

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

DAMARIS SERIGATTO VICENTIN POSSATO

Discussão da utilização do Controle Estatístico de Processo: Análise bibliométrica e estudo de caso em uma empresa do setor alimentício.

Bauru
2014

DAMARIS SERIGATTO VICENTIN POSSATO

Discussão da utilização do Controle Estatístico de Processo: Análise bibliométrica e estudo de caso em uma empresa do setor alimentício.

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Área de concentração: Gestão de Operações e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Salgado

Bauru
2014

Possato, Damaris Serigatto Vicentin.

Discussão da utilização do Controle Estatístico de Processo: Análise Bibliométrica e estudo de caso em uma empresa do setor alimentício / Damaris Serigatto Vicentin Possato, 2014

136 f.

Orientador: Manoel Henrique Salgado

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014


1. Controle Estatístico do Processo. 2. Cartas de Controle. 3. Bibliometria. 4. Artigos Científicos. 5. Indústria Alimentícia. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DAMARIS SERIGATTO VICENTIN POSSATO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 27 dias do mês de junho do ano de 2014, às 09:30 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MANOEL HENRIQUE SALGADO do(a) Departamento de Engenharia de Produção/Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. GLADYS DOROTEA CACSIRE BARRIGA do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. PEDRO CARLOS OPRIME do(a) Departamento de Engenharia de Produção/UFSCar, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DAMARIS SERIGATTO VICENTIN POSSATO, intitulada "DISCUSSÃO DA UTILIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. MANOEL HENRIQUE SALGADO


Profa. Dra. GLADYS DOROTEA CACSIRE BARRIGA


Prof. Dr. PEDRO CARLOS OPRIME

*Dedico este trabalho a minha filha ISABELE
SERIGATTO VICENTIN POSSATO.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. e orientador Dr. Manoel Henrique Salgado, pelo cuidado, paciência, orientação e competência.

A Profa. Dra. Gladys Doretea Cascire Barriga e Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime pela participação e colaboração com minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Pós Graduação e do Departamento de Engenharia de Produção pelo auxílio.

Aos amigos de curso pelas contribuições, bons momentos e conhecimentos compartilhados durante o estudo.

A minha família, em especial minha filha Isabele, minha avó Therezinha, meu irmão Daniel e minha mãe Rosimeire pela paciência, torcida, carinho e injeções de ânimo.

Ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

RESUMO

No moderno mundo dos negócios a qualidade dos produtos e serviços tem sido um fator fundamental na sobrevivência das empresas, visto que os clientes estão se tornando cada vez mais exigentes nas características de qualidade dos bens que lhes são de interesse. Em função desses aspectos as empresas têm intensificado a utilização de ferramentas que proporcionem componentes ou procedimentos com padrão de qualidade que tornem seus produtos e/ou serviços competitivos. Desta forma, este trabalho teve como objetivo discutir a utilização do conjunto de procedimentos relativos ao CEP (Controle Estatístico de Processo) em 110 artigos científicos que mostram situações reais em algumas empresas brasileiras (100) e internacionais (10). Para tanto se utilizou a técnica da bibliometria acessando bases científicas de dados. Discutiram-se também, por meio de um estudo de caso, dificuldades encontradas para implantação do CEP em uma indústria do setor alimentício onde a variável Peso (g) foi monitorada. A pesquisa indicou os seguintes resultados: Quanto à análise dos artigos, revelaram-se os autores mais citados, as palavras-chave mais frequentes e outras características sobre CEP. Destaque, principalmente nos artigos nacionais, a desconexão entre Método e Resultados, no sentido de que muitas vezes o autor não relata no método o que apresenta nos Resultados. No estudo de caso observou-se um processo com grande variabilidade nos pesos, indicando perdas em função do valor médio do processo estar muito acima do valor especificado. Perceberam-se no final da linha de produção, diferenças nos pesos em relação às posições de saída dos itens produzidos, indicando algum problema em um equipamento da linha, no caso um cilindro. A implementação do CEP na empresa, dentro dos conceitos emitidos pela literatura, depende inicialmente de correções neste equipamento. A literatura indica que interferências em função de alarmes falsos podem levar a um descontrole maior, causando maiores danos ao processo. Nesse sentido a implementação do CEP necessita ser antecipada pela introdução de programas de qualidade que conjuguem esforços da administração, engenharia, gerência e demais colaboradores comprometidos com a melhoria contínua.

Palavras-chave: Controle Estatístico do Processo; Cartas de Controle; Bibliometria; Artigos Científicos; Indústria Alimentícia.

ABSTRACT

In the modern world of businesses the quality of the products and services have been a key factor in the survival of the businesses, as the clients are becoming increasingly demanding in the characteristics of quality of the goods that are interesting for them. Given this aspects businesses have been intensifying the usage of tools that provide components or procedures with standard quality that makes their products and/or services competitive. In such way, this work had as goal to discuss the utilization of the set of procedures relative to the SPC (Statistical process control) in 110 scientific articles that show real situations of some Brazilian companies (100) and internationals (10). Therefore a bibliometric technique was used accessing the scientific databases. Also, it had been discussed, via a study of the case, difficulties found for the implantation of the SPC in an industry of the food sector where the variable Weight (g) was monitored. The research indicated the following results: Regarding the analyses of the articles, it has been revealed that more quoted author, the more frequent keywords and other characteristics about the SPC. Emphasis, mainly in the national articles, the disconnection between the Method and Results, in order that many times the author do not report in the method what is presented in the Results. In the study of the case it had been observed that a process with big variable on the weights, indicating loses in function of the medium price of the process being higher than the specified price. It was noticed that at the end of the production line a significant difference in relation to the leaving positions of the produced items, indicating some problem in the equipment of the line, in the case, a cylinder. The implementation of the SPC in the industry, within the concepts presented in the literature, initially depends on corrections this equipment. The literature indicates that interference due to false alarms may lead to a greater lack of control, causing major damage to the process. Accordingly the implementation of the SPC needs to be anticipated by the introduction of quality programs that combine efforts of management, engineering, management and other employees committed to continuous improvement.

Keywords: Statistical Process Control, Control charts, Bibliometry, Scientific Articles, Food Industry.

LISTA DE ABREVIATURAS

CEP	Controle Estatístico de Processo
CEQ	Controle Estatístico da Qualidade
C_p	Índice de capacidade com média centralizada
C_{pk}	Índice de capacidade com média deslocada do alvo
C_{pm}	Índice de capacidade considerando perda quadrática de Taguchi
ISO	International Standard Organization
LC	Limite Central
LIC	Limite Inferior de Controle
LIC	Limite Inferior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LIN	Limite Inferior Natural
LM	Limite Médio ou Linha Média
LSC	Limite Superior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
LSN	Limite Superior Natural
P_p	Índice de Performance do Processo
P_{pk}	Índice de Performance com média deslocada do alvo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação.....	20
Figura 2 – Gráfico de Controle.....	42
Figura 3 – Limites de especificação para análise da capacidade do processo.....	55
Figura 4 – Gráfico de Pré-contrôle.....	61
Figura 5 – Esquema do processo produtivo da linha de massa de pastel.....	83
Figura 6 – Distribuição dos discos no final da esteira e esquema para amostragem.....	83
Figura 7 – Gráfico de dispersão do peso (g).....	85
Figura 8 – Análise representativa da variabilidade do processo.....	86
Figura 9 – Conjunto de carta de controle (X - R).....	87
Figura 10 – Conjunto de cartas de controle (X - S).....	88
Figura 11 – Gráfico de controle da mediana (X).....	89
Figura 12 – Gráfico de controle da amplitude em relação à mediana (R).....	89
Figura 13 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM).....	90
Figura 14 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM).....	91
Figura 15 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM).....	92
Figura 16 – Gráfico de controle das somas acumuladas ($CUSUM$).....	93
Figura 17 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente ($EWMA$).....	94
Figura 18 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente ($EWMA$).....	95
Figura 19 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente ($EWMA$).....	96
Figura 20 – Esquema de coleta de amostras.....	97
Figura 21 – Cartas para pesos da posição 1.....	97
Figura 22 – Carta para pesos da posição 2.....	98
Figura 23 – Carta para pesos da posição 3.....	98
Figura 24 – Carta para pesos da posição 4.....	99
Figura 25 – Carta para pesos da posição 5.....	100
Figura 26 – Boxplot das médias dos pesos por posição de saída dos produtos.....	101
Figura 27 – Resultados da Análise de Variância para a comparação de pesos nas posições.....	101
Figura 28 – Histograma do Processo para Pesos (g) com amostra com 625 valores.....	103
Figura 29 – Análise representativa da variabilidade do processo (cópia da Figura 8, p.82)..	103
Figura 30 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 1.....	104
Figura 31 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 2.....	105
Figura 32 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 3.....	105
Figura 33 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 4.....	106
Figura 34 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 5.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipo de gráficos de controle para variáveis e fórmulas para cálculo dos limites de controle	48
Tabela 2 – Expressões matemáticas resumidas para cálculo de limites dos gráficos de controle de atributos.....	52
Tabela 3– Setores das empresas do estudo de caso nacionais	72
Tabela 4– Setores das empresas do estudo de caso internacionais.....	72
Tabela 5 – Tempo de coleta dos dados nos trabalhos científicos nacionais.....	73
Tabela 6 – Tempo de coleta dos dados nos trabalhos científicos internacionais	74
Tabela 7 – Tipos de software utilizados nos trabalhos científicos sobre CEP	74
Tabela 8 – Características de qualidade em Análise nos trabalhos científicos	75
Tabela 9 – Características de qualidade em Análise nos trabalhos científicos internacionais .	75
Tabela 10 – Periodicidade da coleta das amostras nos trabalhos científicos nacionais	76
Tabela 11 – Conjuntos de cartas de controle encontradas nos artigos científicos nacionais....	79
Tabela 12 – Conjuntos de cartas de controle encontradas nos artigos científicos internacionais	80
Tabela 13 – Ausência de informações nos textos nacionais estudados.....	81
Tabela 14 – Ausência de informações nos textos internacionais estudados	81
Tabela 15 – Medidas-resumo da variável peso (g) (n=40).....	84
Tabela 16 – Valores das médias e desvios padrão para amostras com 125 produtos em função das posições de saída dos produtos.....	100

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.2 OBJETIVO	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONTROLE DE QUALIDADE	21
2.1.1 Histórico.....	21
2.1.2 Conceitos de qualidade	22
2.1.3 Definição de Processo.....	24
2.2 TÉCNICAS USUAIS NO CONTROLE DE PROCESSOS	25
2.2.1 PDCA – MASP.....	25
2.2.2 DMAIC	26
2.2.3 FMEA	27
2.2.4 5W2H.....	28
2.3 TÉCNICAS PARA DESCRIÇÃO, COMUNICAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	29
2.3.1 Ferramentas da Qualidade	29
2.3.2 Distribuição Normal de probabilidades	30
2.3.3 Inferência estatística – Intervalos de Confiança	32
2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO	33
2.4.1 Introdução	34
2.4.2 Característica da Qualidade e Valor Alvo	35
2.4.3 Variabilidade do processo – Causas comuns e especiais.....	36
2.4.5 Amostragem e Amostras.....	38
2.4.6 Cartas ou Gráficos de Controle.....	40
2.4.7 Componentes de um gráfico de Controle	41
2.4.8 Gráficos para Variáveis	43
2.4.9 Gráficos de Controle para Atributos.....	48
2.4.10 Interpretação dos Gráficos	52
2.4.11 Monitoramento do processo estável	54

2.5 CAPACIDADE DO PROCESSO	54
2.5.1 Limites de Especificação, Naturais e de Controle	55
2.5.2 Índices de Capacidade	56
2.5.3 Índices de Performance.....	58
2.6 ANÁLISE DO PROCESSO – OUTROS TÓPICOS	59
2.6.1 Alarme Falso.....	59
2.6.2 Pré Controle	60
2.6.3 Efeitos da violação da condição de normalidade dos dados	61
2.7 OUTROS TIPOS DE GRÁFICOS PARA CONTROLE	62
2.7.1 Gráfico de Controle das Somas Acumuladas – CUSUM	63
2.7.2 Gráfico da Média Móvel Ponderada Exponencialmente – EWMA	64
2.7.3 Controle Estatístico Multivariado de Processos	65
2.8 ROTEIRO PARA A CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE.....	65
2.9 BIBLIOMETRIA	67
3 MÉTODO DE PESQUISA	68
4 RESULTADOS	71
4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS	71
4.1.1 Características observadas sobre as empresas nos artigos pesquisados	71
4.1.2 Em relação ao descrito nos “métodos” dos artigos pesquisados	73
4.1.3 Referencial teórico dos artigos científicos – Análise bibliométrica	76
4.1.4 Descrição dos tópicos abordados nos “Resultados”	78
4.1.5 Discussão sobre os artigos	80
4.2 ESTUDO DE CASO NA EMPRESA.....	81
4.2.1 Empresa e o Processo	81
4.2.2 Análise inicial da variabilidade.....	84
4.2.3 Construção das cartas de controle.....	86
4.2.4 Análise dos pesos em função das posições dos discos	96
4.3 COMPARAÇÃO DOS PESOS EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES.....	100
4.3.1 Análise da variabilidade do processo.....	102
4.3.2 Análise por posição do processo.....	104
4.3.3 Análise de perdas e probabilidades de itens abaixo do limite inferior de especificação	107
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
5.1 PESQUISAS FUTURAS.....	109

REFERÊNCIAS	110
ANEXOS	117
ANEXO 1 – TABELAS PARA CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE	117
ANEXO 2 – TABELA PARA CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO DE CARTAS DE CONTROLE PARA MEDIANA E AMPLITUDE (X-R).....	119
ANEXO 3 – TRABALHOS CIENTÍFICOS NACIONAIS PESQUISADOS SOBRE O TEMA CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	120
ANEXO 4 – DADOS DE PESOS (GRAMAS) EXTRAÍDOS DA EMPRESA NO PERÍODO DE MAIO DE 2013, COLETADOS EM INTERVALOS DE 30 MINUTOS COM 8 AMOSTRAS DE 5 ELEMENTOS	129
ANEXO 5 – DADOS DO PESO DE 19 AMOSTRAS COM 4 ELEMENTOS DA EMPRESA DE AGOSTO DE 2013	130
ANEXO 6 – DADOS DO ESTUDO DE CASO PROVENIENTES DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA UTILIZADA NA ANÁLISE DE RESULTADOS COM 25 AMOSTRAS E 25 ELEMENTOS.....	131
ANEXO 7 – TRABALHOS CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS PESQUISADOS SOBRE O TEMA CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO	136

1 INTRODUÇÃO

No moderno mundo dos negócios, a qualidade dos produtos e serviços tem sido um fator fundamental na sobrevivência das empresas, visto que os clientes estão se tornando cada vez mais exigentes com a qualidade dos bens que lhes são de interesse. A preocupação com a qualidade nas organizações resulta na implantação de programas que possibilitem manter seus produtos em um padrão que atenda não somente as necessidades dos clientes, mas que possam ser produzidos com base em custos que permitam as empresas conviver de forma saudável com suas concorrentes. Em função da necessidade do controle da qualidade de seus produtos e serviços, as empresas têm intensificado a utilização de procedimentos que possibilitem o monitoramento das variáveis envolvidas (TOLEDO *et al.*, 2013)

Os programas de qualidade são importantes para as organizações, sendo que, constantemente, novas técnicas e/ou ferramentas são incorporados com o intuito evidente de se melhorar os processos e, conseqüentemente, os produtos e serviços. Muitos programas foram desenvolvidos e são aplicados de forma isolada ou em conjunto com outros. Dentre eles destaca-se o Controle Estatístico de Processo (CEP) o qual tem a função de monitorar, controlar e melhorar os processos produtivos. Ele pode ser capaz de detectar problemas, possuindo um caráter preventivo para eliminar perdas, diminuir custos, aumentar a lucratividade e assim trazer maior rentabilidade para as organizações (SOUZA, 2003).

O Controle do Processo envolve um conjunto de procedimentos que objetiva diminuir a variabilidade de características dos itens produzidos. Isto implica lidar com dados qualitativos e/ou quantitativos associados aos produtos e que são acompanhados no tempo. A análise desses dados potencializa informações sobre o fenômeno em estudo possibilitando tomadas de decisões. A questão prática da decisão deve aliar a experiência dos profissionais do setor com o conhecimento de técnicas estatísticas. Periodicamente alguém tem que definir se o processo está ou não sob controle e em algum momento essa decisão pode estar incorreta. Tal como ocorre em um teste estatístico de hipóteses o responsável pode errar quando afirma que o processo está fora de controle (e na realidade não está) resultando em intervenção desnecessária em vista do alarme falso. Este erro, denominado tipo I, está associado ao risco *alfa*, o qual denota a probabilidade de ocorrência deste tipo de erro. Quando o gestor responsável entende que o processo está sob controle, mas na realidade não está, ele estará incorrendo no erro tipo II, cuja probabilidade de ocorrência é denotada por *beta*. De qualquer forma, ambos os erros podem agregar custos ao processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Daí evidencia-se a complexidade das decisões e conseqüentemente a

necessidade de se utilizar técnicas estatísticas aliadas à experiência e ao bom senso dos gestores aumentando as chances de se intervir no processo sem gerar ainda mais descontroles (FIRKA, 2011). Montgomery e Runger (2003) comentam sobre essa questão, alertando que um resultado estatisticamente significativo pode ter pouca ou nenhuma significância prática.

O CEP monitora um processo em função de características definidas em um projeto, as quais têm suas respectivas especificações e tolerâncias. Na etapa inicial do CEP, conhecida como Fase I, limites de controle são construídos para essas características que ficam à mercê de influências causais, uma variabilidade natural do processo. Se falhas ocorrem nesse início, indicando um processo com problemas, os responsáveis devem se articular com auxílio de ferramentas da qualidade, incluindo o controle de medidas, até conseguirem eliminar as causas. Esta fase somente deve ser encerrada quando o processo estiver estável e ajustado (BESSEGATO, 2013). Ainda segundo o autor, na sequência inicia-se a Fase II e o processo fica na condição de ser monitorado periodicamente por meio de um gráfico de controle até que ocorra alguma situação indicando alguma alteração permanente. Percebem-se em diversos artigos científicos, que relatam a aplicação do CEP, a realização apenas da primeira fase, e muitas vezes, nem ela de forma completa; ou porque intervenções no processo são custosas e/ou demoradas, ou porque o CEP é utilizado de forma inadequada (EPPRECHT; MACHADO NETO, 1996).

Mesmo o processo estando sob controle os itens produzidos podem não atender, devidamente, as especificações definidas no projeto. Isto é verificado por meio de uma análise da Capacidade do Processo. Em resumo, após a finalização do projeto do produto, os seus componentes são enviados à linha de produção sendo esse setor responsável em reproduzir as características definidas pelo projeto. A qualidade, nesse momento, está associada à pergunta: O que foi planejado foi executado fielmente na linha de produção? Uma forma de acompanhar esse processo é utilizando o Controle Estatístico do Processo (CEP).

Muitas vezes o CEP é visto simplesmente como “gráfico de controle”. Porém ele envolve a utilização de outras técnicas estatísticas tal qual Delineamento de Experimentos (DOE) e ferramentas da qualidade. De qualquer modo, o início do CEP está associado à carta de controle que foi desenvolvida em 1924 por Walter Andrew Shewhart. Essas cartas foram extremamente importantes para a engenharia, com a estatística facilitando a relação entre técnicos e operários, em um ambiente de produção, apesar de algumas vezes não serem utilizadas de forma correta (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Observam-se em títulos de artigos científicos o termo CEP associado a diversas formas de estudos práticos, cujos conteúdos podem não refletir o que se espera quando comparado com o que a literatura,

em sua maioria, consagra. Nesse sentido pode se perceber grande distância entre a realidade e a literatura. Woodall (2000) afirma que “Há um papel para a teoria na aplicação de gráficos de controle, mas a teoria não é o principal ingrediente para aplicações mais bem sucedidas”.

Na área de Engenharia de Produção percebe-se intensidade de trabalhos científicos utilizando o conjunto de ferramentas que compõe essa técnica, para monitorar a qualidade de produtos e/ou serviços. Daí o interesse de se buscar informações sobre como o estudo do CEP vem ocorrendo em algumas empresas no Brasil, relatando e discutindo com o intuito de se produzir material que possa ser utilizado, no mínimo, como sugestão ou referência para a implantação do controle estatístico de processos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Tem-se constatado, na literatura sobre programas de gerenciamento de processos, relatos controversos a respeito dos melhores caminhos para o controle estatístico da variabilidade em processos produtivos (WOODALL, 2000; BERK; BERK, 1997; BHOTE, 1992).

Nesse sentido, a questão de pesquisa do trabalho é responder a pergunta: Como empresas estão monitorando suas variáveis a partir do Controle Estatístico de Processo, ou como essa ferramenta está sendo relatada em trabalhos científicos?

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

A aplicação de métodos estatísticos com os procedimentos de gestão possibilita o monitoramento dos processos produtivos e o controle da qualidade dos produtos, visando à satisfação do cliente. O objetivo deste trabalho é discutir a utilização do conjunto de procedimentos relativos ao CEP em trabalhos científicos que mostram situações reais em algumas empresas brasileiras e internacionais, e, também discutir, por meio de um estudo de caso, dificuldades encontradas para implantação do CEP em uma indústria do setor alimentício. Esperam-se evidenciar possíveis diferenças entre as condições teóricas estabelecidas para o CEP e aquelas que de fato são utilizadas nas aplicações mostradas nesses artigos científicos e no caso considerado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Quantificar e descrever quais setores da indústria/serviços são os mais envolvidos com o CEP nos artigos pesquisados;
- Quantificar e descrever quais tipos de cartas de controle são as mais utilizadas;
- Quantificar e descrever o conjunto de ferramentas estatísticas e/ou da qualidade que são utilizadas no CEP e as condições teóricas exigidas.
- Quantificar as palavras-chave e os autores mais citados nas referências dos artigos.
- Descrever as principais dificuldades para a implantação do CEP em uma empresa do setor alimentício.
- Mostrar em termos didáticos construções e interpretações de cartas de controle.
- Identificar perdas em um processo produtivo relacionadas ao possível descontrole da variabilidade.

