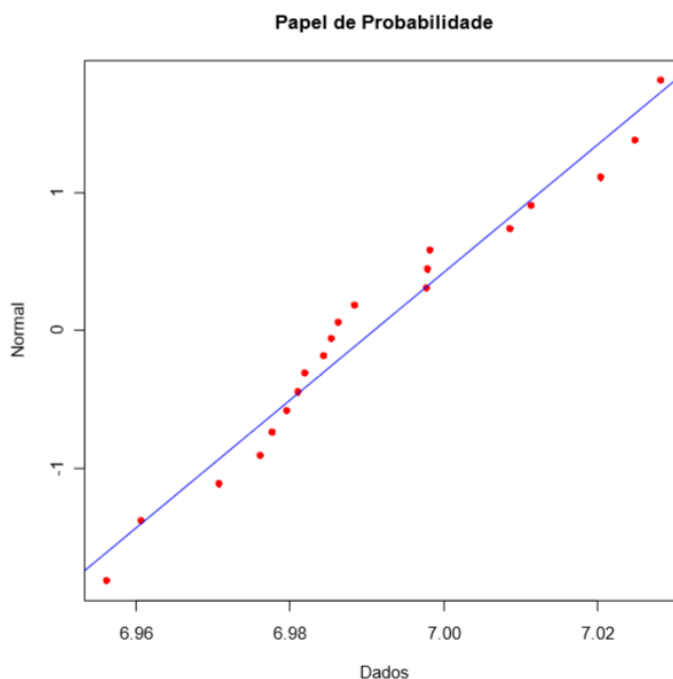


Figura 9: Exemplo Papel de Probabilidade
Fonte: Oliveira (2013)

Já o teste Shapiro-Wilk averigua se um dado conjunto de observações se pode considerar proveniente de uma população com distribuição normal.

Seja X a característica em estudo da população. Formulam-se as hipóteses:

$$H_0: X \text{ tem distribuição normal}$$

$$H_1: X \text{ não tem distribuição normal}$$

Rejeita-se H_0 se valor $p \leq \alpha$, significando que não se pode admitir que X tem distribuição Normal;

Se valor $p > \alpha$ não se rejeita H_0 , o que significa que a distribuição Normal é uma distribuição possível para X .

Geralmente se adota para α o valor de 0,05.

3.4 GRÁFICOS DE CONTROLE PARA \bar{x} e R

Ao trabalharmos com uma característica da qualidade que é uma variável, é usualmente necessário controlar tanto o valor médio das características da qualidade como a sua variabilidade. O controle da média do processo é geralmente feito através do gráfico de controle para médias, ou gráfico \bar{x} . Já a variabilidade do processo pode ser monitorada tanto através do gráfico de controle para o desvio padrão, denominado gráfico S, quanto pelo gráfico para a amplitude, chamado gráfico R (MONTGOMERY, 2009).

Na prática, em geral, não são conhecidos os valores de μ e σ . Neste caso, eles devem ser estimados a partir de amostras retiradas quando o processo estava supostamente sob controle. Segundo Montgomery (2009), tais estimativas devem se basear em pelo menos 20 ou 25 amostras, com 4, 5 ou 6 observações em cada uma delas.

Sendo $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_m$ as médias de cada uma das amostras, então o melhor estimador de μ , a média do processo, é a média geral, dada por

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (1)$$

Para estimar σ podemos fazer uso das amplitudes das m amostras. Sejam $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_m$ os m valores observados de uma amostra. A amplitude da amostra é dada pela diferença entre o maior e a menor observação, ou seja,

$$R = x_{máx} - x_{mín} \quad (2)$$

Sendo $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ as amplitudes das m amostras, a amplitude média é

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (3)$$

Para o cálculo dos limites de controle de \bar{x} são utilizadas as seguintes fórmulas:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (4)$$

$$\text{Linha Central} = \bar{\bar{x}} \quad (5)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (6)$$

A constante A_2 é tabulada para vários tamanhos de amostra e se encontra no anexo A do presente trabalho.

Para o cálculo dos limites de controle de R são utilizadas as seguintes fórmulas

$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (7)$$

$$\text{Linha Central} = \bar{R} \quad (8)$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad (9)$$

As constantes D_3 e D_4 são tabeladas para diversos valores de m e podem ser consultadas no anexo A do presente trabalho.

Se \bar{R} é a amplitude média das m amostras preliminares, podemos usar

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (10)$$

para estimar σ . Os valores de d_2 para diversos tamanhos de amostras são apresentados no anexo A

3.5 INTERPRETAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE

Vários critérios para a interpretação das cartas de controle podem ser aplicados simultaneamente para determinar se o processo não está sob controle. O critério básico é o de que haja um ou mais pontos fora dos limites de controle. Critérios suplementares são utilizados para aumentar a sensibilidade das cartas de controle a uma pequena alteração no processo, de modo a responder mais rapidamente a uma causa especial de variação.