1.3 JUSTIFICATIVA

Percebe-se, atualmente, que muitos setores produtivos, na busca da melhoria dos seus produtos, utilizam-se dos mais variados recursos para o controle da qualidade dos mesmos. Como o CEP é um instrumento que envolve o uso do método estatístico, necessitando dos aplicadores o conhecimento desses conceitos, muitas vezes, ele não é aplicado da melhor forma. Conseqüentemente com o estudo desses artigos é possível observar distanciamentos entre o relatado na literatura e o que ocorre na prática.

Apesar de, em geral, os livros editados para a graduação abordarem o CEP, basicamente, como a construção de gráficos de controle, ele envolve a utilização conjunta de uma série de procedimentos da qualidade. Montgomery *et al.* (2004) consideram o CEP como um conjunto de ferramentas, destacando a utilização do histograma, diagrama de causa e efeito, diagrama de dispersão, além dos gráficos de controle e o diário de bordo o qual, de acordo com Kume (1993), registra todas as implicações e detalhes sobre o processo, funcionando como a sua memória. Werkema (2006) em seu texto, explica com pormenores a maioria desses procedimentos, além do funcionamento do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) até a introdução dos gráficos de controle e capacidade de processos. Outros autores ainda relatam sobre técnicas estatísticas até chegar às cartas de controle e capacidade do processo, e não utilizam o termo CEP, preferindo terminologia do tipo “ferramentas estatísticas para gerenciamento de processos, ou da qualidade” (BROCKA e BROCKA, 1994; SILVA LEME, 1967; NAVIDI, 2012). Portanto, é importante conhecer como os trabalhos práticos utilizam os conceitos do CEP mostrando principalmente divergências em relação à literatura, e quais as terminologias usuais. Interessante mostrar como processos são

controlados em vista de normas, tais como o *Automotive Industry Action Group* (AIAG), que é uma associação de empresas que tem o objetivo de indicar procedimentos para melhores práticas nos processos, esperando diminuir custos provenientes de erros e desperdícios no setor automotivo (ISO QS-9000, 1998).

Autores comentam ainda sobre as dificuldades enfrentadas para a implantação e a operacionalização de programas para controle da qualidade. Juran (1997) relata, que em determinadas situações, os planejamentos enfrentam obstáculos em função de programações irreais, orçamentos apertados e base de dados inadequada; afirma ainda que a maior parte do planejamento da qualidade é feita por pessoas despreparadas. Para Paladini (1995), o CEP pode não atingir seus objetivos porque sua utilização, muitas vezes, envolve um histórico do processo reagindo apenas a situações já ocorridas. Assim sendo, é interessante saber sobre as condições em que o Controle Estatístico de Processo é aplicado.

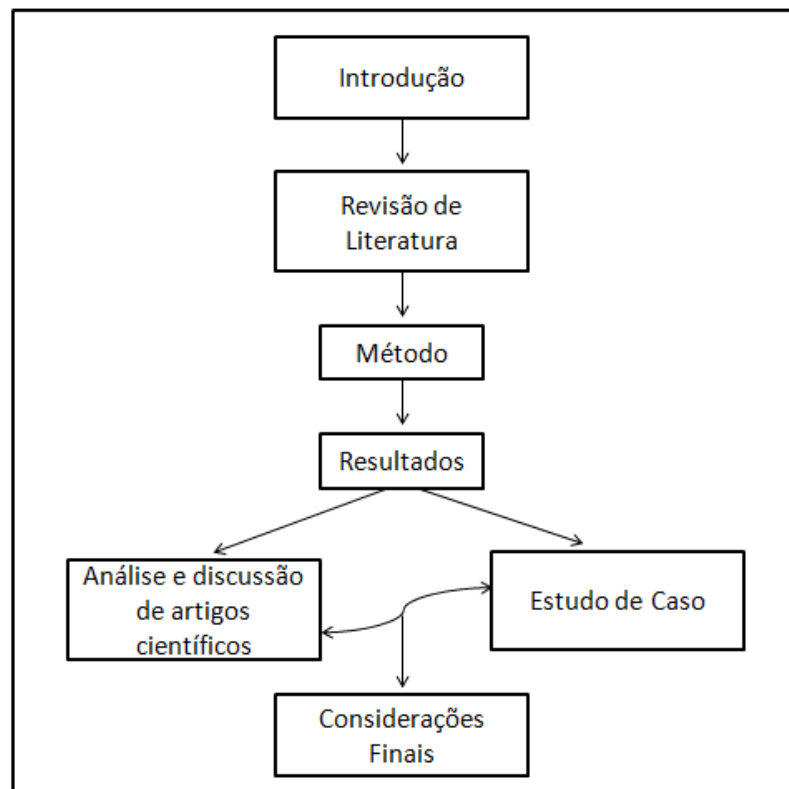
Também é importante um texto para informar aos potenciais responsáveis pelos setores de controle da qualidade nas organizações – alunos dos cursos de Engenharia de Produção – a respeito do que ocorre em termos de CEP, em algumas empresas no Brasil, a partir da análise de casos publicados no formato de artigos científicos, pois a busca pela qualidade, segundo Juran (1997), envolve os processos gerenciais de planejamento, controle e melhoramento da qualidade. Para o gerenciamento do controle o autor destaca a comparação do desempenho real com as metas e, definindo ações em função de possíveis diferenças. Relata ainda que os gestores do processo devem identificar os poucos objetos de controle que são vitais e que devem receber a prioridade adequada. Nesse propósito descreve sobre o conceito de dominância, isto é, a procura da variável mais influente no processo. Destaca as variáveis dominantes usuais, tais como a preparação das operações; tempo, pois o processo muda com o tempo; componentes, envolvendo a qualidade dos insumos; dominância do trabalhador, pois o sucesso depende também das habilidades e aptidões dos operários. Surge então a motivação de observar se os casos discutidos nos artigos refletem esses conceitos ditados por Juran.

Nesse contexto, um caminho para entender como algumas empresas no Brasil utilizam o CEP pode ser pesquisando e discutindo trabalhos científicos publicados, que relatam casos de aplicação dessa técnica de controle de variabilidade e ainda, as conclusões sobre o estudo de caso considerado podem fornecer subsídios para projetos futuros em empresas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está apresentada na Figura 1. A introdução contém informações sobre o tema da pesquisa, problema da pesquisa, objetivo geral, objetivos específicos e justificativas. Na revisão de literatura foram descritos os principais conceitos sobre controle da qualidade. O método de pesquisa foi utilizado para dar suporte aos resultados que se divide em análise e discussão de artigos científicos, bem como em estudo de caso. Na análise e discussão dos artigos científicos foram quantificadas as características desses projetos e foram verificados aspectos dos textos relacionados à literatura. No estudo de caso mostrou-se a tentativa de aplicação de um programa de CEP, reportando sobre possíveis perdas relativas à variabilidade do processo. As considerações finais apresentam os principais resultados do trabalho.

Figura 1 – Estrutura da dissertação



Fonte: Autora

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTROLE DE QUALIDADE

2.1.1 Histórico

É possível acreditar que, em qualquer época da humanidade, existisse a preocupação com a qualidade dos produtos. Siqueira (1997) relata que antes da revolução industrial, a qualidade era controlada, principalmente, pela imensa experiência dos artesões da época, que garantiam a conformidade dos produtos da época. Segundo Garvin (2002) no século XVIII e XIX eles produziam os produtos em pequenas quantidades sendo que os ajustes eram feitos manualmente e a inspeção era realizada informalmente no produto final para assegurar a alta qualidade.

Esse cuidado com a qualidade nasce por causa do interesse econômico, quando começam a produzir em massa e em linha com intuito de obter maior lucro, conseqüentemente, há necessidade de modificações, na base técnica da produção (CABRAL NETO; SILVA, 2001).

A partir do sistema industrial, cujo processo de produção foi ramificado em diversas operações mais simples, o principal objetivo era garantir peças intercambiáveis e produtos uniformes. Dentro desse contexto surgiu a necessidade de inspeção, da aplicação do Gerenciamento da Qualidade.

Quando surgiu a produção em massa, a inspeção passou a ser uma necessidade. Porém com o aumento da produção os processos que envolvem mão de obra tornaram-se caros e demorados. Estes fatos originaram o que é conhecido como sistema norte americano de produção que considera uma linha mais flexível facilitando as operações. O marco para o surgimento do controle da qualidade, no início do século XIX, foi a criação de um sistema de medidas com gabaritos e acessórios os quais tinham a função de manter as peças presas às máquinas possibilitando que as operações fossem realizadas com exatidão e precisão. Já no início do século XX, as medições tornam-se mais refinadas com o amadurecimento do sistema norte-americano de produção e com as práticas de Frederick W. Taylor, o pai da administração científica, que separou a atividade em tarefas a serem distribuídas a chefes funcionais (GARVIN, 2002).

O controle moderno iniciou-se na década de 30, nos Estados Unidos com a aplicação do gráfico de controle desenvolvido pelo Dr. Walter A. Shewhart que trabalhava em uma empresa de telefonia. Por meio de um memorando com data de 16 de maio de 1924, Shewhart sugeriu o uso do gráfico de controle para analisar os dados provenientes de uma inspeção,

baseado na detecção e correção de itens defeituosos. Ele percebeu que medir, analisar e monitorar a variabilidade em função de técnicas estatísticas levariam os produtos a níveis melhores de qualidade (CARVALHO *et al.*, 2005). Na Inglaterra foi adotado por E. S. Pearson, em 1935, que utilizou os conceitos do controle estatístico para desenvolver os Padrões Normativos Britânicos (“*British Standard BS 600*”) e outras normas relativas ao controle de qualidade utilizado durante o período de guerra. Os japoneses, antes da Segunda Guerra Mundial, já estudavam o controle da qualidade e conheciam os estudos britânicos. No entanto, só após sua derrota na guerra, em 1946, perceberam que um dos motivos para seu fracasso era o sistema de telefonia com baixa confiabilidade e muitas falhas. Assim, começaram a implantar o controle de qualidade e ainda criaram nesse mesmo ano a JUSE (*Union of Japanese Scientists and Engineers*), uma organização de pesquisadores que, em 1949, formaram um grupo de estudos sobre o controle da qualidade e disseminaram seus conhecimentos para as indústrias japonesas (WERKEMA, 2006).

2.1.2 Conceitos de qualidade

O conceito de qualidade é bastante amplo e ambíguo, pois a qualidade dos produtos pode possuir diferentes significados, dependendo de pessoas e situações (consumidores, produtor e entidade governamental). Assim, os principais pesquisadores deste tema se dividem em três vertentes. A primeira, proposta por Juran, em 1991, que sintoniza o produto às necessidades do consumidor; a segunda sugerida por Crosby, em 1994, que relaciona a qualidade com o definido previamente nas especificações; e a terceira associada com Taguchi, em 1986, que associa a falta de qualidade e os prejuízos decorrentes dessa perda de qualidade (TOLEDO *et al.*, 2013).

Primeiramente o conceito de qualidade era relacionado com o padrão estabelecido previamente pela indústria sendo que produto era considerado de qualidade quando atendia as especificações. Posteriormente esse conceito evoluiu para a utilidade esperada, o produto poderia ser considerado de qualidade se correspondesse ao uso esperado do mesmo. Após, foi definido por uma forma de redução dos custos sem perder a qualidade esperada pelo cliente, isto é, o produto é considerado de qualidade quando atende os requisitos dos usuários e possui o preço esperado por conta de reduzir os custos do fabricante (sem retrabalhos, perdas...) (SHIBA; GRAHAM; WALDEN, 1993).

Garvin (2002) associa o conceito de qualidade a cinco abordagens. São elas: Transcendente (excelência inata); baseada no produto (variável precisa e mensurável, proveniente dos atributos do produto); baseada no usuário (variável subjetiva, foco no desejo

do consumidor); baseada na produção (conformidade com as especificações) e baseada no valor (excelência e valor a um preço aceitável).

Juran (1997), dentre os termos que caracterizam “qualidade”, cita como importantes: “as características do produto” que para os clientes, quanto melhores implica em maior nível de qualidade e, “ausência de deficiências”, que para os clientes quanto menos deficiências melhor a qualidade.

Outro conceito que surge a partir do estudo sobre a qualidade é a TQM (*Total Quality Management*) que tem o objetivo de diminuir os desperdícios e os custos, melhorando a eficiência da produção e resultando na possibilidade de trabalhar com preços mais atraentes, conseqüentemente a empresa tem maiores chances de se manter e competir no mercado. Evidente que reduzir custos não significa diminuir a qualidade, pois o reconhecimento de que para atender os requisitos exigidos pelos clientes e pelo mercado é um processo cíclico de aprendizagem e não imediato foi importante para a evolução deste conceito que visa à melhoria contínua da empresa (CARPINETTI, 2012). De acordo com Oprime, Monsanto e Donadone (2010), “a ideologia do TQM (*Total Quality Management*) pode ser resumida como a melhoria contínua de produtos e processos para melhor satisfazer as necessidades dos clientes”.

Decorrente desses estudos surge o Controle da Qualidade que Segundo a ISO 8402, mencionada por Lopes (2007), é definido como sendo o conjunto de técnicas e atividades operacionais usadas para atender aos requisitos para a qualidade. Ou ainda, Controle da Qualidade é um conjunto de ações ou medidas desenvolvidas com o objetivo de assegurar que os serviços, ou produtos gerados, atendam aos requisitos, segundo os quais foram especificados.

Outra abordagem para garantir que a empresa atenda esses requisitos é o de visão sistêmica da inter-relação das atividades do ciclo produtivo que pode ser ofertado por meio do modelo de sistema da qualidade ISO 9001, conceito esse que gerencia estrategicamente e sistemicamente a qualidade, visando minimizar insatisfação dos clientes, diminuir desperdícios e melhorar a gestão da qualidade. Esses fundamentos foram inspirados, principalmente, nos estudos de Juran (1997), Deming (1990), Ishikawa (1993) e Crosby (1986), para consolidar a categoria de garantia de qualidade. A ISO 9001 estabelece um conjunto de tarefas que interagem no sistema de gestão de qualidade, objetivando gerenciar o atendimento dos requisitos dos clientes, quanto ao produto e à entrega dos pedidos. Sendo assim, a ISO necessita ser certificado por meio de um sistema de qualidade e por meio de um processo de auditoria. O seu certificado é um documento emitido por um terceiro (auditoria

independente) informando que a empresa é capaz de atender os requisitos exigidos pelos clientes (CARPINETTI, 2012).

Segundo ISO (2012) esse modelo, se voltado para o cliente, como é abordado fundamentalmente na ótica de gestão de qualidade, pode trazer os seguintes benefícios:

- Aumento da receita e participação de mercado obtido por meio de respostas flexíveis e rápidas para o mercado de oportunidades;
- Aumento da eficácia na utilização de recursos da organização para melhorar a satisfação do cliente;
- Melhoria da lealdade do cliente, levando a voltar na empresa para fazer compras.

Outros requisitos, como os decorrentes da legislação, os requisitos das comunidades locais e o meio ambiente também exigem que as organizações se adaptem. Para ajudar as organizações atenderem todas essas exigências, utilizam-se ferramentas existentes, como ISO 9001, ISO 14001, ISO 27001 e outras normas. Integrando várias normas ISO em um sistema integrado, é possível atender a uma ampla gama de requisitos (BRITVIC; KOVACEVIC; CINGEL, 2013).

Para alcançar a melhoria da qualidade do produto, é preciso desenvolver um sistema que contenha, pelo menos, funções para: prever a qualidade do produto, que se consiga detectar defeitos ou avarias para impedir o funcionamento indesejável. Esses requisitos são comuns entre os diversos setores, embora os processos possam ser completamente diferentes na aparência (KANO; NAKAGAWA, 2008).

2.1.3 Definição de Processo

Um processo pode ser definido como um conjunto de causas que tem por objetivo produzir um ou mais efeitos específicos (CAMPOS, 1994).

Segundo Almas (2003), para garantir a permanência no mercado, é necessário conhecer o processo produtivo e melhorá-lo. Dentro desse contexto o processo pode ser definido como um conjunto de atividades motivadas por uma entrada, ou causa (*input*) que tem como objetivo produzir uma determinada saída ou efeito (*output*) conhecido como produto do processo. Em síntese, o objetivo do processo produtivo é assegurar a qualidade do que é produzido, de forma a garantir a sua competitividade no mercado. O controle do processo e a garantia da qualidade estão fortemente relacionados com a manutenção e o controle da variabilidade, de modo a assegurar a repetitividade e reprodutividade ao longo do tempo. Sendo assim é necessário que os gestores analisem o processo produtivo, estudando a melhor

forma de torná-lo mais eficaz, evitando desperdícios e monitorando a qualidade dos produtos. Nesta fase de análise podem ser feitos os seguintes questionamentos sobre o processo: o que mudar? como mudar ? e o que resultou das ações decorrentes? (TOLEDO *et. al.*, 2013). Essas perguntas são importantes para saber quais ações serão tomadas sobre o processo e se os seus efeitos serão positivos.

2.2 TÉCNICAS USUAIS NO CONTROLE DE PROCESSOS

Existem muitas técnicas que são utilizadas para o controle de processo sob ótica de qualidade, porém alguns são mais utilizados tais como o PDCA, DMAIC, MASP, FMEA, 5W2H que são apresentados a seguir.

2.2.1 PDCA – MASP

Segundo Carpinetti (2012) um conjunto de técnicas muito utilizado para auxiliar a tomada de decisão dos gestores na área de gestão de qualidade e melhoria. É o ciclo de Análise da situação, Planejamento de ações, Ação, Revisão do processo e Replanejamento das ações, conhecido como ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). Para Werkema (2006) o PDCA é um método gerencial de tomada de decisões com intuito de levar a empresa a atingir suas metas. As vantagens desse procedimento são:

- Identificar prioridades de melhoria;
- Identificar e analisar causas fundamentais;
- Planejar ações de melhoria e avaliar o processo;
- Controlar a conformidade da produção (atendimento de requisitos);
- Reduzir ou evitar custos da não qualidade.

O ciclo PDCA é baseado no “Ciclo de Shewhart” (PDSA, no qual S significa estudar) e tornou-se popular pelo Dr. W. Edwards Deming, considerado por muitos como o pai do moderno controle da qualidade. O MASP (Método de Análise e Soluções de Problemas) pode ser utilizado em conjunto com o PDCA, objetivando solucionar problemas a partir do conceito de melhoria contínua. Suas etapas são: identificação do problema, análise (referente à causa do problema), planejamento das ações, ação, verificação, padronização e conclusão (BARRETO, 2013). Durante suas palestras no Japão, no início dos anos 1950, Deming observou que os participantes japoneses teriam encurtado etapas do ciclo PDCA para o plano já tradicional, fazer, verificar e agir (MARUTA, 2012).

Conforme Jingfeng e Ming (2013), Werkema (2006), Stevenson (2001), o ciclo PDCA torna-se um processo de trabalho lógico, que permite ser eficaz nas atividades seguintes:

- **Planejar:** inclui a decisão de princípios e objetivos, bem como a formulação do processo de atividades, o plano;
- **Fazer:** é a implementação e a prática do plano, sendo necessário realizar de acordo com ele, controlando o processo e permitindo que as atividades sigam em frente, com a expectativa para, finalmente, chegar ao planejado.
- **Checar:** é uma avaliação para o efeito após a implementação. Consiste em verificar se os dados obtidos na execução permitem concluir que o resultado alcançado atingiu a meta planejada.
- **Agir:** Se a meta proposta foi atingida basta adotar o plano padrão, caso contrário, deve-se agir sobre as causas que levaram ao não alcance da meta. Em resumo, sem ação, não existe nenhuma melhoria.

Ainda segundo os autores o ciclo PDCA é como subir escadas, ao terminar um ciclo, a qualidade da produção irá melhorar um passo, em seguida, definindo-se o próximo ciclo, executar novamente e sempre melhorar, indo assim para frente e melhorando continuamente.

2.2.2 DMAIC

Segundo Werkema (2002), Tsai (2011), uma estratégia gerencial para a gestão da qualidade é a técnica do Seis Sigma, a qual também, se utiliza de uma sequência de operações conhecidas por DMAIC, na qual as iniciais significam: D (Definir), M (Medir), A (Analisar), I (Melhorar-*Improve*) e C (Controlar), o qual foi inspirado em Deming a partir do Ciclo PDCA, que tem sido amplamente aplicado em muitas indústrias. O Seis Sigma utiliza-se desse conjunto de ferramentas de gestão de qualidade para identificar e eliminar as causas de defeitos e erros, tanto na fabricação, quanto nos processos de negócios. O DMAIC é usado para projetos que visam melhorar um processo existente. O roteiro básico para a sua implantação segue cinco etapas (CARVALHO *et al.*, 2005):

- *Definir:* definir as metas de melhoria referentes às demandas dos clientes e a estratégia da empresa, este é o problema a ser investigado/resolvido deve estar bem definido.
- *Medir:* medir a capacidade do processo atual e coletar dados relevantes.

- *Analisar*: analisar os dados do processo para determinar as relações de causa e efeito de interesse e garantir que todos os fatores do sistema foram considerados. As causas fundamentais devem ficar evidentes.
- *Melhorar*: melhorar o processo com base na análise de dados utilizando-se de técnicas estatísticas, tais como o delineamento de experimentos (DOE), e a análise de capacidade do processo. Após a implementação dos ajustes deve-se avaliar se a meta foi alcançada e se efeitos indesejados ocorreram.
- *Controlar*: conduta principal para atingir a capacidade do processo desejado e fazer avanços para a produção em massa. Devem-se estabelecer mecanismos de controle de processo de longo prazo, por meio de monitoramento contínuo.

2.2.3 FMEA

O método de Análise de Modos e Efeitos de Falhas (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) é usado para auxiliar no desenvolvimento de produtos e processos, com o intuito de criar ações de melhoria, diminuindo ou eliminando falhas críticas que podem ser corretivas e ou preventivas, feitas a partir da anotação de todos os possíveis modos de falhas. As ações tomadas para minimizar essas falhas são realizadas sob os critérios de gravidade do efeito da falha para o cliente, análise da causa da falha e a detecção da falha (CARPINETTI, 2012), (SAPTARSHI MANDAL, 2014). As medidas usuais para definição de um indicador de risco (Número de Prioridade de Risco - NPR) para uma potencial falha referem-se a: probabilidade de sua ocorrência (P); a consequência ou severidade dessa falha (S) e a probabilidade de detecção dessa falha, antes do produto estar no mercado (D). Esses três elementos são pontuados na escala de inteiros de 1 a 10, na qual a nota 10 representa uma falha com máxima gravidade (severidade), com alta probabilidade de ocorrência e quase impossível de ser detectada (MOURA, 2000).

Conforme Carpinetti (2012), para a aplicação do FMEA são consideradas três etapas:

- Etapa 1: identificam-se as falhas, as causas e os meios para sua detecção por meio de notas para a severidade (S), ocorrência (P) e detecção (D) definindo então as falhas de solução prioritária, baseadas no indicador RPN ($RPN = S.P.D$).
- Etapa 2: obtida a ordem de prioridade de resolução de falhas, definem-se planos de ação para eliminar ou minimizar essas falhas;
- Etapa 3: após a aplicação das ações propostas, deve-se analisar novamente as falhas, ocorrências e detecção, para verificar se as ações propostas eliminaram ou

diminuíram as falhas, dando início a um novo ciclo de ações de melhoria em relação as novas prioridades.

Ao final a análise do FMEA consiste em apresentar um formulário baseado nas discussões, reflexões e aprendizagem do grupo encarregado em relação às falhas do produto ou processo e suas ações de melhoria (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Segundo Toledo *et al.* (2013), a aplicação do FMEA pode proporcionar para a empresa os seguintes benefícios:

- Possibilitar o catálogo sistemático sobre falhas dos produtos e processos;
- Aumentar o conhecimento sobre os problemas dos produtos e dos processos;
- Discutir e planejar ações de melhoria no projeto do produto, baseado nas informações monitoradas, contribuindo para a melhoria contínua;
- Reduzir os custos por meio da prevenção de falhas;
- Incorporar na organização atitudes quanto à prevenção de falhas, com cooperação multidepartamental e trabalho em equipe, focados na satisfação dos clientes.

2.2.4 5W2H

Essa técnica possibilita a melhoria no processo de forma contínua com indagações sobre uma causa fundamental. Werkema (2006), associa essa ferramenta à etapa do *Improve* (Melhorar) do ciclo DMAIC. De acordo com a autora, essa ferramenta envolve os seguintes questionamentos:

- O que será feito (*What*);
- Quando será feito (*When*);
- Quem fará (*Who*);
- Onde será implementado (*Where*);
- Por que será feito (*Why*);
- Como será feito (*How*);
- Quanto custará para ser feito (*How much*).

Brocka e Brocka (1994), relatam sobre 5W e 1H afirmando que ela pode ser definida como uma técnica e a classificam como uma ferramenta de criatividade, no mesmo grupo do *Brainstorming* e Círculos da Qualidade. É uma técnica simples e eficaz na aplicação de ações corretivas e preventivas. Uma tabela com os questionamentos 5W2H em conjunto com um

formulário de “não conformidades” e ações corretivas possibilitam de forma simples evidenciar ações que devem ser tomadas (GODOY, 2013).

O 5W2H segundo Morais e Costa (2013), é um método utilizado no mapeamento e padronização de processos, na elaboração de planos de ação e no estabelecimento de procedimentos associados a indicadores. Essa ferramenta é definida por objetivos, responsabilidades, prazos, procedimentos e recursos associados.

2.3 TÉCNICAS PARA DESCRIÇÃO, COMUNICAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Para o gerenciamento e o controle da qualidade uma série de procedimentos pode ser utilizada com o intuito de se conseguir projetos, produtos e serviços com qualidade e níveis de preços que possibilitem enfrentar a competitividade do mercado.

A maioria dos estudos que envolvem o controle da qualidade exige a utilização de técnicas estatísticas e/ou ferramentas da qualidade, resultando em operações com séries numéricas contínuas, relativas às medições, ou atributos que são operacionalizados por meio de contagens. Muitas dessas técnicas exigem condições, sobre os dados, para sua aplicabilidade, daí a utilização de testes estatísticos baseados em modelos de probabilidade discretos e contínuos. A estatística descritiva e as denominadas ferramentas da qualidade ocorrem com intensidade, tanto para sintetizar dados, como para comunicá-los, além de serem importantes nas análises.

2.3.1 Ferramentas da Qualidade

Conforme Ross (1991), cada produto possui uma característica que define seu desempenho, com relação às expectativas do consumidor. Logo, a qualidade de um produto é avaliada com base nas suas características. Ainda, segundo esse autor, a qualidade possui somente um avaliador: o consumidor. Fica claro que é essencial para uma empresa competitiva ter um sistema de gerenciamento da qualidade. Em termos de controle da qualidade, o método estatístico apresenta uma série de técnicas e/ou ferramentas que possibilitam o acompanhamento e a melhoria de processos. Destacam-se o Histograma, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e efeito, Estratificação, Diagrama de dispersão, Folha de verificação e Gráfico de Controle (MONTGOMERY *et al.*, 2004).

Essas ferramentas, segundo Carpinetti (2012), são utilizadas geralmente por meio de levantamento de ideias e opiniões de um grupo de trabalho conhecido como *Brainstorming*. E são descritas como:

- Histograma: é a representação gráfica dos valores assumidos por uma variável de interesse. Esses dados são distribuídos em classes de frequências e apresentados em barras verticais contíguas, possibilitando visualizar o comportamento dessa variável e seu domínio. O histograma também é importante para facilitar a visualização de uma característica da qualidade, evoluindo de maneira satisfatória ou situada no alvo, ao longo do tempo (CARVALHO *et al.*, 2005).
- Gráfico de Pareto: é também apresentado graficamente com barras verticais, ordenadas de acordo com a importância do problema que a barra representa, no sentido do maior problema para o menor. Sua construção baseia-se no princípio que estabelece que a maior parte dos problemas relacionados à qualidade é decorrente de poucos problemas considerados vitais.
- Diagrama de Causa e Efeito: representa as relações existentes entre um problema e todas as suas possíveis causas. É conhecido também como diagrama de espinha de peixe e tem a função de direcionar a causa, ou as causas mais importantes do problema, possibilitando as medidas corretivas.
- Estratificação: ocorre com a divisão de um grupo em diversos subgrupos conforme suas características distintivas, que podem causar variação no processo produtivo. Sendo assim, objetiva-se observar com maior facilidade como as variações interferem no resultado do processo.
- Diagrama de Dispersão: é um gráfico utilizado para visualizar o tipo de relacionamento entre duas variáveis. Relaciona causa e efeito e expõe se a relação das duas variáveis de interesse é positiva, negativa ou inexistente. Possibilita verificar possíveis pontos *outliers* (pontos atípicos que podem ser resultantes de registro incorretos de dados, ou não conformidade no instrumento usado para medi-los) a fim de estudar a possibilidade de mantê-los ou não.
- Folha de Verificação: é um formulário utilizado para o planejamento das coletas dos dados, levando em consideração possíveis análises futuras com valores. Tem a função de simplificar e organizar a coleta.
- Gráficos de Controle: são utilizados para garantir que o processo opere em suas melhores condições. Possibilitam o monitoramento da variabilidade do processo.

2.3.2 Distribuição Normal de probabilidades

Para a utilização de muitas técnicas estatísticas, como gráficos de controle de Shewhart, é necessário que os dados tenham uma distribuição normal. Segundo Levinson

(2011), é importante enfatizar que, em alguns casos, a transformação da distribuição não-normal para uma distribuição normal irá simplificar significativamente os gráficos de controle para os operadores, mas é importante salientar que tais transformações podem perder precisão, nas regiões de interesse para o índice de desempenho do processo. A distribuição normal é expressa pela função de densidade de probabilidade $f(x)$ dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-1}{2\sigma^2}(x - \mu)^2\right) \quad (1)$$

Onde, μ é a média do processo e σ^2 é a variância. A notação típica para tal distribuição é $N(\mu, \sigma^2)$. Mesmo para série de dados não normais, para amostras suficientemente grandes, a análise em função de médias, são justificáveis em função da existência do Teorema do Limite Central. Este garante que, para amostras maiores que 30, a distribuição amostral das médias, no mínimo, se aproxima da distribuição normal. A questão da aproximação envolve o questionamento do “suficientemente grande”. De acordo com Navidi (2012), sendo a amostra retirada de uma população com distribuição próxima de uma simétrica, então n pode até ser um valor relativamente pequeno, porém, se a distribuição for fortemente assimétrica, será necessário um tamanho de amostra relativamente grande. Segundo Johnson e Wichern (2002), o teorema do limite central considera que sendo $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ observações independentes de uma população com média μ e variância σ^2 , então \bar{X} , a média amostral, tem uma distribuição aproximadamente normal com média μ e variância σ^2/n . Para facilitar a utilização da distribuição normal em meios práticos é usual, conforme Dantas (2004), lidar com a variável padronizada Z a qual tem média 0 e variância 1, com notação $N(0,1)$. A transformação de qualquer variável X , normal, em um padrão Z é dada pela relação:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

Onde, Z indica o número de desvios padrão da variável X a contar da média, x é o valor arbitrário, μ é a média populacional e σ é o desvio padrão da variável X . Para visualizar melhor a distribuição dos dados utiliza-se a construção de um histograma que também tem a função de mostrar, graficamente, a normalidade dos dados (ALMAS, 2003). Segundo Normando *et al.* (2010), a figura que representa a distribuição normal apresenta-se, semelhantemente, a uma curva em forma de sino, quando os dados contínuos estão dispostos em uma curva de distribuição. É possível observar que os dados se concentram em torno da média e se dispersam, simetricamente, a partir desse ponto central. Porém, a observação visual não deve predominar sobre os testes estatísticos para detecção da não normalidade.

Conforme Scudino (2008) e Lucambio (2008), existem muitos testes para verificar a normalidade dos dados, porém os mais usuais são apresentados a seguir:

- Teste de Shapiro-Wilk: é aplicado para verificar a normalidade da característica de interesse em uma população. É indicado quando o tamanho da amostra, ou o número de parcelas é menor que 50.
- Teste de Anderson-Darling: é recomendado quando o tamanho da amostra for menor que 25 observações. Baseia-se na função de distribuição empírica que, dada uma função de distribuição com hipótese nula, os dados podem ser transformados à distribuição uniforme.
- Teste de Kolmogorov-Smirnov: identifica se existe concordância entre distribuição de um conjunto de valores e alguma distribuição teórica (como a distribuição normal), comparando a distribuição de frequência acumulada observada, com a distribuição teórica.
- Teste Qui-Quadrado de Aderência - X^2 : verifica se a distribuição das frequências observadas dos dados pode ser ajustada a um modelo teórico. É recomendado para amostras grandes, com $n > 50$. No caso em que o objetivo é verificar se uma amostra provém de uma população com distribuição normal, o teste tem a função de comparar se as frequências observadas na amostra estão próximas das frequências esperadas. Ele é conhecido como o teste que mede a eficiência do ajuste da distribuição, isto é, o quanto a frequência observada está próxima da frequência esperada.
- Curtose: é definida como uma medida de achatamento da curva normal, oferecendo a possibilidade de verificação da normalidade dos dados a partir do grau da curtose (CRITCHLEY; JONES, 2008).
- Assimetria: é uma medida referente ao deslocamento da curva normal em relação aos valores centrais, dependendo do grau de assimetria os dados podem ser considerados normais (SO; CHAN, 2014).

2.3.3 Inferência estatística – Intervalos de Confiança

Em problemas de inferência, caso da estimação de uma média de um universo em função de uma amostra, se esta for relativamente pequena ($n < 30$) e se o desvio padrão desse universo não for conhecido, o modelo normal deve ser substituído pela distribuição “*t*” de *Student*. À medida que aumenta o tamanho da amostra, a distribuição *t* aproxima-se da forma da distribuição normal (SILVA *et al.*, 2012). Os modelos *Z* e *t* funcionam como contadores de

“erros padrão” (EP). O EP pode ser entendido como um indicador de qualidade nos problemas de inferência, pois é construído em função de certa medida de dispersão dividida por uma função do tamanho amostral. No caso da média \bar{X} , seu EP é dado por “ σ/\sqrt{n} ”. Se a dispersão do universo é relativamente grande o EP aumenta, por outro lado, aumentando-se o tamanho da amostra ele diminui. Em resumo, pesquisas em universos com mais variabilidade exigem amostras maiores (SALGADO, 2008).

O EP é fundamental nos problemas de inferência estatística. Ele aparece na construção dos Intervalos de Confiança (IC), o qual é muito utilizado no Controle Estatístico de Processo (CEP). No CEP, os parâmetros mais estudados são média e proporção, no qual segundo Kume (1993), são estimados a fim de predizer o valor correspondente de um parâmetro populacional. Ou além de um único valor estima-se por intervalo, dado por dois valores, nos quais espera-se encontrar o valor real entre eles. Um IC é construído a partir de uma amostra, considerando determinado nível de confiança, o qual representa a probabilidade do intervalo conter o valor real do parâmetro da população. No caso da média, os intervalos de confiança são tipicamente construídos com o estimador não tendencioso \bar{X} , no centro do intervalo. Os limites desses intervalos são obtidos considerando a margem de erro (e) construída em função do nível de confiança adotado e do erro padrão da média,

$$\text{Margem de erro } (e) = Z * \text{Erro padrão da média} = Z * \sigma/\sqrt{n}$$

Os intervalos de confiança mais frequentemente utilizados são os de 90%, 95% e 99% (SILVA *et al.*,2012). De modo semelhante podem-se construir Intervalos de Confiança para atributos. Entre eles, proporções ou frequências relativas e número de defeitos. Na construção das Cartas de Controle, a ser mostrado mais adiante, esses conceitos são fundamentais.

Ainda, quanto à questão da condição de normalidade dos dados Werkema (2006), afirma que os limites de controle são pouco afetados pela violação desta condição, a não ser que ocorra uma distribuição muito distinta da normal. Pelo fato do controle envolver valores médios, para o caso de se trabalhar com a variável \bar{X} , amostras com 4 ou 5 itens garantem, no mínimo de forma aproximada, a distribuição normal para a variável média.

2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

No contexto do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) destaca-se o Controle Estatístico de Processo (CEP), composto por um conjunto de procedimentos empregados para monitorar um processo, em função de alguma característica da qualidade do produto.

2.4.1 Introdução

O CEP tem sido amplamente utilizado para detectar anomalias monitorando mudanças nos valores de parâmetros específicos de interesse (MONTGOMERY *et al.*, 2004). Com a implementação do CEP têm-se melhores processos de produção, com menos variabilidade, proporcionando níveis adequados de qualidade nos resultados da produção. E quando se fala em melhores processos, isso significa não somente qualidade melhor, mas também custos menores (SLACK *et al.*, 1996).

Segundo Shang *et al.* (2013), o Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta essencial para o controle do processo de fabricação, ou para monitoramento da qualidade do produto na manufatura de bens ou serviços.

Portanto, o controle e a redução da variabilidade tornam-se o grande desafio das indústrias para atender às exigências dos consumidores, visando à qualidade dos produtos e à permanência, com sucesso, no mercado. O estudo da variabilidade do processo teve seu início com Shewhart, que explicou sobre a impossibilidade de produzir itens exatamente iguais, por mais bem controlada e projetada que a produção possa ser (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Ele introduziu os conceitos de Controle Estatístico de Processo nas fábricas em 1930 e, ainda hoje, eles são muito utilizados como ferramenta para melhoria de processos.

A aplicação mais generalizada das cartas de controle corresponde, justamente, aos gráficos introduzidos por Shewhart (MONTGOMERY *et al.*, 2004), porém novos métodos, tais como CUSUM, EWMA, os quais serão comentados adiante, também são empregados. Os gráficos de Shewhart têm sido amplamente utilizados na indústria de fabricação, devido à simplicidade de sua implementação e à facilidade de sua interpretação, principalmente quanto ao fato do processo estar ou não sob controle. Contudo, o rápido desenvolvimento da tecnologia levou a processos melhorados para tal finalidade, pois muitos gráficos de controle tradicionais podem mostrar problemas de desempenho ou de implementação prática (JOEKES; BARBOSA, 2013).

Berk e Berk (1997), afirma que, para a implementação do CEP, é preciso compreender que essa técnica não é apropriada para todos os processos. Sendo assim, cabe ao líder identificar e conhecer o processo, como também os fatores dominantes relacionados à motivação e ao comprometimento da equipe com a empresa, pois eles podem influenciar provendo a alta qualidade (JURAN, 1997). Segundo o autor esses fatores envolvem os processos gerenciais de planejamento, controle e melhoramento da qualidade. Para o

gerenciamento do controle o autor destaca a comparação do desempenho real com as metas e, definição de ações em função de possíveis diferenças. Em função de sua experiência relata que os processos repetitivos, no sentido de produção de itens semelhantes, são os mais indicados, pois em geral apresentam taxas de rejeição maiores que as desejadas e possuem características dimensionais que permitem medições diretas. Porém os gráficos de controle também sofrem críticas, em vista de sua finalidade.

Bhote (1992, p. 185), afirma que “o mais comum nas cartas de controle é implantá-las com a finalidade de resolver um problema, porém se existe um problema a aplicação das cartas não irá resolvê-lo”. O autor afirma que as cartas podem confirmar a existência, o que seria uma redundância. Ele sugere a ferramenta “pré-controle”, mais simples e eficaz, para aferir o atendimento a uma especificação do produto.

2.4.2 Característica da Qualidade e Valor Alvo

A definição das características relevantes de um produto é fundamental para a implantação de qualquer sistema de qualidade. Antes de se aplicar qualquer técnica estatística é importante definir os pontos chaves do processo, para que os esforços sejam gastos no que de fato é importante. Ouvir os consumidores é uma forma para se conhecer quais características apresentam maior relevância. Geralmente suas reclamações ou sugestões são bons indicativos de fatores relevantes e são considerados como principais. Porém existem outras maneiras de se identificar essas características, na definição da qualidade de um produto. Elas podem estar relacionadas ao grau de aceitação ou à rejeição deste, à ocorrência de defeitos e à confiabilidade entre outros (ALMAS, 2003).

Segundo Alves (2003), as características da qualidade provenientes de processo de manufatura ou de serviços, geralmente estão associadas a variáveis aleatórias numéricas, podem ser mensuradas e expressas como valores, numa escala contínua de medidas. Mas, quando os itens de qualidade são classificados apenas como conforme e não conforme, a característica pode ser resultado de algum tipo de contagem consistindo então em uma variável aleatória discreta.

Realçando o conceito de característica de qualidade, Exler e Lima (2012) afirmam que as estimativas dos parâmetros encontrados descrevem o que pode ser considerado como qualidade, daí serem conhecidos como características da qualidade.

Em termos práticos essas características são associadas a dois tipos de variáveis aleatórias: Contínua e Discreta. No caso contínuo, são tratadas como “variáveis”. É comum encontrar nos textos a expressão “gráfico para variáveis”. As “variáveis” estão relacionadas a

medições com valores quantificáveis (BERK; BERK, 1997). Os processos nos quais os dados referem-se a algum tipo de classificação (conforme - não conforme), seguidos de algum tipo de contagem são referenciados pelo termo “atributos”.

Para monitorar e controlar um processo é necessário que a empresa, em vista do projeto do produto, especifique um valor para cada característica da qualidade em análise bem como um intervalo de tolerância. Esse valor norteia as técnicas estatísticas empregadas e ajuda a interpretação dos resultados, sinalizando a possível interferência. Assim, cada produto deve conter descrito em seu projeto o seu valor especificado que representa o valor alvo da variável aleatória (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Associado ao valor alvo, os limites de tolerância também devem ser definidos. Em resumo, o que se pretende é controlar o processo, minimizando sua variabilidade. Evidente que este processo sofre influências dos insumos, dos colaboradores, variáveis externas e equipamentos. Também é importante considerar que existe a possibilidade de variabilidade em virtude do sistema de medidas, como aquelas associadas à repetitividade e à reprodutibilidade.

2.4.3 Variabilidade do processo – Causas comuns e especiais

No estudo de CEP as “variáveis” e os “atributos” representam as características da qualidade. Elas é que serão avaliadas (medidas ou contadas) e, certamente, apresentarão resultados distintos em duas ou mais avaliações. Como afirma (WERKEMA, 2006), em todos os processos é comum encontrar variabilidade. Esta pode ser decorrente da variação natural do processo, ou está associada às perdas, ineficiência e falta de controle. Observa-se que variação pode ser interpretada de formas diferentes, visto que entender seu papel é fundamental para atingir a qualidade e alimentar continuamente a inovação (ALMAS, 2003).

Costa, Epprecht e Carpinetti (2012) dizem que em um processo não existem duas unidades iguais, sempre haverá alguma variação em toda atividade produtiva e sua ocorrência é inevitável, isto para instrumentos de medidas perfeitos, o que não existe na prática. Considere-se ainda a variação devida aos sistemas de medição qualificados em função da repetitividade e reprodutibilidade. Sendo assim a variação total é devida a variação do processo adicionada a variação inerente à medição.

Em um processo produtivo, no qual são coletadas amostras, observa-se que o mesmo item medido pode levar a resultados distintos a cada vez que é mensurado em relação ao valor nominal, ou seja, possui variabilidade. Sendo assim essa variabilidade pode ser expressa pela repetitividade ou reprodutibilidade. O conceito de repetitividade mostrado por Costa, Epprecht e Carpinetti (2012) indica o grau de concordância entre resultados de medições

sucessivas de um mesmo mensurado, sob as mesmas condições de medição. Já a reprodutividade ocorre em vista da concordância das medições em situações distintas, tal quais medidas tomadas em turnos distintos de produção.