A norma ISO 8258 – *Shewhart Control Charts* estabelece os seguintes critérios de decisão em cartas de controle (Figura 10)

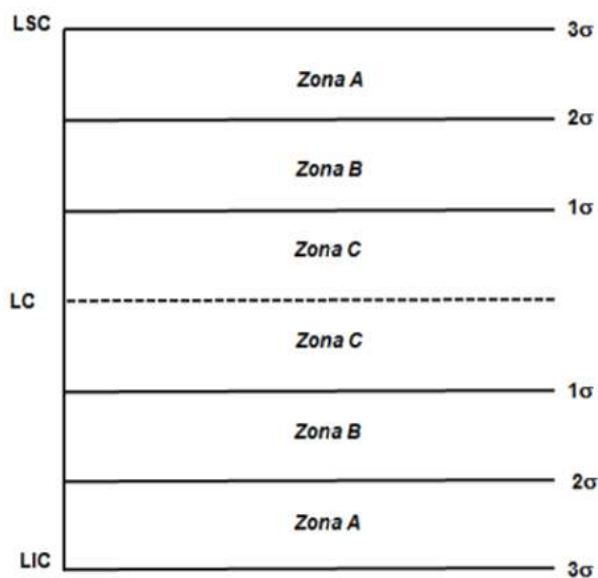


Figura 10: Carta de controle com (LSC (LIC) e central (LC) e linhas correspondentes aos desvios
Fonte: Oliveira (2013)

- a) 1 ou mais pontos acima do LSC ou abaixo do LIC;
- b) 9 pontos consecutivos na zona C ou no mesmo lado do LC;
- c) 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou todos diminuindo;
- d) 14 pontos consecutivos alternando para cima e para baixo;
- e) 2 de 3 pontos consecutivos na zona A ou além dela;
- f) 4 de 5 pontos consecutivos na zona B ou além dela;
- g) 15 pontos consecutivos na zona C (tanto acima quanto abaixo do LC);
- h) 8 pontos consecutivos na zona B.

A figura 11 mostra a avaliação dos oito critérios estabelecidos na normal ISO 8258 para a interpretação das cartas de controle de *Shewart*.

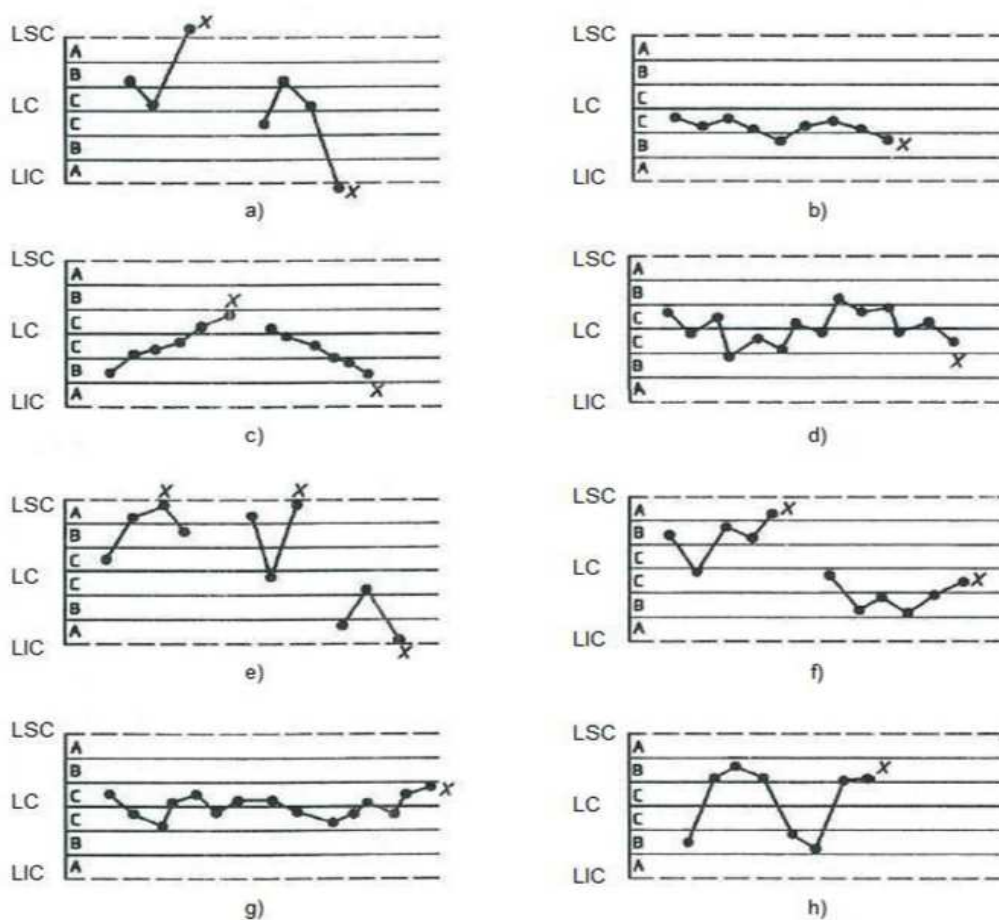


Figura 11: Exemplos de processos fora de controle estatístico
 Fonte: Oliveira (2013)

Segundo Montgomery (2009), os critérios suplementares geralmente são utilizados até que o processo esteja sob controle. Depois disso, pode-se adotar apenas o critério básico (1 ou mais pontos fora do limite de controle), mas fica a cargo do analista responsável decidir quais regras serão empregadas.