Como esse conceito é inerente a todo processo produtivo, é fundamental que se identifique e analise as causas da variabilidade quando as causas não são naturais, visando estabelecer mecanismos de controle, a fim de atender as principais características de qualidade do produto (ALMAS, 2003). Não sendo naturais, podem ser provenientes de fatores como mão de obra, materiais, métodos, equipamentos, medições e meio ambiente (ISO QS-9000, 1998).

Em um processo de fabricação é muito comum observar grandes alterações de parâmetros específicos, em um estágio inicial do processo, devido a elementos que ainda não tenham sido estabilizados (LEE *et al.*, 2012). Porém, quando no processo encontram-se variações na característica de qualidade do produto é necessário identificá-las quanto ao tipo: Causas Comuns ou Aleatórias ou Causas Especiais ou Assinaláveis (WERKEMA, 2006). Toledo *et al.* (2013), relatam que a variação total é a soma da variação aleatória devida ao processo com a variação inerente a medição. Carvalho *et al.* (2005) consideram três tipos de causas de variação; uma causa assinalável em geral única, porém suficientemente grande que ocorre, ocasionalmente, podendo ser eliminada ou ainda minimizada; outra causa ele define como estrutural e a diferencia da especial pelo fato de ser periódica, sendo que quando o período é muito grande ela se confunde com a especial. Na realidade, o autor subdivide as causas especiais, definidas pela maioria dos autores, em outras duas: assinaláveis e estruturais.

As Causas Comuns ou Aleatórias fazem parte da variabilidade natural do processo, que é inerente ao mesmo e ocorrerá mesmo que o setor de controle utilize métodos padronizados. Neste caso, a dimensão da variabilidade se mantém em uma faixa estável, em vista da característica do processo, indicando que o mesmo está sob controle estatístico. As Causas Especiais ou Assinaláveis são as variações esporádicas que ocorrem em uma situação específica e causam anomalias no funcionamento normal do processo, resultando em redução no nível de qualidade. Esse comportamento indica que o processo pode estar fora do controle estatístico, ou que apresenta um alarme falso. Para solucioná-lo é necessário localizar a possível causa, analisar a situação e decidir ou não pela intervenção no processo. Caso intervenha, eliminar a causa de variação e definir medidas que evitem sua persistência (WERKEMA, 2006).

Segundo Firka (2011) não se deve esperar ter um processo perfeitamente sob controle estatístico, porém devem-se acompanhar de forma cuidadosa as corridas experimentais tentando prevenir as ocorrências de causas especiais.

Pequenas causas levam a variabilidade natural do processo, são inevitáveis e geram uma variabilidade com a qual é preciso se conviver. Quando ocorre um problema ou uma operação anormal, no processo, com maiores perturbações, as causas são denominadas especiais. “As causas especiais são sempre possíveis de eliminar”, originam-se de lotes com defeitos, quebras ou desajustes das máquinas, mas, certos casos, demandam correções significativas no processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

O processo ainda pode produzir itens com defeitos ou defeituosos que podem ser classificados como: defeitos crônicos, que são inerentes ao processo (sempre presentes no processo - causas comuns) e defeitos esporádicos, que representam desvios ao que o processo é capaz de fazer (mais fáceis de identificar - causas assinaláveis) (TOLEDO *et al.*, 2013).

2.4.5 Amostragem e Amostras

Para o estudo da variabilidade e suas causas, amostras periódicas são necessárias e devem ser representadas em um gráfico. Segundo Werkema (2006), um dos princípios básicos para a construção desses gráficos é de que as amostras que vão gerar seus pontos devam se constituir de conjuntos, tão homogêneos quanto possível, dos itens em processo. São os denominados subgrupos racionais. Essas amostras devem ser obtidas considerando que, se causas especiais estiverem presentes deverão aparecer entre subgrupos. Como obtê-las, o seu tamanho, a periodicidade, são perguntas cujas respostas estão mais próximas das experiências realizadas. O conceito de subgrupos racionais recomenda a retirada de pequenas amostras em intervalos de tempo regulares de modo que dentro de cada subgrupo as variações sejam provocadas apenas por causas aleatórias. Assim, cada subgrupo racional ou pequenas amostras, é composto de unidades produzidas, praticamente, em um mesmo instante, minimizando a possibilidade de elementos contidos em uma amostra serem de diferentes populações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Montgomery e Runger (2003), relatam duas abordagens para a extração de amostras. A primeira destaca que cada subgrupo consiste em unidades que foram produzidas ao mesmo tempo (curto período). Sua utilização ocorre quando a finalidade primária do gráfico de controle é detectar a mudança de processo, minimizando a possibilidade da variabilidade, por causas assinaláveis dentro do subgrupo e maximizando a possibilidade de variabilidade entre amostras. A vantagem desta abordagem é fornecer melhores estimativas do desvio padrão do

processo em cada ponto, no tempo em que a amostra é coletada. A segunda abordagem destaca que cada amostra consiste em unidades de itens que são representativas de todas as unidades que foram produzidas desde a última coleta de dados, cada subgrupo é uma amostra aleatória de todo final do processo, durante o intervalo de amostragem. Essas abordagens se diferem pelo fato de que existem o controle de processo e o controle de produtos. O controle de processo é realizado, identificando, corrigindo e prevenindo as falhas dos insumos ao longo de todo o processo e o controle de produto é feito somente no final do processo (quando o produto está pronto) visando garantir que as especificações planejadas sejam cumpridas. Esse esquema é empregado quando o gráfico de controle for aplicado com intuito de auxiliar a tomada de decisões acerca da aceitação de todas as unidades do produto, que foram produzidas desde a última amostra (WERKEMA, 2006).

Porém, deve-se tomar cuidado com a interpretação dos gráficos resultantes dessas amostras, pois se a média do processo mudar entre níveis, durante o intervalo de retiradas de amostras, podem ocorrer amplitudes grandes, dentro das amostras, tendendo a aumentar a largura dos limites de controle e aumentando a chance de se detectar processo sob controle. No entanto, existem outros métodos para formação de subgrupos racionais, como a retirada de amostras em diferentes pontos no processo produtivo, coletam-se amostras nas saídas de máquinas ou em diferentes estações de trabalho com diferentes operadores (MONTGOMERY *et al.*, 2004).

Quanto à dimensão amostral, o desejável seria retirar amostras grandes, porém em alguns casos isto não é viável, principalmente em termos econômicos. O mais comum são amostras menores e mais frequentes, ou maiores e menos frequentes. Geralmente, recomenda-se a coleta de 25 subgrupos racionais (RIBEIRO JR, 2013). Werkema (2006), afirma que é usual considerar 20 ou 25 grupos pelo menos, de amostras com 4, 5 ou 6 itens. Diniz (2001), comenta que a amostra deve ter no mínimo 4 elementos, sendo muito empregados 4 ou 5 itens. Em determinadas situações a amostra pode conter apenas um elemento.

Em termos do tempo entre duas amostragens, fatores como tipo do produto, frequência de produção, custo da análise ajudam a definir a periodicidade. Em certas empresas é comum coletar amostras de hora em hora, que são compostas ao final do período diário, mostrando o comportamento do dia (RAMOS, 2000). Almas (2003), diz que os seguintes fatores podem ser analisados para determinação do tamanho da amostra:

- Custo da amostragem;
- Perdas relacionadas em um processo fora de controle;
- Taxa de produção;

- Probabilidade de deslocamentos de processo.

Siqueira (1997), resume e relata o que de fato ocorre na prática, afirmando que não existe uma regra para definir o tamanho do subgrupo e o número de subgrupos para se construir um gráfico de controle. Sendo assim, devem-se considerar o volume de produção, o custo da inspeção e a importância da informação obtida.

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), o intervalo entre amostras é determinado em função do tempo de produção de cada produto, custo de inspeção, tempo de inspeção, estabilidade do processo e prejuízo de produzir sob efeito de causa especial.

Nas situações em que o universo de interesse é composto de várias possibilidades para coleta dos dados, pode-se utilizar o conceito de amostragem estratificada. Essa técnica de amostragem é usada quando se encontram dificuldades, geralmente pelo tempo gasto ou custo elevado, para realizar pesquisas em todos os setores do processo produtivo. Consiste em dividir a população em vários estratos ou subpopulação, considerando que possuem características comuns com a mesma, mas também possuem outras características, comuns às suas respectivas subpopulações (COSTA NETO, 2002). Digamos que um item possa ser produzido por 30 conjuntos de máquinas, sendo que 20 operam com matéria prima do fornecedor A e 10 com matéria prima do fornecedor B, sendo que a possibilidade de coleta de dados é para apenas 6 conjuntos. Proporcionalmente seriam escolhidas aleatoriamente quatro máquinas em A e duas em B para serem amostradas. Com a característica da qualidade definida, considerando a possibilidade de variações por causas especiais, amostras periódicas devem ser obtidas e representadas de forma a evidenciar possíveis situações indesejadas. As cartas de controle são úteis para tal análise.

2.4.6 Cartas ou Gráficos de Controle

Como a variabilidade sempre vai estar presente, têm-se que utilizar técnicas que indiquem o estado em que o processo se encontra. O procedimento mais comum é a construção de cartas ou gráficos de controle. Essas cartas surgiram durante a década de 20, nos estudos de Walter A. Shewhart, que, ao avaliar dados de um processo em um laboratório *Bell*, distingue e relata pela primeira vez a variação controlada da não controlada, que posteriormente, foram associadas às denominações “causas comuns e causas especiais”. Durante a tentativa de separação desses tipos de causas é que ele formaliza a ferramenta carta de controle (EXLER; LIMA, 2012). Porém alguns autores comentam sobre a diferença entre carta de controle e gráficos de controle, sendo a carta um documento com mais informações

sobre o processo produtivo (diário de bordo) e gráfico apenas demonstração gráfica sobre o processo (KUME, 1993).

Segundo Werkema (2006), a carta de controle tem a função de disponibilizar as informações para se identificar possíveis causas e não descobrir as causas de variação. Relata vantagens de se utilizar os gráficos de controle tais como: aumento da produtividade, pois reduz o retrabalho, as perdas, que diminuem a produtividade da empresa e aumentam os custos; prevenção de defeitos, pois mantém o processo sob controle, fazendo certo da primeira vez; evita ajustes desnecessários no processo, uma vez que os gráficos de controle diferem das ocorrências naturais de anomalias assinaláveis, evitando ajustes desnecessários, que podem resultar em deterioração do desempenho de processo; indica informações de diagnóstico, já que os gráficos oferecem informações importantes para implementação de mudanças no processo, para melhoria de desempenho; oferecem informações referentes à capacidade do processo em produzir itens conformes, ao longo do tempo.

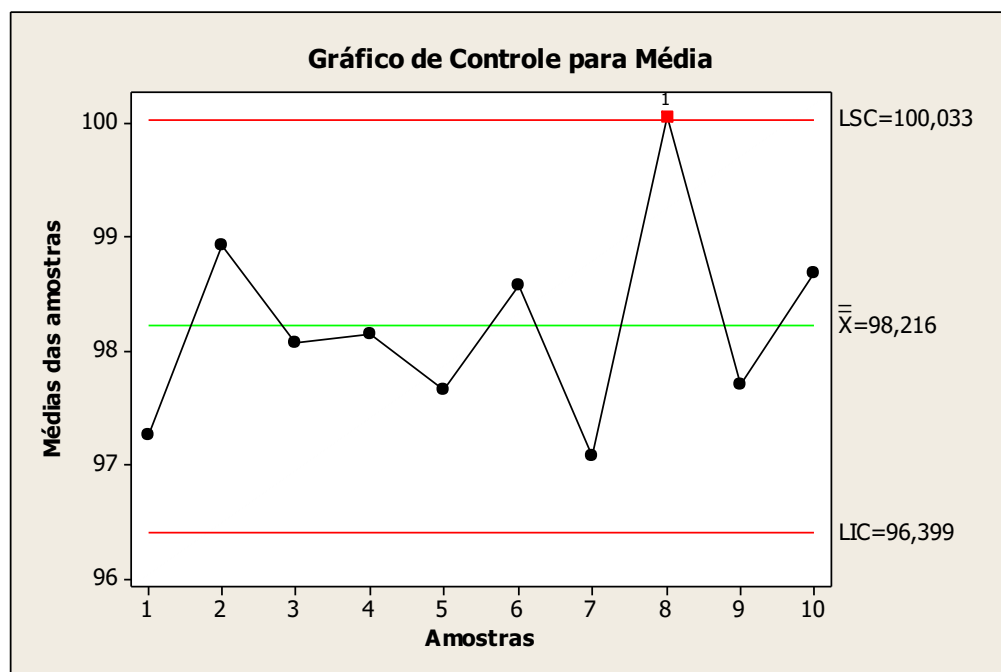
As características de interesse no estudo de um processo envolvem coletas de dados oriundos de medições e de contagens. No caso das medições (variáveis aleatórias contínuas), representações apropriadas são os gráficos para variáveis. Geralmente aparecem em conjunto, sendo um para indicar a variabilidade do processo e outro para mostrar o comportamento da média em cada amostra. Essas informações descritivas são obtidas em função dos subgrupos racionais.

Quando os dados são obtidos por meio de contagem, a terminologia usual para as representações é “gráficos para atributos”, que se baseiam na presença ou ausência de um atributo. Podem ser de porcentagem de itens não conformes (p), número de itens defeituosos (np), número de defeitos numa unidade (c), número de deméritos em uma unidade (d) e quantidade média de defeitos por elemento (μ) (SOARES, 2000). Portanto, são vários os tipos de cartas, e a escolha dependerá das condições envolvidas no planejamento experimental, tais como característica a ser medida ou qualificada, disponibilidade e tamanho das amostras.

2.4.7 Componentes de um gráfico de Controle

A partir de amostras periódicas de itens, estimativas (pontos) da variável de interesse são calculadas e plotadas no primeiro quadrante de um plano XY, em função do momento em que essas amostras são coletadas. Nesse mesmo plano são construídas linhas de referência, tais como uma linha média (LM) e outras duas em geral equidistantes da LM, representando os limites de controle superior e inferior (LSC, LIC), conforme a Figura 2.

Figura 2 – Gráfico de Controle



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.*, (2005)

As fórmulas mais comuns para determinar esses limites foram propostas por Shewhart, considerando os afastamentos em relação à LM de 3 erros padrão da variável em estudo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). A LC é dada pelo valor médio dos valores das variáveis de todas as amostras consideradas no período de análise. Dessa forma, considerando o sistema de sigmas, os limites de controle operam 3 sigmas (do erro padrão), a partir da média geral. Esses cálculos são baseados na média e na dispersão das amostras das características de qualidade de interesse extraídas do processo de manufatura (PIRES, 2000).

Outro modo de enxergar esses limites é pensar na construção de um intervalo de confiança, para estimar a característica da qualidade do processo. Nesse caso, 3 sigmas correspondem a um nível de confiança de 99,73% e, apesar de indicar uma região relativamente grande, diminui a chance dos alarmes falsos (CARVALHO *et al.*, 2005).

Reportando a teoria dos testes de hipóteses, um alarme falso corresponde ao Erro tipo I, isto é, ele acontece quando o processo está sob controle e ocorre um ponto fora dos limites de controle. Esse alarme pode resultar em interferências desnecessárias no processo. A probabilidade de ocorrência do alarme falso é indicada por *alfa* (α). Porém, o processo pode não “produzir um alarme” e estar sob efeito de alguma causa especial, caracterizando o denominado Erro tipo II, cuja probabilidade de ocorrência é indicada por *beta* (β) (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

2.4.8 Gráficos para Variáveis

Antes da construção dos gráficos de controle é necessário conhecer bem a variável aleatória X , representante da característica da qualidade, conhecer sua distribuição, sua média, e seu desvio-padrão. Amostras individuais devem ser obtidas periodicamente, no início do processo e representadas em um plano (no eixo horizontal os horários das medidas e no vertical os valores da característica) que contenha referenciais da especificação do produto. Percebida alguma instabilidade, tais como pontos além desses limites, isto pode ser um sinal de que causas especiais possam estar presentes, não sendo recomendável a construção de gráficos de controle. Com auxílio de ferramentas da qualidade devem-se procurar as causas do desajuste e fazer as correções necessárias. Realiza-se então outro procedimento de amostragem para observar se os valores estão distribuídos dentro dos limites e próximos ao valor alvo. Com essa amostra, que pode ser acrescida de outras unidades, estimam-se a média e o desvio padrão da variável aleatória em estudo, cabendo ainda verificar se os dados seguem uma distribuição normal (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Após essa análise pode-se iniciar o processo de construção das cartas. O gráfico de Shewhart mais comum é o par $(\bar{X} - R)$, indicando um gráfico para a média da característica de interesse e outro para amplitude (R) que é uma medida de variabilidade. Outro conjunto é $(\bar{X} - S)$, no qual a medida de dispersão adotada é o desvio padrão. Podem ocorrer ainda gráficos para medidas individuais ($X - R$), combinadas com a amplitude R (WERKEMA, 2006). Carvalho *et al.* (2005), destaca ainda o gráfico construído em função das medianas dos subgrupos, onde ocorrem medidas discrepantes. Em geral aparece em conjunto com a amplitude $(\tilde{X} - R)$.

Como visto, um gráfico de controle é composto por três linhas paralelas, sendo elas: central, superior e inferior. Nos casos dos gráficos para variáveis, a linha média (LM) indica o valor médio estimado para a característica. Os limites (LIC e LSC) indicam os limites de controle para a região de controle e são obtidos em função da média, nível de confiança e desvio padrão da variável (erro padrão). Os pontos assinalados são funções de amostras obtidas em uma série temporal. Usa-se um segmento de reta para unir os pontos e assim maximiza a sua visualização e ainda a evolução da característica de qualidade, na variação do tempo (NEWBOLD, 1995).

2.4.8.1 Gráficos para Média e Amplitude - \bar{X} - R

O gráfico de \bar{X} monitora a média do processo sendo uma das ferramentas mais importantes do controle estatístico da qualidade. Possui excelente sensibilidade na detecção de mudanças na média da distribuição, porém encontra-se mais sensível ao Erro tipo II que acontece quando o processo é considerado sob controle, quando na verdade ele está fora de controle (RAMOS, 2003). Em geral vem acompanhada do gráfico para a amplitude.

Os limites de controle são estabelecidos, considerando três desvios-padrão dessa variável média (erro padrão da média) para menos (LIC) e para mais (LSC). Esses limites são definidos pela teoria estatística dos intervalos de confiança e dados por (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012):

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} \quad (3)$$

$$LM_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} \quad (4)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} \quad (5)$$

Onde $\mu_{\bar{x}}$ é o valor esperado da população (de médias) sendo estimada pela média das médias encontradas nos subgrupos ($\bar{\bar{X}}$) e, $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ representa o desvio-padrão da variável média amostral (MICHEL, 2001). Outra questão refere-se à estimativa de σ_x , o desvio padrão da característica X. Amostras pequenas (4, 5 elementos) resultam em desvios padrão (S) que não estimam, adequadamente, o desvio do universo (σ). Um caminho alternativo é medir a dispersão em termos da variável amplitude amostral (R). Sendo a distribuição de X normal, com desvio padrão σ , a variável R terá distribuição $\mu_R = E(R) = d_2 \cdot \sigma$, resultando $\sigma = \mu_R / d_2$, onde d_2 é uma constante tabelada em função do tamanho da amostra (n). Uma estimativa para μ_R é \bar{R} . Sendo a variável \bar{R} a média das amplitudes das amostras, então uma estimativa para σ é dada por $\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$. Portanto a estimativa para $3\sigma_{\bar{x}}$ é:

$$\frac{3 \cdot \hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = A_2 \cdot \bar{R} \quad (6)$$

De modo geral, para calcular os limites de controle dos gráficos \bar{X} , R e S e outros são utilizadas constantes ($d_2, d_3, A_2, D_4, A_3, B_3, B_4, D_1 \dots$) tabeladas em função do tamanho das amostras extraídas. São apresentadas no Anexo 1 (MONTGOMERY, 2008).

Portanto, as expressões práticas para as linhas de referências para o gráfico de controle \bar{X} , segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2012) e Werkema (2006), são dadas por:

$$\widehat{LSC} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (7)$$

$$\widehat{LM} = \bar{\bar{X}} \quad (8)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (9)$$

De modo análogo, para o gráfico da amplitude R têm-se as expressões:

$$\widehat{LSC} = D_4 \bar{R} \quad (10)$$

$$\widehat{LM} = \bar{R} \quad (11)$$

$$\widehat{LIC} = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

Na coleta das amostras para a construção dos gráficos $(\bar{X} - R)$, o processo estará sujeito a reincidências de causas especiais conhecidas, ou ainda não diagnosticadas. Em vista da variabilidade, se faz necessário iniciar o controle do processo pelo gráfico da amplitude.

As linhas de referências (LM, LIC e LSC) são representadas em um plano conforme visto em (3.4.7). Os dois gráficos (média e amplitude) devem ser representados e empregados simultaneamente (WERKEMA, 2006), porém, em planos distintos. O passo seguinte é marcar os pontos (valores médios de cada amostra), destacando os pontos que estiverem fora dos limites. Como a interpretação inicia-se com o gráfico R, caso algum ponto esteja fora dos limites, indicando uma possível causa especial (NAVIDI, 2012), a ação apropriada é verificar e sanar a possível causa e abandonar o ponto, recalculando os limites para os dois gráficos. Quando todos os pontos estiverem na região entre os limites, deve-se continuar a interpretação em função do comportamento dos pontos em torno da linha média. Estando o processo sob controle inicia-se a fase II, na qual o processo passa a ser monitorado, de forma que não se altere os limites de controle (a não ser que ocorram alterações frequentes) e que a decisão de intervenção no processo aconteça quando aparecerem valores acima ou abaixo dos limites de controle (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

2.4.8.2 Gráficos para Média e Desvio Padrão - \bar{X} -S

A utilização da amplitude ou desvio padrão como medida de dispersão vai depender do tamanho da amostra considerada. Sabe-se que a medida e que o tamanho da amostra aumenta a amplitude perde eficiência, como estimador do desvio padrão. Logo, para amostras maiores ($n > 10$) é provável que o desvio padrão S seja um estimador melhor para representar a variabilidade do processo (WERKEMA, 2006). Segundo Montgomery (2004), o Gráfico \bar{X} -S representa o controle da média e da variabilidade utilizando como medida de dispersão o desvio padrão amostral. Reportando as equações 3, 4 e 5, uma estimativa para o desvio padrão σ é dada em função da média dos desvios padrão das m amostras (\bar{S}).

Isto é, sendo o desvio padrão da amostra i ($i=1,2,\dots, m$).

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \quad (13)$$

Tem-se: $\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$ e $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4}$ onde C_4 é uma constante.

Portanto uma estimativa para $3\sigma_{\bar{x}}$ é dada por: $\frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{S}}{C_4}$

Resultando nas estimativas para os valores das linhas de referência do gráfico para média. Fazendo $A_3 = \frac{3}{C_4\sqrt{n}}$.

$$\widehat{LSC} = \bar{X} + A_3 * \bar{S} \quad (14)$$

$$\widehat{LM} = \bar{X} \quad (15)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{X} - A_3 * \bar{S} \quad (16)$$

De modo análogo, para o gráfico do desvio padrão (S) as expressões são dadas por:

$$\widehat{LSC} = \bar{S} + 3\hat{\sigma}_s = B_4 * \bar{S} \quad (17)$$

$$\widehat{LM} = \bar{S} \quad (18)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{S} - 3\hat{\sigma}_s = B_3 * \bar{S} \quad (19)$$

2.4.8.3 Gráfico para valores individuais e amplitude móvel (X e RM)

Para estudar a variabilidade do processo, pode também ser utilizado o conjunto gráfico (X, RM) que são as medidas individuais e a amplitude móvel. São registradas medidas individuais periódicas, que são representadas diretamente no plano XY, equivalente a se considerar uma amostra com $n=1$. A variabilidade é determinada a partir da diferença entre duas medidas consecutivas, denominada amplitude móvel (RM). Ele é utilizado em situações especiais como processos com taxa de produção muito baixa ou com pouca variabilidade (NAVIDI, 2012), (REBELATO *et al.*, 2006).

Segundo Alves (2003), é recomendado utilizar esse tipo de gráfico nas seguintes situações:

- Quando se encontra dificuldade para coletar os dados, demoram muito tempo para serem disponibilizados e esperar por mais medições para se obter uma amostra de maior tamanho pode ser inapropriado;
- Quando os custos para análise das amostras são elevados.

Para Toledo *et al.* (2013), esse tipo de conjunto gráfico tem necessidade de menos cálculos, porém é menos sensível a mudanças substanciais na média do processo e não fornece claras evidências de causas especiais.

Como os anteriores, esses dois gráficos devem ser empregados simultaneamente. Os valores para a construção das linhas de referência (LC, LIC e LSC) são obtidos de modo análogo aos gráficos anteriores, resultando nas estimativas:

$$\widehat{LSC} = \bar{X} + 3 \frac{\overline{RM}}{d_2} \quad (20)$$

$$\widehat{LM} = \bar{X} \quad (21)$$

$$\widehat{LSC} = \bar{X} - 3 \frac{\overline{RM}}{d_2} \quad (22)$$

Onde d_2 é uma constante encontrada no anexo 1 para $n=2$, pois o gráfico é baseado em amplitude móvel de duas observações (WERKEMA, 2006), \overline{RM} é a média das amplitudes e \bar{X} é a média das medidas individuais.

Para o gráfico de RM, as equações estimadas são:

$$\widehat{LSC} = D_4 \cdot \overline{RM} \quad (23)$$

$$\widehat{LM} = \overline{RM} \quad (24)$$

$$\widehat{LIC} = D_3 \cdot \overline{RM} \quad (25)$$

Onde D_3 e D_4 são constantes encontradas no anexo 1 para $n=2$.

2.4.8.4 Gráfico para mediana e amplitude (\bar{X} e R)

Segundo Rebelato *et al.* (2006), este conjunto de gráficos mostra o comportamento da variável do processo em termos de mediana e amplitude. Apresenta facilidade na construção dos elementos componentes do controle, com fórmulas mais simples. De qualquer forma, a mediana é um estimador menos usual que a média.

A utilização deste conjunto de gráficos de controle, com subgrupos de tamanhos fixos, são recomendados para controlar certas situações em que se precisa estabelecer limites de controle por meio de um processo de medida e contagem (RAMOS, 2003).

Conforme Toledo *et al.* (2013), para a construção das linhas de referência do gráfico da mediana (\bar{X}) são utilizadas as expressões:

$$\widehat{LSC} = \bar{X} + \tilde{A}_2 \bar{R} \quad (26)$$

$$\widehat{LM} = \bar{X} \quad (27)$$

$$\widehat{LSC} = \bar{X} - \tilde{A}_2 \bar{R} \quad (28)$$

Onde, $\bar{\bar{X}}$ é a média das medianas das amostras, \bar{A}_2 (Anexo 2) é uma constante tabelada em função de n e \bar{R} é a média das amplitudes.

Para o controle do gráfico da amplitude R, as expressões são:

$$\widehat{LSC} = D_4 \bar{R} \quad (29)$$

$$\widehat{LM} = \bar{R} \quad (30)$$

$$\widehat{LSC} = D_3 \bar{R} \quad (31)$$

Onde, D_3 e D_4 são constantes tabeladas (Anexo 1).

2.4.8.5 Gráficos de controle de Shewhart para variáveis - Resumo

A fim de sintetizar as informações sobre gráficos para variáveis, A Tabela 1 apresenta os tipos de cartas de controle de Shewhart e as respectivas fórmulas para a determinação dos limites de controle. Os valores $A_2, A_3, B_3, B_4, D_3, D_4, C_4, d_2, d_3$ são tabelados e dependentes do número de elementos, no subgrupo racional.

Tabela 1 – Tipo de gráficos de controle para variáveis e fórmulas para cálculo dos limites de controle

Tipos de Cartas		LSC	LM	LIC
Carta \bar{X}, R	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
Carta \bar{X}, S	\bar{R}	$D_4 \bar{R}$	\bar{R}	$D_3 \bar{R}$
	\bar{X}	$\bar{\bar{X}} + (A_3 * \bar{S})$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - (A_3 * \bar{S})$
Carta X, RM	\bar{S}	$B_4 * \bar{S}$	\bar{S}	$B_3 * \bar{S}$
	X	$\bar{X} + 3 \frac{\overline{RM}}{d_2}$	\bar{X}	$\bar{X} - 3 \frac{\overline{RM}}{d_2}$
	RM	$D_4 \overline{RM}$	\overline{AM}	$D_3 \overline{RM}$

Fonte: Adaptado de Veiga (2013)

2.4.9 Gráficos de Controle para Atributos

Os casos vistos mostram situações em que a característica da qualidade é função de uma variável aleatória contínua, e são tratadas como “variáveis”. Quando o estudo do processo envolve variáveis do tipo discreto, definidas em função de algum tipo de contagem de variáveis qualitativas, a denominação usual é de que o controle é feito “por atributos”.

Na análise por atributos, o item analisado pode ser categorizado em defeituoso e não-defeituoso, ou por conforme e não-conforme. Um exemplo desse tipo de variável pode ser observado em uma fábrica que produz copos e a variável observada seria o atributo “aparência do copo”. Em tal caso, as classificações seriam: aparência conforme ou aparência não conforme (VIEIRA, 1999).

Os gráficos para Controle de Atributos seguem o mesmo formato dos Gráficos de Shewhart, tais como apresentados em (2.4.8). Os limites de controle também são obtidos utilizando-se conceitos de Intervalos de Confiança (GODOY, 2009).

2.4.9.1 Gráfico de Controle para a proporção de itens defeituosos - “p”

O Controle para atributos utiliza dois tipos de gráficos considerando a contagem do número de defeituosos em amostras com n elementos: Gráfico “p” para a proporção de itens defeituosos (frequência relativa) em uma amostra e o Gráfico “np” para o número de itens defeituosos (frequência absoluta) por amostra. São chamados assim, porque, com eles, é possível identificar a frequência com que o processo é capaz de produzir itens inadequados (DINIZ, 2001).

O gráfico ou carta de controle “p” tem a função de monitorar a proporção de itens não conformes. Ela necessita de subgrupos relativamente grandes, assim como o número de subgrupos (número de amostras), para detectar mudanças moderadas no desempenho do processo. A frequência de retirada dos subgrupos deve ser ajustada conforme os períodos de produção. Os itens identificados como não conformes são expressos como uma fração decimal (FUNDAMENTOS, 1995).

Na coleta de dados é necessário definir o tamanho do subgrupo (geralmente varia de 50 a 200), e a periodicidade da coleta. O número de subgrupos deve ser de 25 ou mais (INDEZEICHAK, 2005).

Segundo Montgomery (2004), o gráfico p se baseia na distribuição binomial, pois ao considerarmos um processo com unidades produzidas de forma independente e que p é a probabilidade de ocorrer alguma não-conforme, então, para n unidades do produto e sendo D for o número de não-conformes, então D tem distribuição Binomial (n, p). Nesse modelo, o valor esperado para a proporção amostral de defeituosos (D/n) é p e sua variância $p*(1-p)/n$. Para a construção das linhas de referência a proporção p'_i em para a i -ésima amostra é dada por:

$$p'_i = \frac{D_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (32)$$

A média da frequência relativa de não-conformes, que é a estimativa de p , é dada pela expressão:

$$\bar{p}' = \frac{\sum_{i=1}^m p'_i}{mn} \quad (32.1)$$

E o desvio padrão da frequência relativa é dado por:

$$\sigma_{\bar{p}'} = \sqrt{\frac{\bar{p}'(1-\bar{p}')}{n}} \quad (32.2)$$

Portanto, o valor esperado para p será o valor de referência do gráfico e os limites de controle dados pelas expressões:

$$\widehat{LSC} = \bar{p}' + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}'(1-\bar{p}')}{n}} \quad (33)$$

$$\widehat{LM} = \bar{p}' \quad (34)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{p}' - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}'(1-\bar{p}')}{n}} \quad (35)$$

Esses limites foram obtidos considerando a aproximação do modelo binomial pelo modelo normal (WERKEMA, 2006).

2.4.9.2 Gráficos de Controle para o número de itens defeituosos “np”

A base probabilística para esse gráfico é equivalente ao visto para o gráfico p , a variável aleatória $D =$ número de itens defeituosos em uma amostra de tamanho n distribui-se segundo o modelo binomial com parâmetros n e p . Nesse caso, o valor esperado para a variável de interesse é np e seu desvio padrão $Np(1-p)$. O objetivo deste gráfico é monitorar o número de itens não-conformes para cada amostra coletada num determinado tempo (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Vieira (1999), inicialmente se constrói o gráfico temporal com os números das amostras na abscissa e os valores de $np'_i = Di$, onde i indica a i -ésima amostra, na ordenada. As linhas de referência para esse gráfico são dadas por:

$$\widehat{LSC} = \overline{np}' + 3 \sqrt{\overline{np}'(1-\bar{p}')} \quad (36)$$

$$\widehat{LM} = \overline{np}' \quad (37)$$

$$\widehat{LIC} = \overline{np}' - 3 \sqrt{\overline{np}'(1-\bar{p}')} \quad (38)$$

2.4.9.3 Gráficos para número de não conformidades (número de defeitos) – Gráfico C

Este tipo de gráfico é usado para monitorar o número de não conformidades encontradas em um item, que pode ser um refrigerador, ou uma chapa de metal, ou um rolo de tecido (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012) que recebe o nome de unidade de inspeção. O produto defeituoso não representa as especificações planejadas, podendo ser encontrado mais de um defeito no mesmo (WERKEMA, 2006).

Nesses casos, a variável aleatória $Y =$ número de não conformidades em um intervalo contínuo (linear, superfície, volume) tem distribuição de Poisson dada por:

$$P(Y=y) = e^{-\mu} * \mu^y / y! \quad y = 0,1,2, \dots \quad (39)$$

A variável de Poisson tem média e variância dadas pelo mesmo parâmetro, μ . Daí, desvio padrão de Y ser igual a $\sqrt{\mu}$ (RIBEIRO JR, 2013).

Este gráfico de controle é usado, segundo Montgomery (2008), em situações em que as dimensões das amostras são constantes. Na literatura, o número de não conformidades por unidade de inspeção é indicada pela letra c , sendo que uma estimativa para a média do correspondente universo é dada por \bar{c} . Então as linhas de referência, limites de controle e valor central são dados pelas expressões:

$$\widehat{LSC} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (40)$$

$$\widehat{LM} = \bar{c} \quad (41)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (42)$$

Onde, $\bar{c} = 1/m * \sum c_i$ e m é o número de amostras com n unidades de inspeção cada.

2.4.9.4 Gráfico para o número de não conformidades por unidade de inspeção – Gráfico U

O Gráfico de defeitos por unidade é utilizado para o monitoramento do número de não-conformidades, em amostras de tamanho variável. É conveniente, quando se compreende que a unidade em análise pode ser uma unidade de comprimento ou de área, ou mesmo uma peça; então haverá o interesse em conhecer o número de defeitos por metro (ou por mil metros), ou por metro quadrado, ou por chapa (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Em comparação com o gráfico C , então $\bar{u} = \sum c_i / \sum n_i$.

Segundo Montgomery (2008), as fórmulas resumidas são estimativas para calcular os limites de controle e linha central para este tipo de carta são (quando as amostras têm o mesmo número de unidades n):

$$\widehat{LSC} = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (43)$$

$$\widehat{LM} = \bar{u} \quad (44)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (45)$$

Para o caso de amostras com tamanhos variáveis n_i , Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), indicam:

$$\widehat{LSC} = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}} \quad (46)$$

$$\widehat{LM} = \bar{u} \quad (47)$$

$$\widehat{LIC} = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}} \quad (48)$$

Os autores ainda sugerem que, para amostras nas quais o tamanho tenha pouca variação, adotar n igual ao n máximo, pois para n máximo têm-se limites mais estreitos.

2.4.9.5 Resumo para cálculo de limites de controle de gráficos para atributos

Em síntese, para o cálculo dos limites dos gráficos de controle de atributos são utilizadas as expressões matemáticas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Expressões matemáticas resumidas para cálculo de limites dos gráficos de controle de atributos

Tipos de Cartas	LSC	LM	LIC
Carta p	$\bar{p}' + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}'(1-\bar{p}')}{n}}$	\bar{p}'	$\bar{p}' - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}'(1-\bar{p}')}{n}}$
Carta np	$n\bar{p}' + 3 \sqrt{np'(1-\bar{p}')}$	$n\bar{p}'$	$n\bar{p}' - 3 \sqrt{np'(1-\bar{p}')}$
Carta c	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{k}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
Carta u	$\bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{\sum_{i=1}^k n}$	$\bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Fonte: Adaptado de Veiga (2013)

2.4.10 Interpretação dos Gráficos

Segundo Alves (2003), o mais importante no controle de um processo é compreender o seu estado com exatidão, interpretando e tomando, prontamente, ações apropriadas, quando algo suspeito for encontrado.

Assim é necessário, conforme Toledo *et al.* (2013), estudar a estabilidade do processo, analisar a variabilidade do mesmo, em comparação com o comportamento de uma variável com distribuição normal, pois este modelo de distribuição de probabilidade é condição inicial para a construção dos gráficos. Para realizar a análise devem ser considerados os gráficos de controle em pares com média e dispersão. Considerando a variável com distribuição normal e parâmetros conhecidos devem-se verificar:

- Aproximadamente 68% dos pontos encontram-se no intervalo de ± 1 desvio padrão da média, em torno da média que representa a maioria dos pontos próximos da linha média.
- Aproximadamente 95% dos pontos situados no intervalo de ± 2 desvios padrão da média, em torno da média;
- Nenhum ponto situado fora dos limites de controle que representa a inexistência de pontos acima ou abaixo de 3 desvios padrão da média.
- A sequência temporal dos pontos distribui-se de forma aproximada, acima ou abaixo da média, em relação ao tempo.
- Inexistência de tendências sistemáticas dos pontos que aumentam ou diminuem, pois a probabilidade de ocorrer 7 pontos consecutivos abaixo, ou acima da linha média é de 0,78%;
- Inexistência de oscilações cíclicas que representam comportamento cíclico nos gráficos, em relação à distribuição temporal dos pontos.

Segundo Toledo *et al.* (2013), Werkema (2006), a prática para definir gráficos que indicam um processo fora de controle, observam-se as seguintes observações quando supõem-se que seus parâmetros sejam conhecidos:

- Um ou mais pontos encontrados fora dos limites de controle;
- Seis pontos sequenciais ou mais, situados acima ou abaixo da linha média;
- Sete pontos sequenciais ou mais, que aumentam ou diminuem, indicando uma tendência para cima ou para baixo;
- Cinco pontos consecutivos, sendo que quatro situados acima ou abaixo da linha média e fora do intervalo de ± 1 desvio padrão em torno da média;
- Três pontos consecutivos, sendo que dois estão situados abaixo ou acima da linha média e fora do intervalo de $\pm 2\sigma$ em torno da média;
- Muitos pontos distribuídos próximos da linha central (até 1,5 desvios padrão), apresentando variabilidade menor do que a esperada. Pode ser indicativo de erros nos cálculos dos limites, ou de que os subgrupos foram formados de forma inadequada.
- Presença de oscilações cíclicas;
- Dez em onze, doze em quatorze, quatorze em dezessete, dezesseis em vinte pontos consecutivos situados do mesmo lado da linha média.

2.4.11 Monitoramento do processo estável

Com o processo estabilizado, os limites de controle são fixados e amostras periódicas são obtidas, a fim de se observar o controle e detectar possíveis perturbações. Devem-se planejar períodos para amostragem e o tamanho das amostras. Os tamanhos das amostras seguem o padrão de 4 ou 5 unidades e a periodicidade acaba sendo escolhida de forma arbitrária, evidente que se deve levar em conta os custos associados (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Estando o processo sob controle pode-se verificar sua capacidade em produzir itens conformes. Em geral esse estudo é realizado para processos monitorados pelo conjunto gráfico \bar{X} e R.

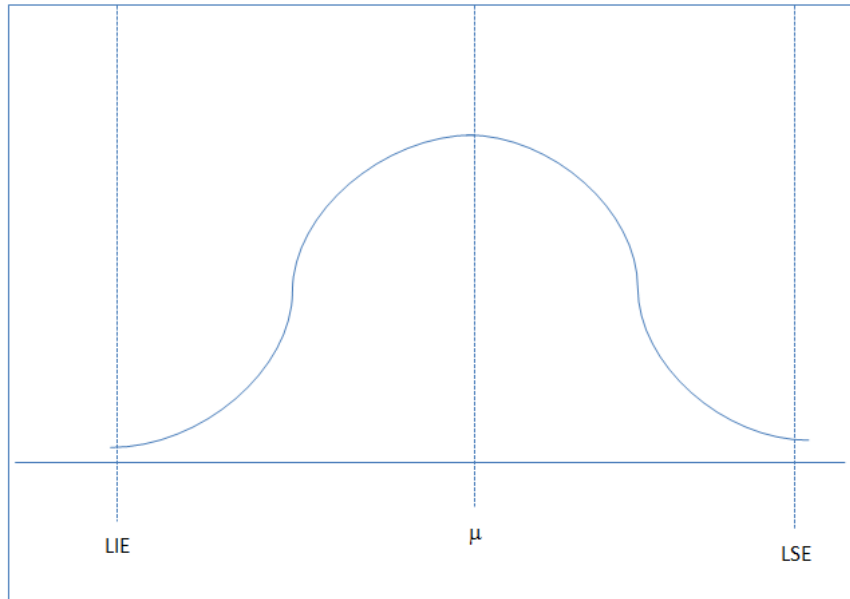
2.5 CAPACIDADE DO PROCESSO

Estando o processo estabilizado quanto a variabilidade, comportando-se de acordo com a distribuição normal e sem evidências de causas especiais, o passo seguinte é verificar se ele é capaz de atender aos requisitos de especificação, que são as referências do projeto estabelecidas, resultando em produtos de qualidade. Por outro lado os processos que não satisfazem as exigências do projeto do produto (limites de especificações) podem apresentar aumento dos custos por meio de perdas e retrabalho. É fundamental avaliar se o processo tem capacidade de atender as especificações que podem ter sido estabelecidas em função das necessidades dos clientes (WERKEMA, 2006). O conceito de capacidade é muito utilizado pelas indústrias, devido à sua simplicidade e eficiência (RAMOS, 2003).

Ele representa a capacidade de se produzir produtos conformes, satisfazendo as especificações planejadas pela engenharia e não apenas relacionadas com a presença ou a ausência de causas especiais. Dessa forma, quando existe a presença de causas especiais, a capacidade do processo é reduzida e o número de produtos não conformes produzidos aumenta (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Desse modo, a tolerância a ser respeitada refere-se à medida individual e é definida pelos valores de LSE (Limite Superior de Especificação) e o LIE (Limite Inferior de Especificação) (TOLEDO *et al.*, 2013). Esses limites têm a função de minimizar o risco de multa por não cumprimento do valor alvo relatado na embalagem de cada produto e comprometimento da utilização do produto (Figura 3) (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Figura 3 – Limites de especificação para análise da capacidade do processo



Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti (2012)

2.5.1 Limites de Especificação, Naturais e de Controle

Importante destacar e diferenciar os tipos de limites envolvidos na análise da capacidade do processo. Designando por X a variável aleatória representativa da característica de interesse, definem-se como limites Naturais (LN) do processo os pontos extremos do intervalo de confiança (99,73%) para essa característica, conforme indicados por (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Eles são estimados por:

$$(\text{Limite Superior Natural})LSN = \bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (49)$$

$$(\text{Limite Inferior Natural})LIN = \bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (50)$$

Onde $\frac{\bar{R}}{d_2}$ é a estimativa do desvio padrão de X .