3.6 CAPACIDADE DO PROCESSO

A capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade. O conceito de capacidade do processo tem uma associação com a especificação do produto que o processo deve atender, ou seja, é a capacidade do processo produzir dentro das especificações de projeto do

produto. É a relação entre a sua variabilidade natural e a tolerância de especificação do projeto do produto (Montgomery, 2009).

É costume tomar como medida da capacidade de um processo a dispersão de seis-sigma na distribuição da característica da qualidade do produto. Os limites naturais de tolerância de situam entre $\mu + 3\sigma$ e $\mu - 3\sigma$, isto é,

$$LSNT = \mu + 3\sigma \quad (11)$$

$$LINT = \mu - 3\sigma \quad (12)$$

Para uma distribuição normal, os limites naturais de tolerância incluem 99,73% da variável, ou seja, apenas 0,27% da saída do processo fica fora dos limites naturais de tolerância (Montgomery, 2009).

Podemos expressar de uma maneira quantitativa a capacidade de um processo. Para tanto, uma forma é razão da capacidade de um processo C_p

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (13)$$

Onde LSE e LIE são, respectivamente, os limites superior e inferior de especificação.

Em aplicações práticas, o desvio padrão do processo σ é quase sempre desconhecido e deve ser substituído por uma estimativa de σ . Para estimar σ , usualmente utiliza-se o desvio padrão amostral S ou \bar{R}/d_2 . Assim, temos uma estimativa de C_p dada por:

$$\widehat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (14)$$

Com isso tem-se que quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, desde que a média esteja centrada no valor nominal. Uma regra prática, conforme Montgomery (2009), para analisar este índice é definir três intervalos de referência, mostrados na Tabela 1.

Cp	Itens não conformes (PPM)	Interpretação
$Cp < 1$	Acima de 2700	Processo incapaz
$1 \leq Cp \leq 1,33$	64 a 2700	Processo aceitável
$Cp \geq 1,33$	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Tabela1: Interpretação valor da CP
Fonte: Adaptado de Montgomery (2009)

CAPÍTULO IV

ESTUDO DE CASO

4.1 A EMPRESA, O PRODUTO ESTUDADO E AS EXIGÊNCIAS DO CLIENTE

A empresa estudada é classificada como micro-empresa e atua nos setores de construção civil e comércio de produtos vegetais, mais destacadamente buchas vegetais.

A bucha vegetal pertence à família botânica das Cucurbitaceae, gênero *Luffa*. À essa mesma família também pertencem o melão, a melancia, o chuchu, o pepino e as abóboras. A planta, provida de gavinhas, tem hábito de crescimento trepador, sendo a produção realizada predominantemente em sistema de tutoramento.

A espécie mais conhecida e cultivada no Brasil é a *Luffa cylindrica*. A fibra do fruto maduro é muito utilizada em todo o mundo na limpeza geral, higiene pessoal e como artesanato. Na indústria, as fibras são empregadas na fabricação de estofamentos, de dispositivos de filtragem e de isolamentos acústicos e térmicos, dentre outras aplicações. A espécie *Luffa aegyptiaca* também pode ser utilizada para a produção de fibra.

No mercado elas são comercializadas no tamanho in-natura ou são cortadas em pedaços menores para uso mais freqüente como produto de higiene no banho. A empresa estudada atua efetuando o corte para comercialização em mercados atacadistas e varejistas.

A figura 11 mostra a bancada utilizada para o corte das buchas, de maneira artesanal, utilizando serra circular. Já a figura 12 mostra as buchas cortadas em pedaços e em tamanho natural.



Figura 11: Bancada de corte das buchas



Figura 12: Bucha vegetal em pedaço e inteira

Nos últimos anos, grandes atacadistas têm reclamado junto aos seus fornecedores uma padronização no tamanho dos pedaços, uma vez que a variabilidade percebida estava muito alta. Assim, passaram a exigir relatórios de controle estatístico da qualidade para avaliar se o processo está atendendo às especificações exigidas. No presente trabalho uma grande empresa atacadista exige que o pedaço da bucha tenha comprimento de $14,00 \pm 0,50$ cm e a largura $7,00 \pm 0,50$ cm.

Buscando se adequar às novas exigências do mercado, a empresa estudada iniciou seu processo de controle estatístico da qualidade, no presente caso através das cartas de

controle para as dimensões comprimento e largura. O objetivo é verificar se o *status* atual de produção de enquadra nas exigências do atacadista.