Para facilitar a interpretação da capacidade do processo, pode-se utilizar um histograma que representa graficamente a distribuição de frequência dos dados individuais, organizando e disponibilizando informações sobre seu comportamento. Esta seria uma representação da variação natural do processo (ALMAS, 2003), a qual poderia ser comparada aos limites de especificação.

Os limites de controle (LC) são aqueles definidos para a construção do gráfico \bar{X} , ou seja, os valores situados a ± 3 desvios padrão da média. As estimativas foram mostrados nas equações 3, 4 e 5 (Pág. 44).

Os limites de especificação (LE) são estabelecidos no projeto do produto em função de um valor nominal da característica da qualidade e sua tolerância.

Em resumo, se σ representa o desvio padrão da variável X , então o desvio padrão da variável \bar{X} é dado por $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Como os limites de especificação seguem a escala dos valores da variável em estudo, não tem sentido compará-los com os limites de controle. Desta forma, não se deve comparar limites de especificação com limites de controle, pois as escalas de X e \bar{X} são diferentes, tendo $\sigma_{\bar{X}} = (\sigma/\sqrt{n}) < \sigma$. E a distância entre esses limites de especificação são fixas, sendo a distância entre os limites de controle dependente do tamanho de amostra n (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Segundo Nordström *et al.* (2012), o índice de capacidade do processo pode determinar se um processo é capaz de atender à sua especificação. Contudo, os limites de especificação representam um padrão de exigência de consumidor, definidos no projeto do produto, e não tem conexão com os limites de uma carta de controle, que são calculados em função de médias de amostras.

2.5.2 Índices de Capacidade

Segundo Toledo *et al.* (2013), a capacidade pode ser medida por meio da razão entre a tolerância de especificação e a variabilidade natural do processo representada por 6σ . Na prática σ é estimado por $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ (WERKEMA, 2006). Esta avaliação somente deve ser feita após o estado do processo se tornar estável e sem intervenções, durante a coleta dos dados para manter a variabilidade natural do processo (TOLEDO *et al.*, 2013).

Existem vários índices para medir a capacidade do processo. Conforme Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), os mais utilizados são C_p , C_{pk} e C_{pm} , definidos e estimados, respectivamente por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (51)$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right\} \quad (52)$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\hat{\sigma}^2 + (d - \bar{X})^2}} \quad (53)$$

Onde, $d = (LSE - LIE)/2$ representa o ponto médio do intervalo de especificação; σ representa o desvio padrão natural do processo e \bar{X} representa a média. Quando $d = \bar{X}$ os

índices se igualam. Em qualquer dessas formulações, quanto maior o índice melhor a capacidade do processo, porém, por convenção, o valor mínimo aceitável é 1,0. Um Cpk igual a 1,33 é considerado bom, indicando que a média do processo está a 4 desvios padrão do limite de especificação mais próximo (NAVIDI, 2012). Em relação a esses índices, o Cp somente tem sentido quando o processo está centrado no valor nominal. O Cpk permite avaliar se o processo está atingindo o valor nominal, pois leva em consideração o valor da média deste (WERKEMA, 2006). O Cpk é mais abrangente que os outros índices como o Cp , pois ele relaciona a distância da média do processo com seu limite de especificação mais próximo, identifica a posição do processo em relação ao limite superior e inferior (RAMOS, 2003). O índice Cpm leva em conta possíveis perdas decorrentes da distância da média do processo ao valor nominal, a lógica é, quanto mais a média se afasta do alvo, maiores as chances de itens não conformes. O Cpm considera de forma mais acentuada a falta de centralidade dos processos do que a quantidade de produtos conformes produzidos, observa-se uma possível perda no afastamento da característica de qualidade em relação ao seu valor-alvo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Medles *et al.* (2009), relatam que quanto maior for o valor do índice, mais o processo é capaz, com as seguintes interpretações usuais: $Cp < 1$ (insatisfatório), $1 < Cp < 1,33$ (capacidade baixa), $1,33 < Cp < 1,66$ (capacidade média), e $Cp > 1,66$ (capacidade alta). Para Costa, Epprecht e Carpinetti (2012) o processo pode ser interpretado nas seguintes condições: $Cpk \geq 1,33$ (Capaz); $1 \leq Cpk \leq 1,33$ (Razoavelmente capaz); $Cpk < 1$ (Incapaz).

Toledo *et al.* (2013), também interpretam com mais detalhes esses índices: Quando o índice for:

- Maior que 1,33: o processo possui nível A e é capaz (confiável, está sob controle dos operadores e pode-se usar o pré-controle (3.6.2));
- Entre 1 e 1,33: o processo é considerado nível B e é relativamente capaz (relativamente confiável, os operadores exercem controle sobre as operações, mas deve ser monitorado para evitar deterioração);
- Entre 0,75 e 0,99: o processo tem nível C e é incapaz (pouco confiável, necessita de controle contínuo das operações para evitar perdas, retrabalhos, refugos, paralisações que aumentam os custos);
- Menor que 0,75: processo considerado de nível D e é totalmente incapaz (não tem capacidade para atender as especificações do projeto, requerendo controle e revisão de todos os produtos produzidos – Inspeção 100%). Peinado e Graeml

(2007), afirmam que conforme o índice de capacidade se aproxima de 1 a necessidade de controle aumenta, isto é, a empresa deve ser mais rigorosa, podendo até resultar em uma inspeção 100%.

O índice de capacidade C_p indica o desempenho do processo quando o mesmo está centralizado e operando sob controle, conforme seus limites de especificação, quando os limites naturais do processo estão dentro das especificações o processo irá produzir poucos produtos defeituosos ou não conformes. Porém quando não estão centralizados é possível que ocorram incorreções na interpretação, recomendando-se então a análise por meio do C_{pk} (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Segundo Carpinetti (2012), com o auxílio do histograma pode-se comparar os dados resultantes de um processo indicando na figura os limites de especificação estabelecidos para a característica observada e verificar:

- Capacidade de atender às especificações;
- Se existe proximidade do centro da faixa de especificação e a média da distribuição das medidas;
- Se existe alta variabilidade e se é necessário adotar medidas para reduzi-las.

2.5.3 Índices de Performance

De modo semelhante aos índices de capacidade, diferenciam estes pela mudança no estimador do desvio padrão que figura nos denominadores das expressões dos índices de capacidade. Utiliza o desvio da amostra de todo o processo, no lugar da estimativa $\frac{\bar{R}}{d_2}$, sendo que P_p corresponde ao C_p e P_{pk} ao C_{pk} (RAMOS, 2003). Para Almas (2003), estes índices que são denotados por P_p e P_{pk} são utilizados também para análise da capacidade ou performance do processo, porém indicados para avaliações preliminares ou capacidade de curto prazo, quando há poucos dados disponíveis e sem critérios para formação de subgrupos (RAMOS, 2003). Apresentam vantagens porque consideram causas comuns e causas especiais que podem interferir na variação do processo, trabalhando com intervalos de tempos mais curtos que os tornam mais restritos. Quando o C_p e P_p estão próximos é um indicativo de processo sob controle, porém quando apresentam relativa distância é sinal de que causas especiais possam estar atuando. Os índices são estimados pelas expressões, onde S é a estimativa do desvio padrão do processo.

$$\widehat{Pp} = \frac{LSE - LIE}{6S} \quad (54)$$

$$\widehat{Ppk} = \min \left\{ \frac{LSE - \bar{X}}{3S}, \frac{\bar{X} - LIE}{3S} \right\} \quad (55)$$

A interpretação desses índices é idêntica à apresentada nos casos da avaliação da capacidade do processo.

2.6 ANÁLISE DO PROCESSO – OUTROS TÓPICOS

2.6.1 Alarme Falso

Mesmo observando que o processo encontra-se sob controle estatístico, existe um risco de um ponto cair fora dos limites de controle e, conseqüentemente, a possível ocorrência de um alarme falso, um sinal indevido que apresenta um processo influenciado por causas especiais, precisando de ajustes. Esse sinal é conhecido por alarme falso porque ocorre no momento em que o processo está sendo considerado sob controle. Para calcular esse risco (probabilidade de alarme falso) é necessário conhecer a distribuição da variável aleatória. No entanto, pelo Teorema Central, muitas distribuições poderão ser aproximadas pela distribuição normal, mesmo para número pequeno de observações da variável aleatória, possibilitando a análise, em vista deste modelo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012).

Normalmente essa análise é feita em termos da teoria dos testes de hipóteses. Constroem-se duas hipóteses mutuamente excludentes para serem testadas (H_0 e H_1). Onde H_0 indica o processo sob controle e H_1 , o complementar. Se a hipótese nula (H_0) for verdadeira, indica-se por α o risco (alarme falso) de incorretamente considerar o processo fora de controle, isto é, α é a probabilidade de ocorrência do conhecido erro tipo I. Caso contrário, sendo H_0 falsa, existe, a possibilidade de ocorrência do erro tipo II, isto é, decidir por H_1 . A probabilidade de ocorrer esse tipo de erro é indicada por β . As expressões (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012), para essas probabilidades são dadas por:

$$\alpha = P(\bar{X} > LSC \text{ ou } \bar{X} < LIC | \mu = \mu_0) \quad (56)$$

$$\beta = P(LIC \leq \bar{X} \leq LSC | \mu \neq \mu_0) \quad (57)$$

Os valores dessas probabilidades dependem da quantidade de erros padrão (sigmas) considerados na construção das cartas. No caso do padrão 3 sigmas, estando o processo estável, a probabilidade de \bar{X} ocorrer na região fora de controle é de 0,0027, sendo possível então a ocorrência o erro tipo I, isto é indica processo fora de controle, quando na realidade é um alarme falso (RIBEIRO JR., 2013), (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Porém na prática, o processo pode sofrer alterações em termos de média e o valor dessa

probabilidade tende a aumentar (MONTEGOMERY, 2004). Para um padrão 2 sigmas essa probabilidade aumenta para 0,0455, diminuindo a região de aceitação de H_0 o risco de alarme falso aumenta. Para Navidi (2012), existe uma proximidade entre gráfico de controle e testes de hipóteses. Um ponto que caia fora da região de controle aponta evidências contra a hipótese nula. Caso seja um ponto acidental, que não evidencia falta de controle no processo, ele é denominado de alarme falso. Pode ocorrer também de um processo realmente estar fora do controle e não apresentar ponto médio fora dos limites. Ocorre então o que se denomina falha de detecção.

A frequência com que esses pontos ocorrem pode ser determinada observando o número médio de amostras retiradas (ARL – *Average Run Length*), antes que um ponto caia fora dos limites, ou número médio de amostras até um alarme falso (NMAF). Evidente que quanto maior o valor dessa média, menor é a possibilidade de incidência de não conformidade ou defeito, fornecendo uma medida da confiabilidade do processo em produzir itens dentro dos limites de controle (ALMAS, 2003). A distribuição de probabilidades do número de amostras (L) que antecedem um alarme falso segue o modelo geométrico cuja média é $1/p$, onde p é a probabilidade de ocorrência do evento, no caso o alarme falso (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). A expressão matemática desse modelo é dada por:

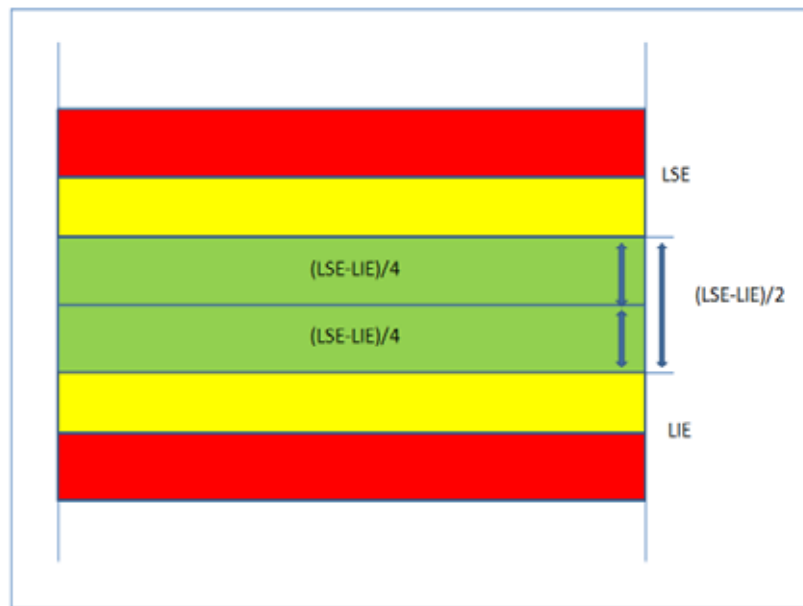
$$P(L=d) = p \cdot (1-p)^{d-1} \quad d= 1, 2, 3, \dots \quad (58)$$

No estudo do CEP tem-se o parâmetro $p = \alpha$, resultando em média $1/\alpha$, a qual indica, em média, ocorrência de alarme falso a cada 370 ($1/\alpha = 1/ 0,0027$) amostras sucessivas analisadas. Ocorrido o alarme, importante é entender que os gráficos de controle fornecem sinais para possíveis intervenções no processo.

2.6.2 Pré Controle

Segundo Toledo *et al.* (2013) ele é recomendado nos casos em que o processo é altamente capaz e estável, deve estar sob controle estatístico (TOLEDO; ALLIPRANDINI, 2004). É um tipo pouco usual de carta que é representado por um gráfico dividido por faixas que indicam se a característica da qualidade está dentro ou fora da meta estipulada pela empresa. Segundo Juran (2005) as faixas são divididas e mostradas em 3 cores: verde, amarelo e vermelho, indicando respectivamente, Aceitação, Alerta e Rejeição. Os valores limites para essas regiões são construídos em função da tolerância de especificação do projeto, para a característica da qualidade em estudo (Figura 4). Um critério para início do pré-controle é a ajustagem inicial, consistindo na observação de 5 itens consecutivos e os mesmos estarem localizados na região de aceitação (verde).

Figura 4 – Gráfico de Pré-controle



Fonte: Adaptado de Toledo *et al.*, (2013)

Bhote (1992), apresenta regras para tomadas de decisões. Com o processo ajustado se dois itens inspecionados consecutivamente caírem na região de aceitação (verde), a decisão é continuar normalmente a produção. Se pelo menos um item estiver na região de rejeição, ações corretivas são necessárias sendo as peças produzidas no intervalo analisadas. Feita a correção deve-se retomar a regra inicial. Se um ou dois estiverem na região de alerta, o operador deve inspecionar mais 3 itens, sendo que se os 3 estiverem na região de aceitação, o processo deve seguir normalmente. Se os três itens estiverem na região de alerta, providenciar ações corretivas retornando após, à primeira regra. Se dos dois ou mais itens estiveram na região de rejeição ajustes devem ser feitos no processo, retornando após a regra 1. O autor relata ainda sobre a periodicidade das medições, definindo-as em função do tempo de ajuste ou correção ocorrida para sanar o defeito no processo.

Essa carta tem a função de auxiliar a tomada de decisão no chão de fábrica, tornando possível aplicar ações preventivas, se o gatilho foi atingido (faixa amarela), para que o LSC não seja alcançado e aplicar ações corretivas se o indicador estiver na faixa vermelha. Para tal, as cartas de controle, as ações preventivas e corretivas devem ser de conhecimento de todos, sendo visíveis e se encontrando próximas ao local de monitoramento. Também é recomendado que revissem os valores estipulados para meta e gatilho (Toledo *et al.*, 2013).

2.6.3 Efeitos da violação da condição de normalidade dos dados

Alexandre (2007), afirma que a suposição de normalidade, quando não atendida, pode levar a uma análise incorreta em relação à capacidade do processo. Com isso, pode-se avaliar

um processo como capaz, quando, na realidade, encontra-se incapaz e outras vezes pode classificá-lo como incapaz sendo ele capaz. Ou mesmo em termos dos limites de controle, ele pode ser classificado como fora de controle, quando na realidade está sob controle.

Esse problema ocorre porque existem várias outras distribuições não-normais como: *gamma*, *lognormal* e *Weibull* que não são identificadas e transformadas antes da construção das cartas de controle (GONÇALEZ E WERNER, 2009).

Para Werkema (2006), existem duas situações importantes sobre essa questão: afirma que os limites de controle são pouco influenciados pela violação da suposição de normalidade, podendo ser empregados caso a população não seja proveniente de uma distribuição muito diferente da normal; indica ainda que, geralmente os grupos racionais são compostos de 4 ou 5 elementos, sendo que, em termos de média, seriam suficientes para assegurar a aproximação de uma distribuição normal no caso da construção dos gráficos de controle. Porém Alwan e Roberts (1995) apud Ribeiro Jr (2013) afirmam que para validar as interpretações das cartas de controle é necessário que os valores da variável-resposta *Y* sejam independentes e se comportem de acordo com o modelo de distribuição normal.

Murherjee e Chakraborti (2012) relatam que os gráficos de controle não paramétricos podem ser o caminho a percorrer na prática, quando não é razoável supor uma distribuição paramétrica específica, tal como o modelo normal. Isto pode acontecer quando a suposição de distribuição é insustentável por causa da teoria, da falta de conhecimento ou informação disponível sobre os dados.

2.7 OUTROS TIPOS DE GRÁFICOS PARA CONTROLE

Gráficos de controle de Shewhart são extremamente úteis na primeira fase de implementação do CEP (construção do modelo), no qual o processo é provável que esteja fora de controle e experimentando causas especiais, resultando em grandes mudanças nos parâmetros monitorizados. A principal desvantagem das cartas de controle de Shewhart no monitoramento da segunda fase, onde o processo já pode ter sofrido intervenções com diminuição da variabilidade, é que as mudanças passam a ser relativamente insensíveis a pequenas alterações de processo (ou pequenos desvios/variabilidade no processo). Este inconveniente é devido ao fato de que em cada amostragem de tempo *t* ele usa apenas a informação contemporânea, ignorando qualquer informação potencial contida em amostras do passado (*t-1*, *t-2*,...). Os gráficos de controle das CUSUM (*Cumulative Sum* – Somas Acumulativas) e os gráficos de controle EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average* –

Média Móvel Ponderada Exponencialmente) são as melhores escolhas para o monitoramento de processos sujeitos a essas pequenas variabilidades, pois podem ser mais rápidos para sinalização de pequenos desajustes (FERRER, 2009).

2.7.1 Gráfico de Controle das Somas Acumuladas – CUSUM

Quando um processo tem sua média alterada, dependendo da dimensão dessa mudança, o gráfico de Shewhart necessita de certo número de amostras (ARL) em análise, até que o processo seja definido como fora de controle. Um procedimento para diminuir esse tempo é considerar as diferenças acumuladas entre o valor observado ($n=1$) e o valor alvo. Acumulando os desvios a partir da linha central os pontos gerados terão um comportamento ascendente (ou descendente) que excederá um limite de controle mais rapidamente do que em um gráfico para a média (NADIVI, 2012)

Para Castagliola e Maravelaskis (2011) esse gráfico tem sido amplamente utilizado para monitorar a variabilidade. No entanto no Brasil, conforme Alves e Samohyl (2006), apesar de seu impacto econômico no monitoramento de processos, estes gráficos são pouco explorados em diversos aspectos no meio acadêmico e sua utilização prática ainda é pequena.

O gráfico CUSUM tem a função de guardar informações acumuladas de todos os pontos ao longo do tempo. Assim, são capazes de detectar com mais facilidade pequenos desvios da média de um processo, trabalhando com um número médio de amostras menor do que fariam os tradicionais gráficos de Shewhart (ALVES; SAMOHYL, 2006).

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), o estado do processo é informado por meio do CUSUM a partir das amostras que são retiradas, sendo que os desvios de \bar{X} em relação ao valor-alvo μ_0 são acumulados, tal qual mostra a expressão:

$$S_i = \sum_{j=1}^i (\bar{X}_j - \mu_0) \quad (59)$$

Onde, \bar{X}_j representa a média da j -ésima amostra de tamanho $n \geq 1$.

Dessa forma, ainda segundo o autor, é possível observar que, enquanto a média do processo estiver relacionada ao alvo, os desvios positivos ($\bar{X} > \mu_0$) serão compensados pelos desvios negativos ($\bar{X} < \mu_0$). No entanto, se alterar, diminuir (ou aumentar) a estatística S_i decrescerá (ou crescerá) indefinidamente. Assim, o gráfico se baseia em informações históricas do processo, não sinalizando um possível desajuste de imediato.

O gráfico CUSUM é dividido em duas regiões que são conhecidas como ação e controle, sendo que seu limite superior é positivo e o inferior é negativo. Para sua

interpretação deve-se observar se o valor de S_i ultrapassa os limites de controle do gráfico, indicando uma tendência que mostra quando ocorreu o desajuste no processo (ABBASI, 2012).

Costa; Epprecht; Carpinetti (2012) dizem que para facilitar o cálculo para construção do gráfico utiliza-se um Algoritmo das Somas Acumuladas, que opera com as quantidades a seguir (caso em que $n = 1$):

$$S_i^+ = \max\{0, X_i - (\mu_0 + d) + S_{i-1}^+\} \quad (60)$$

$$S_i^- = \max\{0, (\mu_0 - d) - X_i + S_{i-1}^-\} \quad (61)$$

Sendo:

$$S_0^+ = S_0^- = 0 \quad (62)$$

Onde, S_i^+ indica deslocamentos para mais e S_i^- , para menos da média, X_i representa a i -ésima observação do processo, μ_0 é o valor alvo e $d = |\mu_1 - \mu_0|/2$. É ainda definida uma quantidade $K = h \cdot \sigma_x$, com h , em geral igual a 5, sendo este utilizado para a definição dos limites de controle. Quando S_i^+ ou S_i^- for maior que K o algoritmo sinaliza ocorrência de alteração significativa da média.

2.7.2 Gráfico da Média Móvel Ponderada Exponencialmente – EWMA

A carta de controle da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) é outra alternativa ao gráfico de Shewhart, sendo útil para detectar pequenos desvios da média do processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2012). Esse gráfico foi introduzido por Roberts em 1959 e é usado para detectar mudanças persistentes em um processo. A principal vantagem é que ele é capaz de detectar, rapidamente, pequenas mudanças. Assim, séries de publicações sobre o monitoramento da variação do processo, usando um gráfico EWMA têm aparecido na literatura (MARAVELAKIS; CASTAGLIOLA, 2009).

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), o EWMA é utilizado, geralmente, com observações individuais. Considera que a observação mais recente deva ter peso diferente das anteriores. A estatística que representa esse conceito é indicada por Y_i , sendo:

$$Y_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Y_{i-1} \quad (63)$$

$$\text{Com variância } \sigma_{Y_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (64)$$

Onde, $0 < \lambda \leq 1$, e $Y_i = \mu_0$ que representa o valor-alvo ou valor médio em controle de X ; o σ^2 representa a variância da variável X . Sendo assim, a linha média e os limites de k -sigma do gráfico de EWMA são calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\widehat{LSC} = \mu_0 + k\sigma_0 \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)[1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (65)$$

$$\widehat{LM} = \mu_0 \quad (66)$$

$$\widehat{LIC} = \mu_0 - k\sigma_0 \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)[1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (67)$$

À medida que λ se aproxima de 1, os valores representantes das amostras se aproximam dos valores correspondentes, que ocorrem no gráfico de Shewhart. Valores usuais são: $k=3$ e $\lambda=0,2$ (RIBEIRO JR., 2013).

Onde, o σ_0 representa o desvio padrão do processo em estado de controle.

É possível observar que conforme i aumenta, a quantidade de $[1 - (1 - \lambda)^{2i}]$ tende à unidade e os limites do gráfico tendem para (POZZOBOM, 2001):

$$\widehat{LSC} = \mu_0 + k\sigma_0 \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)} \quad (68)$$

$$\widehat{LIC} = \mu_0 - k\sigma_0 \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)} \quad (69)$$

2.7.3 Controle Estatístico Multivariado de Processos

O CEP torna-se mais complexo quando existem mais variáveis de monitoramento que são adicionadas, para controlar variações menores no processo, podendo levar à sobrecarga de informação para os operadores do processo. O controle estatístico de processo multivariado (MSPC) propostos por Wise e Gallagher (1996) e Mac Gregor *et al.* (1994), pode superar esse problema. Em MSPC, técnicas de análise multivariada de dados são usadas para comprimir o número de variáveis em alguns componentes e apresentar as observações em algumas parcelas com regiões de confiança. Isso proporciona a possibilidade de incluir um grande número de variáveis no sistema de supervisão e ainda manter uma visão global de conjuntos de dados de processos enormes (RAMAKER *et al.*, 2004).

2.8 ROTEIRO PARA A CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE

Segundo Toledo *et al.* (2013), para criar condições necessárias para a aplicação dos gráficos de controle, independente do gráfico a ser construído, é importante considerar os passos a seguir:

1. Conscientizar e treinar as pessoas envolvidas no processo;

2. Definir o processo com as possíveis interações com outras operações ou processos;
3. Padronizar o produto, os insumos e o processo;
4. Escolher as características de qualidade a serem monitoradas;
5. Definir sistema de medição e sua capacidade para a característica de interesse;
6. Escolher etapas, atividades, do processo para as medições;
7. Escolher o tipo de gráfico que será usado;
8. Coletar os dados, após definir periodicidade e tamanho dos subgrupos;
9. Escolher padrão para os limites de controle do gráfico;
10. Calcular os limites e a linha média do gráfico;
11. Construir o gráfico;
12. Analisar o estado, a estabilidade do processo, por meio de interpretação da distribuição dos pontos, ao longo do tempo nos gráficos;
13. Determinar a capacidade do processo, após ele ter atingido o estado de controle;
14. Identificar a necessidade de correções no processo e no gráfico e implantá-las, antes de iniciar a rotina do uso dos gráficos de controle como suporte ao monitoramento do processo.

Segundo Kume (1993), para a construção dos gráficos de controle é necessário percorrer as seguintes etapas (que o autor exemplifica em função de cartas para a média e amplitude):

- Etapa 1: coletar dados;
- Etapa 2: calcular a média de cada subgrupo (\bar{x});
- Etapa 3: calcular a média global ($\bar{\bar{x}}$);
- Etapa 4: calcular a dispersão de cada subgrupo (amplitude-R, desvio padrão-S);
- Etapa 5: calcular a média da dispersão total (\bar{R}, \bar{S});
- Etapa 6: calcular os limites de controle dos gráficos;
- Etapa 7: traçar os limites de controle no plano cartográfico;
- Etapa 8: marcar os pontos de cada subgrupo;
- Etapa 9: escrever itens necessários, relevantes ao processo como: nome do processo, produto, período, método de medição, condições de trabalho, turno, tamanho do subgrupo, etc.

2.9 BIBLIOMETRIA

Com a indispensabilidade de tornar o conhecimento em determinado assunto público e contribuir com a comunidade científica, os pesquisadores recorrem a publicações em revistas científicas, em livros e outros meios de comunicação. Desta forma, havendo a necessidade de estudar e avaliar produções científicas a bibliometria é um instrumento apropriado, pois “*é uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico*” (ARAÚJO, 2006, p. 12). Já para Guedes e Borschiver (2005) a Bibliometria “*é um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos da Ciência da Informação*”. Para Costa *et al.* (2012) ela “*é uma técnica quantitativa e estatística para medir índices de produção e disseminação do conhecimento, bem como acompanhar o desenvolvimento de diversas áreas científicas e os padrões de autoria, publicação e uso dos resultados de investigação*”. Segundo Ferreira (2010), esta técnica é importante para a ciência, pois possibilita análises mais complexas e diversificadas que um simples levantamento estatístico.

Ainda segundo Ferreira (2010), as principais leis bibliométricas são: Lei de *Bradford*, (produtividade de periódicos), Lei de *Lotka* (produtividade científica de autores) e Leis de *Zipf* (frequência de palavras). A lei de *Bradford* possibilita o pesquisador estimar o nível de relevância do periódico em determinada área do conhecimento, considerando que quanto mais o artigo for citado sobre um assunto, espera-se maior nível de relevância (qualidade) sobre o tema. A lei de *Lotka* supõe que autores de maior prestígio publicam mais em áreas de seu conhecimento. A lei de *Zinf* permite estimar a frequência de palavras relevantes para determinadas áreas do conhecimento, como palavras-chave ou termos de indexação que ocorrem com mais frequência nos textos científicos (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

3 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho aborda um Estudo de Caso em uma empresa do setor alimentício e análise Bibliométrica de alguns artigos científicos publicados em bases de dados citados abaixo. Os objetivos propostos envolvem tanto análise quantitativa como qualitativa, pois no estudo de caso foram considerados dados de variáveis contínuas e, na pesquisa bibliométrica foram tratados aspectos relativos a atributos e valores numéricos. Visando os objetivos este trabalho foi desenvolvido considerando três etapas. Na primeira etapa foi realizada revisão bibliográfica sobre o tema qualidade e especificamente sobre Controle Estatístico de Processo (CEP), pesquisando opiniões de diversos autores sobre a aplicação dessa ferramenta. Na segunda etapa realizou-se uma pesquisa investigativa com uma amostra de artigos científicos relatando casos de aplicação do CEP em empresas oriundas de fontes acadêmicas (bibliometria). Segundo Fonseca (2002), essa pesquisa refere-se à busca de teorias publicadas objetivando obter informações sobre um problema específico que se deseja estudar. Neste trabalho optou-se pela análise de 100 artigos versando sobre casos aplicados em empresas brasileiras e 10 artigos internacionais, todos relativos ao tema CEP. Ressalte-se que os 10 artigos internacionais escolhidos foram utilizados apenas no sentido de mostrar as mesmas características observadas nos artigos brasileiros, porém sem a pretensão de comparações mais detalhadas e decisivas.

Estes artigos foram buscados em bases de dados como Scopus, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), *Web of Science* e outras fontes na área de Engenharia de Produção publicados no período de 2006 a 2014. Para os artigos internacionais, no *Web of Science* foram consideradas as palavras-chave “ *Control Charts + real data + case study*” sendo escolhidos aqueles que de fato abordavam o CEP. O preponderante nesta pesquisa é o teórico/conceitual, com “discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais” (MIGUEL, 2010, p. 65).

No estudo desses artigos, sobre CEP, foram categorizados os setores industriais onde os casos foram estudados, bem como se as empresas tinham algum programa de controle de qualidade. Foram descritos os principais detalhes desses estudos de casos presentes nos artigos científicos sobre CEP, tais como; os tipos de gráficos de controle utilizados, o estudo da capacidade do processo e, anotando os tempos necessários para essas realizações. Procurou-se ainda associar as informações definidas nos “métodos” e utilizadas nos “resultados” dos artigos. Dentre os detalhes observaram-se a definição dos subgrupos racionais, sua dimensão e a quantidade deles considerada na análise do processo. Verificaram-

se ainda como as interpretações dos gráficos foram conduzidas pelos autores e se os objetivos foram alcançados em vista das “conclusões” relatadas. Na “revisão” anotaram-se os autores nacionais e internacionais mais citados nesses artigos. Ao final, esses dados são comparados e discutidos em função das opiniões de autores citados na revisão bibliográfica da primeira etapa.

Na terceira etapa discorre-se sobre CEP em função de um estudo de caso em uma empresa do setor alimentício da cidade de Bauru. Segundo Gil (1991), esse método de pesquisa permite o amplo conhecimento do fato de interesse.

O estudo de caso foi realizado em conjunto com discentes do curso de engenharia de produção da Unesp de Bauru. O item em destaque é uma “massa para pastel” cujo produto final é uma embalagem composta por 17 discos, medindo cada disco 14cm de diâmetro, separados por lâminas plásticas, sendo que para o cliente final, cada disco gera “um pastel”. Esse produto tem peso líquido na embalagem dado por 500g. Atualmente a empresa utiliza controle que consiste na pesagem de 5 produtos de 30 em 30 minutos. Outra variável que o setor da qualidade monitora é a espessura do disco (mm), porém, é utilizado apenas para ajuste dos cilindros que compõem os equipamentos, não resultando em anotações para controle.

Nesse estudo de caso a característica de interesse monitorada é a variável peso (g) cuja especificação considera o intervalo de tolerância [511; 526], já contando o peso das 17 lâminas plásticas (11g). Essa especificação foi elaborada em função da ocorrência de produtos com peso líquido inferior a 500g, gerando possibilidade de conflitos com órgãos fiscalizadores. O intervalo para os pesos exigidos pelo INMETRO, segundo a empresa, é de 496g a 525g. Na realidade a empresa utiliza um gráfico de “pré-controle” para observar o comportamento individual dos pesos. Foi nesse contexto que o estudo de caso foi introduzido na empresa pelo grupo de alunos da Unesp.

A partir de maio de 2013 amostras periódicas foram coletadas na linha de produção, cujo fluxograma é apresentado em 4.2.1. Inicialmente foi obtida uma amostra com 40 itens (Anexo 4) que foram retirados em grupos de 5 a cada 30 minutos, a fim de se conhecer o modelo que melhor representa o comportamento da variável peso em termos de média e desvio padrão. Esta análise possibilitou discussões sobre a variabilidade do processo (que já era do conhecimento dos colaboradores da empresa) e a necessidade de manutenção ou troca de componentes (cilindros).

Mesmo sem mudanças nos equipamentos foi retirada uma nova amostra em agosto de 2013 para a construção de cartas de controle. Consideraram-se 19 subgrupos com 4 itens

cada, coletados de 15 em 15 minutos, sem considerar a ordem dos discos no cilindro. Os dados são apresentados no Anexo 5. Foram construídas cartas para conjuntos de média e amplitude, média e desvio padrão, mediana, valores individuais, EWMA, bem como para somas cumulativas (CUSUM). Outra desconfiança quanto a variação dos pesos relacionavam-se com a influência das 5 posições dos discos (4.2.1., Figura 05).

Para verificar tal possibilidade, em setembro de 2013, outras amostras foram extraídas, consistindo na observação de 25 subgrupos com 5 itens para cada posição, resultando nos dados apresentados no Anexo 6 e discutidos nos resultados. A partir de 25 observações em cada posição foram ainda construídas cartas para valores individuais. Tomando em conjunto os 125 valores relativos às 5 posições, isto é, uma amostra de tamanho 625. Em seguida construiu-se um Histograma a fim de observar o comportamento da variável peso e sua relação com os limites de especificação o que possibilitou inclusive verificar a capacidade do processo. Ainda em função dessa amostra foram feitas estimativas de perda de massa e conseqüentemente aumento de custos. Valores descritivos dessa amostra obtida, em setembro de 2013, são comparados com da amostra inicial coletada em maio de 2013. Para a comparação de grupos de pesos foi utilizada a Análise de Variância seguida do teste de Tukey, considerando nível de significância de 5% (COSTA NETO, 2002).

Para a organização, processamento, construções gráficas e análise dos dados foram utilizados recursos dos softwares Excel e MiniTab.

4 RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS

Foram estudados 100 artigos científicos publicados em revistas (Revista Produção, Revista Gestão da Produção e Revista Ciência Animal Brasileira) e anais de congressos (SIMPEP, ENEGEP, SIMPOI, CONBREPRO, CNEG, EMEPRO, CONEPRO, SIMEPRO, SEPRONE e SEGET) cujos temas envolviam a aplicação de técnicas do controle estatístico de processos (CEP) em empresas brasileiras. Também, 10 artigos internacionais publicados em revistas (*Expert Systems with Applications; J. Am. Soc. Mass Spectrom; Int. J. Adv. Manuf. Technol; Qual. Quant; Computers & Industrial Engineering; Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics; Computational Statistics and Data Analysis*). A descrição sobre os conteúdos dos métodos, das revisões bibliográficas, autores mais citados, palavras-chave mais frequentes, instituições mais frequentes, resultados e conclusões constantes desses artigos são apresentados e posteriormente discutidos em vista das orientações e conceitos observados na literatura sobre o controle estatístico do processo e outros procedimentos usuais no estudo do controle da qualidade.

4.1.1 Características observadas sobre as empresas nos artigos pesquisados

Nos artigos foram observadas inicialmente as seguintes características: O fato das empresas possuírem ou não algum tipo de certificação; o setor a que elas pertencem; a situação problemática observada que originou o projeto; se já havia algum tipo de controle estatístico e, detalhes como software utilizado no CEP e procedimentos amostrais.

Do total de artigos nacionais apenas 2 relataram que a empresa possuía certificação ISO. Em um trabalho foi mencionado que a empresa não possuía nenhum tipo de certificação, sendo que os demais não destacaram tal fato.

O ramo de alimentos foi o mais procurado (24) para aplicação dos estudos de caso relacionados ao CEP, seguido do setor metalúrgico/siderúrgico que figurou com 17 empresas e o farmacêutico representado por 14 empresas, como mostra a Tabela 3. Os serviços envolvem empresas do setor de transportes rodoviário, aéreo e da saúde (como hospitais).

Tabela 3– Setores das empresas do estudo de caso nacionais

<i>Setor</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Alimentício	24	24,0
Metalúrgico e Siderúrgico	17	17,0
Farmacêutico	14	14,0
Gráfico	8	8,0
Serviços	8	8,0
Têxtil	6	6,0
Plástico	6	6,0
Elétron-eletrônico	5	5,0
Alcooleiro	4	4,0
Cerâmico	3	3,0
Ambiental	3	3,0
Químico	2	2,0
Total	100	100,0

Fonte: Autora

Já para os 10 artigos internacionais, nenhum relata qualquer tipo de certificação ISO. O setor que mais apareceu nos estudos de casos foi o Metalúrgico/Siderúrgico presentes em 3 artigos, seguido do setor químico abordado em 2 artigos, conforme Tabela 4.

Tabela 4– Setores das empresas do estudo de caso internacionais

<i>Setor</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Metalúrgico e Siderúrgico	3	30,0
Químico	2	20,0
Farmacêutico	1	10,0
Serviços	1	10,0
Ambiental	1	10,0
Não relata	2	20,0
Total	10	100,0

Fonte: Autora

Dos 100 artigos nacionais em 10, os autores indicam que as empresas já faziam algum tipo de controle estatístico, sendo que em 3 delas o CEP estava implantado, porém sem especificar o tempo de operação. Nos outros 7 os autores dos artigos relatam algum tipo de controle básico, tal como folha de verificação dentre outros. Desses artigos, 4 possuíam equipe na área de qualidade, sendo que apenas uma relatou a utilização de um software (*InfinityQS SPC*) para apoio do funcionamento do CEP. Nessas dez empresas, o controle por meio de amostras periódicas consideravam tempos entre coletas de dados de: 30 minutos (2%), 10 a 20 minutos (2%), 1 a 2 vezes por semana (2%), 1 vez por dia (2%), 1 hora (2%).

Em relação aos 10 artigos internacionais nenhum relata sobre o CEP já implantado na empresa, e se havia algum tipo de controle, se utilizavam algum software para controlar a produção, o tempo que o CEP estava em funcionamento, se havia alguma equipe responsável e como realizavam suas coletas.

Quanto à questão que levou a realização do estudo de caso, em termos de controle estatístico, em 82 artigos dos nacionais ficou muito claro o objetivo da aplicação do CEP, sendo que 15 realçaram o aspecto didático do estudo, 62 a melhoria da qualidade em algum setor da empresa e 5, a respeito do funcionamento de algum tipo de controle estatístico já implantado. Esperavam-se nos textos introdutórios dos artigos, relatos detalhados envolvendo o termo variabilidade. Isto ocorreu em 84% dos artigos. Nos demais, pouco se comentou em termos de variabilidade ou se utilizou de outras expressões.

Já nos 10 artigos internacionais observa-se que a realização do estudo, relacionado ao CEP, ocorre em função da variabilidade do processo, sendo que 5 artigos demonstram uma preocupação didática e 3 artigos destacam claramente a questão da melhoria da qualidade.

4.1.2 Em relação ao descrito nos “métodos” dos artigos pesquisados

Observando o tópico “métodos” em cada artigo, apenas um trabalho não emprega o estudo de caso. Neste os autores discorrem sobre a construção de cartas de controle utilizando dados de um livro técnico.

Quanto ao período para as coletas de todas as amostras verificam-se que mais da metade dos trabalhos nacionais (65%) não relatam sobre este tempo, sendo mais frequentes os tempos de até 3 meses (17%). Ainda aparecem trabalhos com tempo de coleta superior a 12 meses (3%) que ocorrem quando o artigo analisa o CEP por meio de observações únicas mensais. Esses tempos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de coleta dos dados nos trabalhos científicos nacionais

<i>Tempo de Coleta (meses)</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Até 3	17	17,0
3 à 6	5	5,0
6 à 12	10	10,0
Acima de 12	3	3,0
Não relata	65	65,0
Total	100	100,0

Fonte: Autora

Referente aos artigos internacionais, dos 10 pesquisados 7 não relatam o período de coleta de amostras, sendo que o tempo mais frequente observado de coleta é o superior a 12 meses, expresso em 2 artigos como na Tabela 6.

Tabela 6 – Tempo de coleta dos dados nos trabalhos científicos internacionais

<i>Tempo de Coleta (meses)</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Até 3	0	0,0
3 à 6	1	10,0
6 à 12	0	0,0
Acima de 12	2	20,0
Não relata	7	70,0
Total	10	100,0

Fonte: Autora

Na Tabela 7 são apresentados os softwares usados nesses trabalhos científicos brasileiros, onde é possível observar que os mais utilizados são: o MiniTab (25,7%), Excel (16,5%) e o R (6,4%). Estes softwares também são utilizados em conjunto, como o MiniTab com o Excel, o Excel com o R, o MiniTab com o SAS, o *Infinity SPC* com o R, entre outros.

Tabela 7 – Tipos de software utilizados nos trabalhos científicos sobre CEP

<i>Software</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem(%)</i>
MiniTab	28	25,7
Excel	18	16,5
R	7	6,4
Outros	9	8,3
Não relatam	47	43,1
Total	109	100,0

Obs: O total é maior que 100 devido a artigos que indicaram mais de 1 software.

Fonte: Autora

Nos artigos internacionais observa-se que apenas 1 relata o software utilizado para realização da pesquisa, conhecido como *Skyline* com interfaces do R.

Além da fase inicial do CEP, 31 artigos nacionais propõem a realização da Capacidade do Processo no estudo de caso. Convém destacar que um desses artigos não concretizou o estudo da capacidade do processo.

Também foi observado, no Método, as características da qualidade em análise nos trabalhos (Tabela 8). Observa-se que as mais utilizadas são: o peso (29%); as químicas - como o pH e porcentagem de cloro, entre outras (15%) - ; o tempo (7%), e a espessura (7%); a contagem - contagem de defeitos, entre outras - (10%). Esta análise mostra-se bem diversificada, pois no item “Outras”, observam-se características menos comuns entre os trabalhos: comprimento, densidade, pressão, largura, resistência, temperatura, diâmetro, volume, proporção e volts.

Tabela 8 – Características de qualidade em Análise nos trabalhos científicos

<i>Características em Análise</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Peso	29	29,0
Medidas (químicas/biológicas)	15	15,0
Contagem	10	10,0
Tempo	7	7,0
Espessura	7	7,0
Outras	32	32,0
Total	100	100,0

Fonte: Autora

Nenhum dos artigos internacionais comenta sobre Capacidade do Processo. Referente às características de qualidade analisadas nos artigos, as mais frequentes são as químicas presentes em 4 artigos, seguida do diâmetro estudado em 2 artigos e da contagem (usadas em gráficos de atributos), conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Características de qualidade em Análise nos trabalhos científicos internacionais

<i>Características em Análise</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Medidas (químicas/biológicas)	4	40,0
Diâmetro	2	20,0
Contagem	2	20,0
Altura	1	10,0
Peso	1	10,0
Total	10	100,0

Fonte: Autora

Foram verificados os artigos nacionais que relataram sobre o tamanho e quantidade de subgrupos para a construção das cartas de controle (no Método). O tamanho do subgrupo (n) foi observado somente em 43 artigos, sendo que os mais relatados foram de $n=5$ em 16% dos trabalhos, seguido de $n=6$ em 7% dos casos e, outros tamanhos ($n=50, 20, 25, 9, 10, 8, 4, 3, 1$) em 20% dos casos. Restaram 57 trabalhos que não relataram o tamanho dos subgrupos coletados. A informação sobre a quantidade de subgrupos (m) foi dada por 50 trabalhos, os quais apresentaram 29 opções para m (variando de 5 a 145). O mais frequente entre os 50 trabalhos foi $m=25$, presente em 7 trabalhos; seguido de $m=30$, em 6 e $m=60$ em 4 trabalhos. Interessante citar que 19 dos trabalhos tinham m variando de 11 a 47 (exceto 25, 30 e 60, já contados). Destaque-se que nas referências bibliográficas dificilmente se encontra quantidade de subgrupos diferentes de 20 ou 25. Outros 4 artigos relatam a quantidade de subgrupos superiores a 100. Metade dos trabalhos (50) não apresentou essa informação, porém em alguns essa quantidade podia ser detectada por meio de contagem no gráfico apresentado nos “resultados”.