4.2 CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE PARA \bar{x} e R COM OS VALORES DO PROCESSO ATUAL

Para a construção dos gráficos de controle \bar{x} e R do processo atual de produção da empresa foram selecionadas 30 amostras, com 8 observações cada, das características comprimento e largura. Nesta etapa do trabalho buscou-se avaliar se o processo atual de produção da empresa estava sob controle, sem o conhecimento prévio dos valores de μ e σ .

Para realizar as medidas de comprimento e largura, inicialmente as buchas foram prensadas para eliminar a curvatura natural do produto. Em seguida foi utilizada trena milimetrada para aferir as medidas. Tomou-se a média de três medidas da mesma peça.

A análise das cartas foi baseada nos critérios definidos pela norma ISO 8258 apresentadas no capítulo III.

Foi utilizado o software *Action* na geração dos gráficos. O software *Action* é um software livre que trabalha em conjunto com o Microsoft Excel, e que pode ser usado sem custos de licença.

4.2.1 Gráficos \bar{x} e R para a Característica Comprimento

Na tabela 2 abaixo são mostrados os dados obtidos para a característica comprimento.

Observação	1	2	3	4	5	6	7	8
Amostras	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)	Comp.(cm)
1	12,50	13,40	12,40	12,10	13,53	13,50	13,70	12,70
2	13,50	13,00	13,59	14,00	13,60	14,10	13,20	14,40
3	14,25	14,16	13,80	14,30	14,00	14,15	14,23	14,22
4	13,52	14,00	13,60	13,70	14,40	13,66	14,50	13,30
5	14,20	12,00	14,00	13,40	12,30	12,50	13,30	11,80
6	13,54	13,77	11,70	12,60	14,00	13,91	12,00	11,90
7	13,50	13,52	14,00	13,30	13,10	13,20	13,00	12,00
8	13,66	13,50	13,80	13,50	13,00	12,00	13,30	13,50

9	13,52	12,50	14,00	13,00	12,50	13,00	13,50	13,50
10	13,50	13,50	13,10	14,00	13,00	13,00	14,00	13,00
11	14,00	13,55	12,50	13,00	13,00	13,00	13,50	13,00
12	13,50	12,80	13,56	14,00	15,00	13,20	14,00	12,70
13	13,30	14,52	12,00	12,50	12,60	13,90	14,00	12,50
14	11,70	12,50	14,20	13,70	12,40	13,85	13,60	13,00
15	12,40	14,00	14,00	13,00	11,90	14,60	12,20	12,40
16	14,10	13,52	13,90	12,90	13,00	14,00	12,50	13,80
17	13,50	14,30	13,57	13,50	13,20	13,00	13,50	13,00
18	13,60	13,64	14,50	13,30	14,10	13,30	12,90	14,60
19	12,70	12,50	12,90	14,00	12,70	13,20	13,00	13,70
20	14,40	12,80	13,62	14,34	12,50	12,90	13,10	13,10
21	13,80	14,00	13,50	12,70	12,60	13,68	13,20	14,10
22	14,90	15,00	13,60	13,10	14,00	13,58	13,00	13,70
23	14,30	13,90	15,10	14,30	14,35	14,00	13,30	13,50
24	13,70	14,30	13,60	14,20	14,20	15,00	14,30	13,50
25	14,25	13,70	13,75	14,30	14,27	13,80	14,30	14,28
26	13,00	14,35	13,54	14,40	15,30	14,42	14,30	13,70
27	14,35	14,41	14,50	14,30	14,34	13,40	13,40	14,34
28	13,72	14,60	12,60	13,63	13,80	13,00	12,60	13,20
29	13,55	11,80	14,51	13,58	13,40	12,50	13,20	12,10
30	13,50	14,30	13,56	13,57	13,10	13,00	13,00	13,10

Tabela 2: Dados de comprimento

Foi realizado o teste de normalidade para dos dados da tabela 2. Os resultado obtido está evidenciado na figura 12

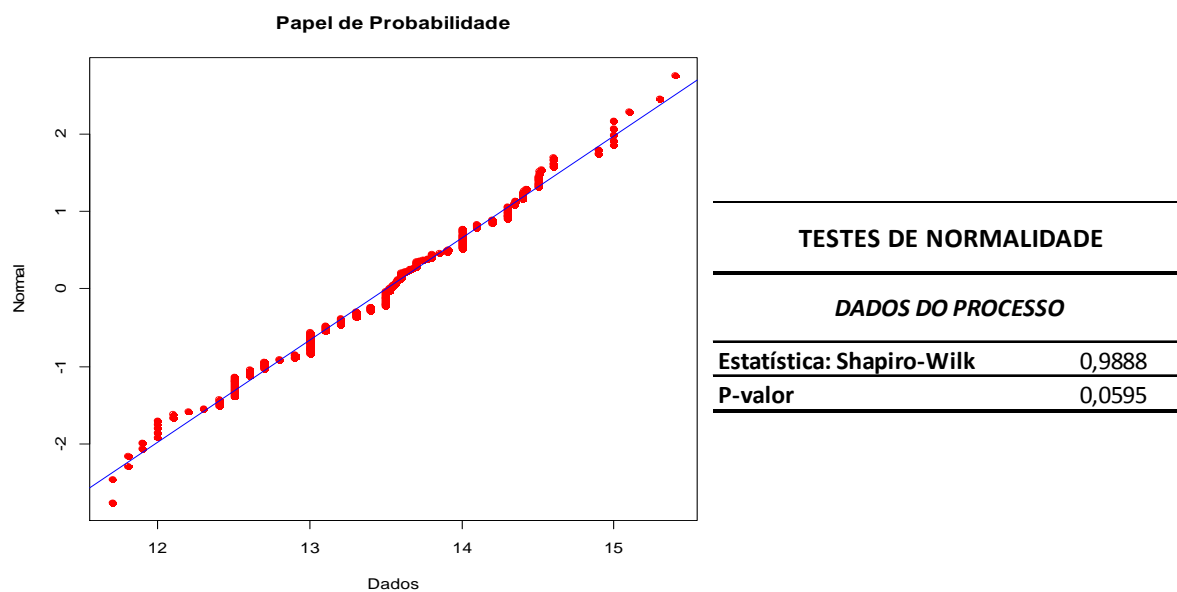


Figura 13: Teste de Normalidade – comprimento

A distribuição dos dados foi considerada normal segundo o teste de Shapiro-Wilk com valor $p > 0,05$.

Em seguida foram construídas as cartas de controle X-barra e R, mostradas nas figuras 14 e 15. As linha azul define o valor da LC, as linhas vermelhas delimitam os LSC e LIC, e as linhas pontilhadas em verde definem as regiões A, B e C apresentadas no capítulo III.

A carta X-barra apresentou 13,48 como LC, 14,13 como LSC e 12,84 como LIC. Além disso, nenhum ponto extrapolou os limites de controle, verificando o critério (a); Observa-se também que 5 pontos consecutivos estão na zona A, acima da LC, não atendendo ao critério (e); Os pontos plotados apresentaram um padrão cíclico de subida/descida, resultando em variabilidade excessiva.

A carta R apresentou 1,73 como LC, 3,23 como LSC e 0,24 como LIC. Além disso, nenhum ponto extrapolou os limites de controle, verificando o critério (a); Observa-se também que 6 pontos consecutivos estão diminuindo e outros 6 consecutivos aumentando, não atendendo ao critério (c); Os pontos plotados apresentaram um padrão cíclico de subida/descida, resultando em variabilidade excessiva.

Optou-se por considerar apenas o critério (a) discutido no capítulo III para classificar o processo como sob controle. Portanto, de acordo com esse critério adotado, o sistema está sob controle.

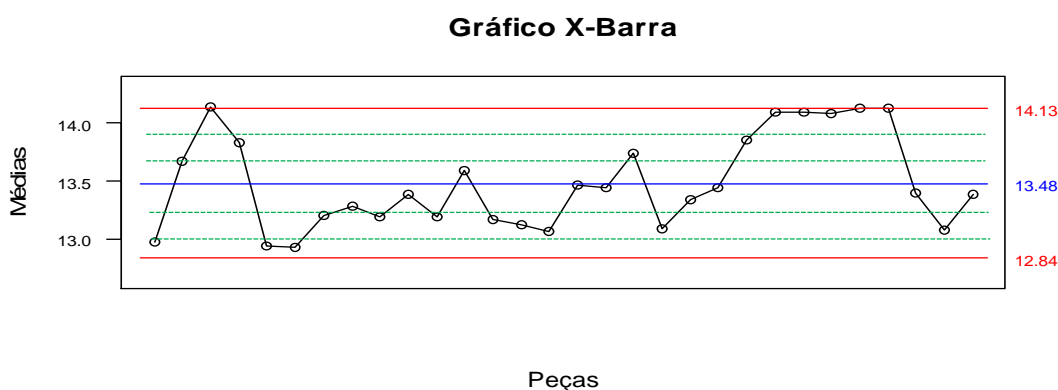


Figura 14: Carta X-barra - Comprimento

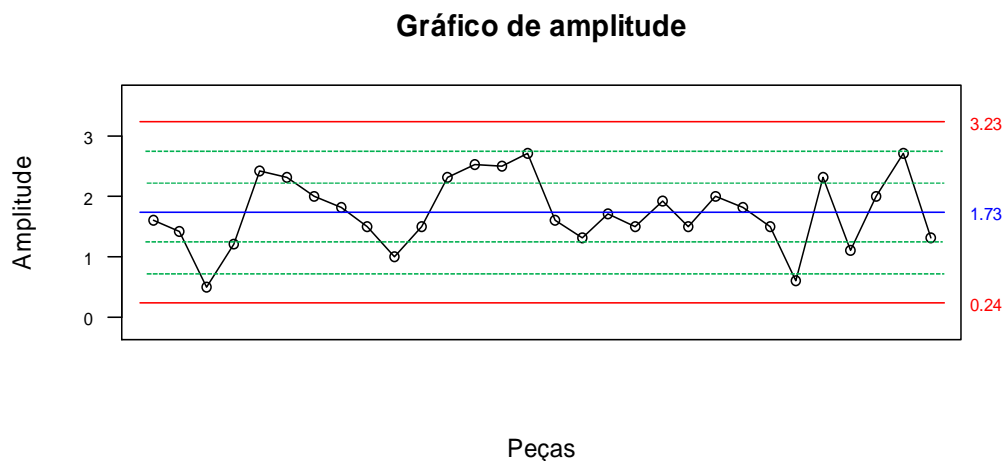


Figura 15: Carta R – Comprimento

A grande variabilidade observada nos resultados aponta uma deficiência no processo de corte, evidenciando algumas causas possíveis: o maquinário utilizado não apresenta precisão desejada; o operador necessita de melhor treinamento; a sequência de corte está operando num tempo muito curto, diminuindo a precisão.

4.2.2 Gráficos \bar{x} e R para a Característica Largura

Já na tabela 3 são apresentados os dados obtidos para a característica largura.

Observação	1	2	3	4	5	6	7	8
Amostras	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)	Larg. (cm)
1	7,80	7,80	7,35	7,70	6,10	6,35	6,25	6,75
2	6,75	6,80	7,95	7,50	6,95	7,25	7,55	7,15
3	7,30	6,05	7,45	6,75	7,55	6,95	8,00	7,95
4	6,80	9,05	7,95	5,95	6,50	7,15	6,60	7,65
5	8,30	8,30	7,20	8,80	9,65	6,70	6,20	7,70
6	7,95	6,75	7,55	6,65	6,80	6,65	6,90	6,95
7	6,65	6,90	6,50	5,75	8,05	6,90	5,90	8,60
8	7,55	7,30	6,95	7,40	6,15	7,40	9,00	7,55
9	7,25	7,90	7,45	7,00	7,10	7,45	6,50	6,60
10	6,40	7,50	6,30	7,60	7,70	6,30	7,85	9,60
11	6,80	6,30	7,20	5,85	7,05	7,80	6,55	6,20
12	6,55	6,80	7,00	8,05	6,35	6,40	6,90	6,75
13	7,30	6,20	8,10	7,80	8,10	6,25	7,95	6,55

14	7,40	8,15	7,50	8,10	7,85	6,70	7,70	8,75
15	7,30	8,45	7,25	7,25	8,40	7,35	6,10	6,15
16	7,80	7,00	6,75	7,55	8,15	7,20	7,05	6,20
17	4,90	7,30	7,30	8,40	6,85	7,25	8,25	8,60
18	7,05	7,55	8,35	8,25	7,50	7,85	7,70	6,65
19	7,35	8,90	6,20	6,40	8,10	6,85	5,70	5,55
20	8,15	5,45	7,05	5,40	6,00	6,75	8,15	6,90
21	7,65	6,95	5,60	3,95	7,35	6,70	8,10	7,60
22	7,30	6,10	5,95	7,30	5,00	9,35	7,80	7,20
23	7,65	8,35	6,15	7,65	6,40	7,50	7,10	7,00
24	6,05	8,10	6,80	6,65	6,90	6,85	7,10	6,75
25	6,20	7,80	8,75	5,95	8,40	7,70	7,50	6,40
26	7,15	7,00	9,05	6,25	6,90	6,35	7,80	8,55
27	7,40	6,35	7,25	5,01	6,45	7,30	7,85	5,90
28	6,90	7,85	7,00	6,55	9,35	7,80	6,50	6,80
29	8,00	7,55	8,40	9,50	6,90	7,60	7,50	9,90
30	7,60	6,30	8,95	6,80	7,05	6,80	6,90	6,85

Tabela 3: Dados de largura

Foi realizado o teste de normalidade para dos dados da tabela 3. Os resultado obtido está evidenciado na figura 16.

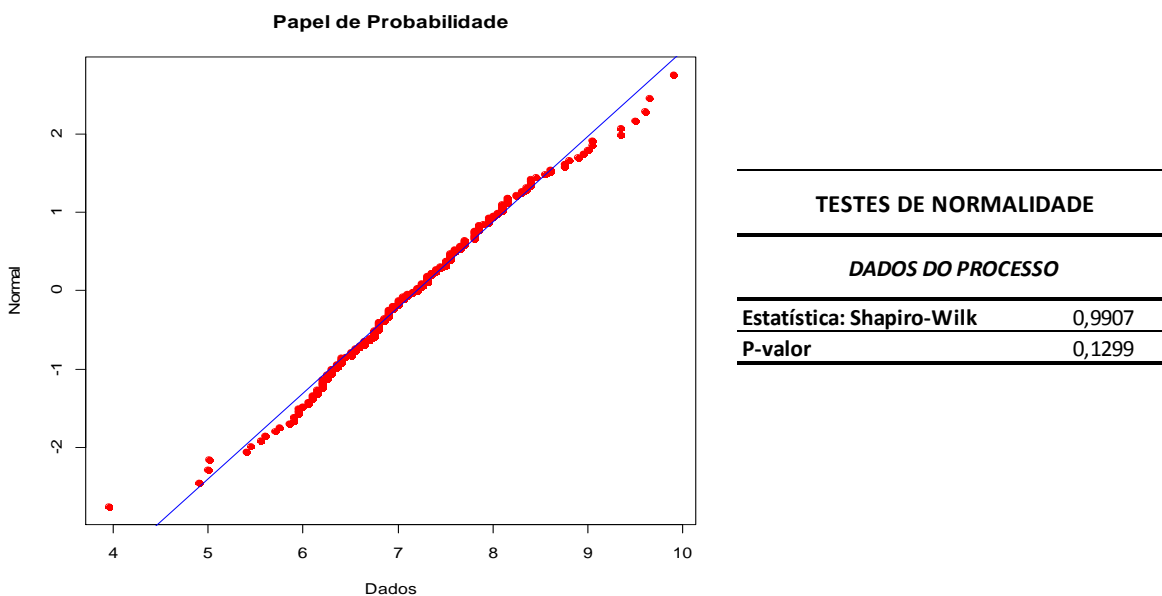


Figura 16: Teste de Normalidade – largura

A distribuição dos dados foi considerada normal segundo o teste de Shapiro-Wilk com valor $p > 0,05$.

Em seguida foram construídas as cartas de controle X-barra e R, mostradas nas figuras 17 e 18. A carta X-barra apresentou 7,2 como LC, 8,15 como LSC e 6,26 como LIC. Além disso, nenhum ponto extrapolou os limites de controle, verificando o critério (a); Os pontos plotados apresentaram um padrão cíclico de subida/descida, resultando em variabilidade excessiva.

A carta R apresentou 2,54 como LC, 4,73 como LSC e 0,35 como LIC. Além disso, nenhum ponto extrapolou os limites de controle, verificando o critério (a); Os pontos plotados apresentaram um padrão cíclico de subida/descida, resultando em variabilidade excessiva.

Optou-se por considerar apenas o critério (a) para classificar o processo como sob controle. Portanto, de acordo com este critério adotado, o sistema está sob controle.

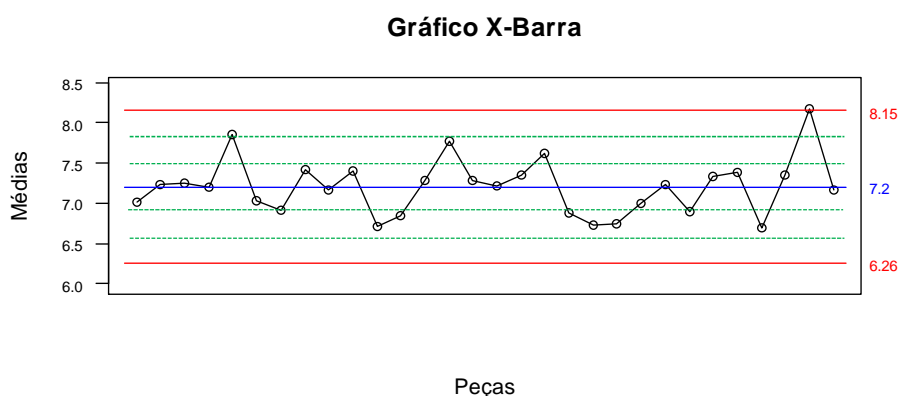


Figura 17: Carta X-barra - largura

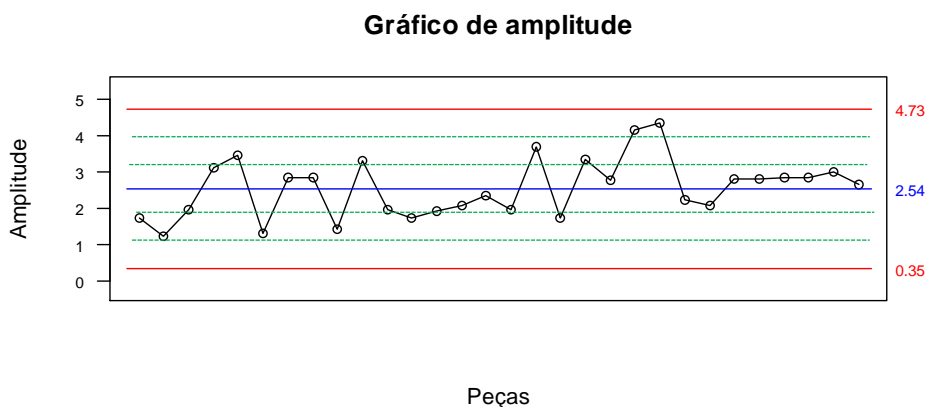


Figura 18: Carta R - largura

A grande variabilidade observada nos resultados aponta uma necessidade de melhorar o processo de plantio, uma vez que a dimensão largura não sofre efeito de corte. Técnicas de seleção de sementes podem agrupar buchas que apresentam as características desejadas.

4.3 ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO COM VALORES DE REFERÊNCIA ESTIPULADOS PELO CONTRATANTE

Conforme apresentado na seção 4.1 há a exigência de que o pedaço da bucha tenha comprimento de $14,00 \pm 0,50$ cm e a largura $7,00 \pm 0,50$ cm. A seguir serão calculadas as capacidades do processo baseadas nessas especificações.

4.3.1 Capacidade do Processo para a característica Comprimento

Para calcular a capacidade do processo inicialmente calculamos uma estimativa do desvio-padrão $\hat{\sigma}$ usando as fórmulas (3) e (10). Utilizando os valores da tabela 2 calculamos \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{30} R_i}{30} = \frac{52,03}{30} = 1,73$$

Consultando o anexo A para amostras de tamanho 8 temos $d_2 = 2,847$. Assim,

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1,73}{2,847} = 0,61$$

Dessa forma, usando a equação (14), a capacidade do processo é dada por:

$$\hat{C}_p = \frac{14,50 - 13,50}{6(0,61)} = 0,27$$

Conforme a tabela 1 o processo é classificado como incapaz. De acordo com o resultado obtido, apenas 27% da produção atual atendem aos requisitos estipulados pelo contratante. O resultado obtido é justificado devido à grande variabilidade observada nas medidas de comprimento das peças ($\bar{R} = 1,73$).

4.3.1 Capacidade do Processo para a característica Largura

Para calcular a capacidade do processo inicialmente calculamos uma estimativa do desvio-padrão $\hat{\sigma}$ usando as fórmulas (3) e (10). Utilizando os valores da tabela 3 calculamos \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{30} R_i}{30} = \frac{76,19}{30} = 2,54$$

Consultando o anexo A para amostras de tamanho 8 temos $d_2 = 2,847$. Assim,

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{2,54}{2,847} = 0,89$$

Dessa forma, usando a equação (14), a capacidade do processo é dada por:

$$\hat{C}_p = \frac{7,50 - 6,50}{6(0,89)} = 0,1873$$

Conforme a tabela 1 o processo é classificado como incapaz. De acordo com o resultado obtido, apenas 18,73% da produção atual atendem aos requisitos estipulados pelo contratante. O resultado obtido é justificado devido à grande variabilidade de medidas observadas na largura das peças ($\bar{R} = 2,54$).

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

No cenário atual, marcado pela grande competitividade no mercado, as empresas buscam cada vez mais aperfeiçoar seus processos produtivos para atender às exigências dos clientes. Neste contexto, o presente trabalho objetivou a utilização do Controle Estatístico do Processo (CEP) no setor de comércio por meio da análise dos gráficos de controle.

Em todos os gráficos de controle detectou-se falhas nas etapas do processo produtivo. Na análise da dimensão comprimento observou-se grande variabilidade nas medições. Constatou-se deficiência no processo de corte. As causas atribuíveis para esta falha apontaram as seguintes possibilidades: falta de precisão na máquina de corte, pouco treinamento do operador ou tempo sequencial de corte reduzido.

Na análise da dimensão largura constatou-se grande variabilidade nas medições. As causas atribuíveis foram de ordem natural, uma vez que esta dimensão não passa pelo processo de corte. Um processo de seleção de sementes promoveria o agrupamento de buchas com as características desejadas.

A grande variabilidade refletiu na capacidade do processo. Foi observada que apenas 27% da produção atual atendem às exigências do cliente no quesito comprimento, enquanto menos de 19% atendem no quesito largura.

Os gráficos de controle mostraram ser uma excelente ferramenta de informação de diagnóstico e da capacidade do processo.

A observância da baixa capacidade motivou a empresa investir na melhoria do processo. Atualmente o mercado oferece máquinas e treinamentos para o corte das buchas com maior precisão, em substituição ao processo de corte artesanal atual.

O presente trabalho também contribuiu para mostrar à empresa contratante que a exigência das dimensões citadas é muito alta para um produto natural, evidenciando a necessidade de renegociação do acordo comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 8258. Shewhart control charts. International Organization for Standardization.1991.

OLIVEIRA, C.C.; GRANATO D.; CARUSO, M.S.F; SAKUMA, A.M.; **Manual para Elaboração de Cartas de Controle para Monitoramento de Processos de Medição Quantitativos em Laboratórios de Ensaio**. São Paulo: SES/SP, 2013, 1ª edição, p 73.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: Gen, LTC, 2009, 4º Edição, p 513.

Portal Action. **Manual do usuário**. 2013. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br>

GENICHI, TAGUCHI. **Quality Engineering in Production Systems**. New York: McGraw-Hill, 1989.

WALPOLE, R.E.; MYERS, R.H.; MYERS, S.L.; YE, Keying. **Probabilidade e Estatística**. São Paulo: Pearson, 2010, 8ª Edição, p 491.

ANEXO A

VALORES DAS CONSTANTES PARA CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE

n	Fatores para Limites de Controle											Fatores para Linha Central			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	c ₄	1/c ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544