A periodicidade da coleta das amostras, disposta na Tabela 10, apresentou-se diversificada nos trabalhos científicos nacionais, porém em 62% deles não foi relatada. Dos 38 trabalhos restantes os mais frequentes relatam coletas em intervalos de mais de 180 minutos (15 trabalhos) e até 30 minutos em 11 dos trabalhos. Assim, em relação aos 38 trabalhos os percentuais para esses dois casos são, respectivamente, 39,5% e 29%.

Tabela 10 – Periodicidade da coleta das amostras nos trabalhos científicos nacionais

<i>Periodicidade</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Até 30 minutos	11	11,0
30 até 60 minutos	6	6,0
60 até 180 minutos	6	6,0
Mais de 180 minutos	15	15,0
Não relata	62	62,0
Total	100	100,0

Fonte: Autora

Nos 10 artigos internacionais, 07 relatam sobre a quantidade de subgrupos (m), sendo mais frequente $m=200$, presente em 2 artigos. Os 5 restantes se distribuem em, $m=12, 15, 22, 56, 100$. O tamanho do subgrupo mais relatado é $n=1$ encontrados em 4 artigos. Os outros artigos mencionam n diferentes (como $n=5, 10$ e 11) apresentados em 3 artigos e, 3 não mencionam o tamanho do subgrupo. Em relação à periodicidade encontrada em 6 artigos, 2 relatam a coleta a cada 1 hora, 2 coletam mensalmente, 1 coleta a cada 30 minutos e 1 coleta 1 vez por dia, porém 4 artigos não mencionam a periodicidade.

4.1.3 Referencial teórico dos artigos científicos – Análise bibliométrica

Dentre os temas abordados na revisão bibliográfica destacam-se os conceitos, de forma geral, sobre gestão da qualidade, controle estatístico, cartas de controle, capacidade do processo, não-normalidade dos dados, amostragem e sobre outras cartas de controle como CUSUM, EWMA e suas variações.

Observou-se que dos 100 trabalhos nacionais 6 não apresentaram nenhum conceito sobre a gestão da qualidade, 22 não mostraram conceitos sobre cartas de controle. Em relação à capacidade do processo foram 43 comentários, sendo que 31 dos artigos tinham como objetivo a determinação da capacidade do processo. Apenas 12 trabalhos relataram a “não normalidade” dos dados, 95 não falaram sobre amostragem, 27 comentaram os conceitos de CUSUM, EWMA ou suas variações. Ainda pode se observar que 15 trabalhos discutiram sobre auto correlação e ARIMA, 4 sobre o CEP multivariado e 7 comentaram sobre a ARL (comprimento médio de corrida), implantação do CEP e inspeção.

Ainda em relação aos 100 artigos pesquisados os autores de livros nacionais mais referenciados sobre o tema resultaram em 213. Entre eles o mais citado foi Costa, Epprecht e Carpinetti (2005) presentes em 36 trabalhos, após, a autora Werkema (1995) relatada em 21 artigos, Vieira (1999) consta em 12 artigos, Paladini (2008) citado em 10 artigos, Ribeiro e Caten (2011) presentes em 9 trabalhos, Campos (1994) em 9 artigos e Ramos (2000) citado em 8 trabalhos.

Dentre os autores de livros internacionais foram observadas 153 citações destes nos artigos nacionais, sendo os mais referenciados: Montgomery (2004) citado em 65 trabalhos; seguido de Slack *et al.* (1999) citado em 21 trabalhos, Juran (1996) relatado em 16 artigos, Deming (1990) em 11 artigos e Shewart (1931) citado em 9 trabalhos.

Verificaram-se também autores de artigos que mais foram citados nos 100 trabalhos analisados, sendo eles internacionais como: Alwan e Roberts (1988) encontrados em 3 trabalhos e Haworth (1996) presente em 3 trabalhos. E nacionais como: Alencar *et al.* (2005) encontrados em 7 trabalhos, Costa, Epprecht e Carpinetti (1994) presentes em 4 trabalhos e, Pedrini e Caten (2011) em 4 trabalhos.

Já nos 10 artigos internacionais observa-se que todos relatam no referencial teórico o CEP. Em 7, ocorrem citações sobre a não normalidade dos dados, 8 abordam sobre ARL (comprimento médio de corrida), 3 comentam sobre o CUSUM, 4 descrevem sobre EWMA e MEWMA, 2 sobre o CEP multivariado, 1 sobre Redes Neurais Artificiais e 1 relata sobre o Teste da razão de verossimilhança (GLRT). Nota-se que em nenhum deles é mencionada a capacidade do processo, porém um deles comenta sobre cartas de controle não paramétricas.

Referente aos autores de livros mais citados nos 10 artigos internacionais, os mais frequentes foram: Montgomery (2005) presente em 4 artigos, Burr (2005) em 2 artigos, Jensen (1995) em 2 artigos e Ryan (1989) em 2 artigos. E foram encontrados 161 artigos citados nos 10 artigos analisados, os mais citados foram: Altukife (2003) em 2 artigos; Bersimis, Psarakis e Panaretos (2007) em 2 artigos; Chakraborti e Wiel (2008) em 2 artigos; Chakraborti, Laan e Bakir (2001) em 2 artigos; Das (2008) em 2 artigos; Domangue, Patch (1991) em 2 artigos; Luo, Li e Wang (2009) em 2 artigos; Maravelakis, Panaretos e Psarakis (2005) em 2 artigos; Shu e Jiang (2006) em 2 artigos; Stoumbos e Renolds (2000) em 2 artigos; Woodall e Montgomery (1999) em 2 artigos e Zhang, Li e Wang (2009) em 2 artigos.

4.1.3.2 Frequência das palavras-chave, instituições e países

As palavras-chave, indicadas abaixo do “Resumo”, mais frequentes nos artigos nacionais analisados são: Controle estatístico de processo presentes em 51 trabalhos, seguida

de Qualidade, em 18 trabalhos, Gráfico de controle encontrado em 17 trabalhos e Cartas de controle contidas em 10 trabalhos. No total foram encontradas 187 palavras-chave diferentes nos 100 artigos nacionais estudados.

As instituições que mais figuraram nos 100 artigos nacionais analisados foram: Universidade Federal do Rio Grande do Sul com 10 trabalhos, seguida da Universidade Federal Fluminense com 8 trabalhos, Universidade Federal do Rio Grande do Norte com 8 trabalhos, Universidade Federal de Santa Catarina com 6 trabalhos e Universidade de Santa Maria com 6 trabalhos. No entanto, no total, foram encontradas 63 instituições diferentes que publicaram os artigos pesquisados.

Para os artigos internacionais as palavras-chave que mais ocorreram foram: Controle estatístico do processo encontrada em 6 artigos, Cartas de controle presente em 5 artigos e ARL em 4 artigos. No total foram encontradas 38 palavras-chave.

Nos 10 artigos internacionais utilizamos a localização dos países ao invés da instituição a fim de tornar mais fácil o entendimento. Dos 10 artigos internacionais 3 eram escritos por pesquisadores do Irã e os 7 restantes proviam do Egito, China, Japão, Taiwan, Canadá, Estados Unidos e União Europeia.

4.1.4 Descrição dos tópicos abordados nos “Resultados”

Evidentemente as cartas de controle são os procedimentos mais frequentes observados nos trabalhos científicos nacionais, sendo que o tipo mais utilizado foi o gráfico para variáveis (*Shewhart*) com medidas contínuas (81%), seguido dos gráficos para atributos (12%). Apenas em um caso o gráfico foi elaborado com amostras com tamanho variável. Em 4 artigos não se observaram cartas de controle, pois os autores tinham como objetivo a determinação da capacidade do processo e supõe-se que devam ter considerado essa primeira fase como uma etapa já realizada e, com sucesso.

A Tabela 11 resume as frequências de utilização do tipo ou dos conjuntos de cartas. Destaque para o conjunto media e amplitude (\bar{X} - R) com 32%, sendo que carta para média (\bar{X}) isoladamente ocorreu em 15% dos casos. O conjunto de valores individuais e amplitude móvel (X-AM) com 10%, o conjunto da média e desvio padrão (\bar{X} - S) com 7%, carta *p* com 6%, carta *np* com 3%, carta *u* com 1%, carta *c* com 2%, carta de valores individuais (X) com 4 %, e outros tipos de cartas analisadas em conjunto com 12% (como carta da amplitude (R) e EWMA).

Tabela 11 – Conjuntos de cartas de controle encontradas nos artigos científicos nacionais

<i>Tipo de cartas de controle</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Média e Amplitude	32	32,0
Média	15	15,0
Valores Individuais e Amplitude Móvel	10	10,0
Média e Desvio Padrão	7	7,0
Valores Individuais	4	4,0
Carta p	6	6,0
Carta np	3	3,0
Carta c	2	2,0
Carta u	1	1,0
EWMA, CUSUM	5	5,0
Outras combinações de cartas	12	12,0
Não apresentam	3	3,0
Total	100	100,0

Fonte: Autora

Analisando somente as cartas de controle em termos de média, nota-se que a carta mais usada foi carta da média (\bar{X}) em 60% dos casos; após, a carta de valores individuais (X) em 14% dos trabalhos, a carta p em 6% dos trabalhos, média móvel em 5% dos casos e outros tipos menos observados em 6% dos trabalhos como carta c , carta np e carta u . Em termos de dispersão a carta mais comum entre os trabalhos discutidos foi a amplitude (R) em 43% dos casos, após a carta da amplitude móvel (AM) em 9% dos trabalhos, a carta de desvio padrão (S) em 9% e 8% dos trabalhos não construíram cartas para dispersão.

Observou-se que dentre os 100 trabalhos pesquisados 14 apresentam gráficos de CUSUM, EWMA, GWMA ou EWMAREG, 8 trabalhos constroem cartas de CEP multivariados como T^2 de Hotelling e 1 apresenta uma variação de cartas de controle conhecida por Gráfico por Grupos.

Dos artigos científicos 43, determinaram índices de capacidade de processo, porém apenas 31 relataram no “método” que fariam tal atividade. Desses, 32 de fato calcularam os índices C_p e o C_{pk} , 8 analisaram somente o índice C_p , 1 trabalhou somente com o índice C_{pk} e 2 não calcularam nenhum destes índices de capacidade do processo.

Foram apresentados em 20 artigos científicos os testes para normalidade dos dados. Os mais comuns são o Anderson-Darling, apresentado em 5% dos casos e, o teste de Kolmogorov-Smirnov presente em 4% dos trabalhos. Apresentaram também outros testes como Jarque-Bera, Shapiro-Wilk presentes em 4% dos trabalhos e 7 autores não relataram os tipos de testes de normalidade usados. Em 7 trabalhos dos 100 pesquisados foram apresentados testes para correlação e auto correlação (para as cartas de controle do tipo:

média, valores individuais e amplitude móvel, valores individuais, média e desvio padrão, média móvel e amplitude móvel e EMWA).

Observou-se que em 10 dos 100 artigos nacionais analisados foram trabalhados os modelos ARIMA, SARIMA, EWMA ou EWMAREG e desses 2 construíram cartas de CEP multivariado.

Uma verificação interessante é que apenas 25% dos artigos apresentaram no texto ou em anexo as séries de valores utilizados.

Dos artigos internacionais pesquisados 9 apresentaram cartas para dados variáveis e 1 para atributo. Dessas as mais realizadas foram: a EWMA multivariada (MEWMA) e a carta de controle multivariada (T^2 de Hotelling) presentes em 2 artigos cada, demonstrado na Tabela 12. Quatro artigos declaram que realizaram testes para normalidade e um realiza combinação entre cartas de controle e redes neurais artificiais. E apenas 4 apresentaram os dados utilizados na confecção dos artigos.

Tabela 12 – Conjuntos de cartas de controle encontradas nos artigos científicos internacionais

<i>Tipo de cartas de controle</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
MEWMA	2	20,0
T^2	2	20,0
Valores Individuais	1	10,0
Média	1	10,0
Amplitude	1	10,0
Carta <i>c</i>	1	10,0
CUSUM – T^2	1	10,0
CUSUM	1	10,0
Total	10	100,0

Fonte: Autora

4.1.5 Discussão sobre os artigos

Uma análise interessante envolveu a comparação dos objetivos propostos com as conclusões estabelecidas. Verificou-se que 8% dos trabalhos nacionais não apresentaram uma relação compreensível entre o objetivo inicial e conclusão, ou seja, são confusos.

Em praticamente um terço dos projetos nacionais (32%) é relatado que as empresas aceitaram as propostas apresentadas nos artigos.

As ausências de informações encontradas nos trabalhos nacionais em um total de 192, são listadas na Tabela 13. A mais comum ocorreu em relação à falta de explicação a respeito das coletas de amostras (tamanho, quantidade e periodicidade das amostras). Isto ocorreu em 35,4% dos trabalhos; 15,6% não informaram o software utilizado na pesquisa, 11,5% dos trabalhos não explicaram e/ou analisaram as cartas de controle de forma adequada. A

categoria “outras” representou 27,6% das incorreções, tais como não refazer cartas que a princípio estavam fora de controle, não apresentar carta de controle da primeira fase e realizar a análise da capacidade do processo, não observar comportamentos relevantes em cartas de controle que indicam processo fora de controle e não mostrar conexão da conclusão com os resultados.

Tabela 13 – Ausência de informações nos textos nacionais estudados

<i>Ocorrências</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Não explicam coleta de amostras	68	35,4
Não relatam software utilizado	30	15,6
Cartas de controle mal explicadas	22	11,5
Falta conceito em referencial teórico	19	9,9
Outras	53	27,6
Total	192	100,0

Obs: Total superior a 100, pois alguns artigos apresentam mais de uma observação.

Fonte: Autora

Nos 10 trabalhos internacionais nota-se que objetivo e conclusão são coerentes. Apenas 3 relatam sobre a possibilidade dos projetos desenvolvidos serem implantados pelas empresas. Sobre falhas, em 7 artigos observou-se a falta de informações sobre as empresas. Sete deles não mencionaram o software utilizado no trabalho e 4 não relatam de forma completa sobre a coleta de dados (Tabela 14).

Tabela 14 – Ausência de informações nos textos internacionais estudados

<i>Ocorrências</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Não explicam coleta de amostras	4	22,2
Não relatam software utilizado	7	38,9
Não explicam sobre a empresa	7	38,9
Total	18	100,0

Obs: Total superior a 100, pois alguns artigos apresentam mais de uma observação.

Fonte: Autora

4.2 ESTUDO DE CASO NA EMPRESA

4.2.1 Empresa e o Processo

A empresa, que será denominada como “Empresa”, pois não foi permitida a divulgação do nome real, caracteriza-se por ser familiar e de médio porte, com 256 colaboradores, ter uma matriz, um centro de distribuição com escritório comercial em uma cidade com localização estratégica a favor da logística, distribuidores e revendedores por todo o Brasil.

Os principais produtos do processo produtivo da Empresa, dentre 53 produtos, são massas frescas, recheadas e sem recheios, e conta ainda com massas secas orientais, sendo

que uma das massas frescas produzidas é a de pastel. A produção diária é de aproximadamente 750 toneladas e a principal matéria-prima é a farinha de trigo.

A Empresa atende somente o mercado interno do país, sendo que os principais clientes são grandes redes de atacado e varejo, como os grupos Pão de Açúcar, *Carrefour* e *Wal Mart*, e as redes de supermercados regionais, como as redes Confiança, Angeloni, Savegnago, entre outras.

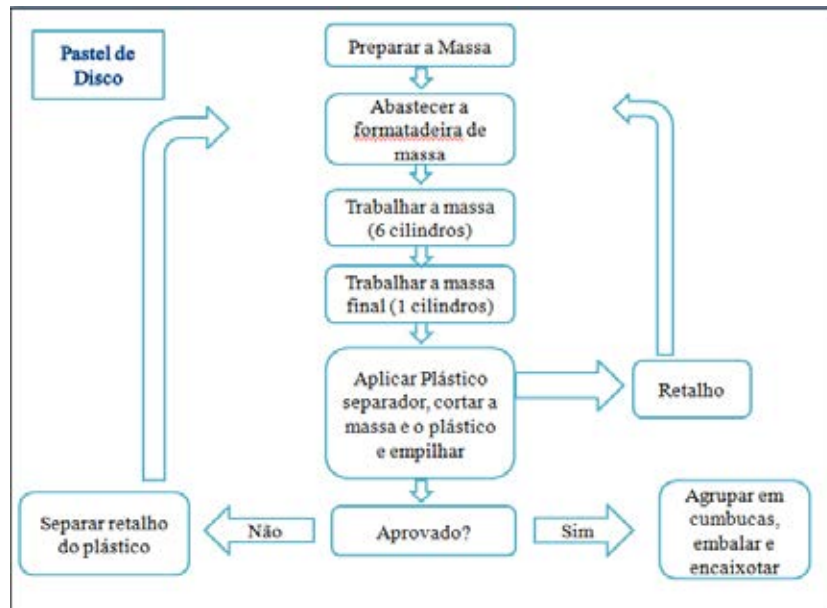
Com o intuito de refletir sobre as dificuldades de implantação do CEP e diferenças em relação à literatura com as práticas encontradas nos artigos analisados anteriormente, buscou-se realizar o estudo de caso nesta Empresa. O produto analisado é uma massa de pastel composta por 17 discos separados por lâminas de plástico. A característica da qualidade em análise é o peso (g). A escolha por esta linha decorre da sua importância, pois está em ascensão e associada ao aumento das vendas na empresa.

O processo inicia-se com a preparação da massa a qual é composta com farinha de trigo e outros ingredientes que são colocados na masseira para a homogeneização. Posteriormente, a massa é retirada e depositada em monoblocos na formatadeira, passadas de cilindro em cilindro para folhear, afinar e em seguida formar a massa do pastel. Logo após, ela é dobrada e levada para a máquina, onde será cilindrada novamente e cortada em discos grandes (14 cm de diâmetro) conforme a faca do molde. Sobre a massa, na última esteira, é colocada uma lâmina de plástico fazendo com que os discos sejam cortados com os plásticos colados a eles. Na sequência esses discos são agrupados por outra esteira em grupos de 17, separados pelas lâminas plásticas.

Em cada cilindro existe um mecanismo de controle da espessura da massa que influencia o peso. Porém, o último cilindro antes do corte dos discos do pastel é o principal controle para obter a espessura ou diretamente o peso desejado. Os dados para o presente estudo são retirados no final do processo, onde os discos de pastel já foram cortados, separados por lâminas plásticas e empilhados para a embalagem.

Um esquema da linha de produção para a massa do pastel é apresentado na Figura 5.

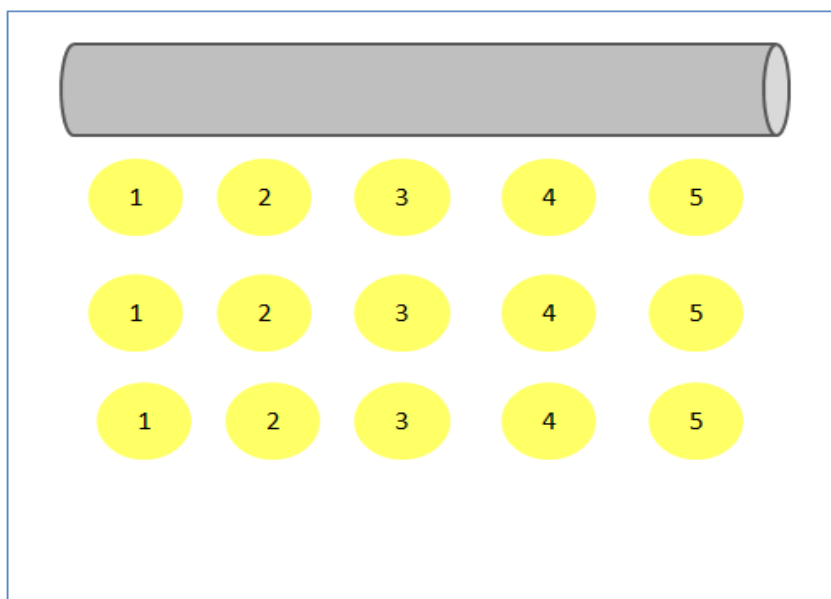
Figura 5 – Esquema do processo produtivo da linha de massa de pastel



Fonte: Autora

Depois de passar pelo último cilindro existe uma esteira que é regulada em função do tempo. Se esta esteira não estiver regulada adequadamente, pode haver diferenças na quantidade final, ou seja, grupos com mais ou menos de 17 discos em uma cumbuca. Esses conjuntos são embalados resultando nos produtos. Importante observar que esta etapa final ocorre em movimento, 3 carreiras com 5 produtos cada (Figura 6). Nesta etapa são retiradas as amostras para o controle de peso.

Figura 6 – Distribuição dos discos no final da esteira e esquema para amostragem



Fonte: Autora

A preparação do produto para o mercado envolve seis funcionários que transferem esse produto para uma cumbuca de plástico. Nesta etapa ocorre um controle visual, isto é, se a

cumbuca não está totalmente preenchida discos reservas são inseridos. Quando eles não conseguem acompanhar o ritmo desse processo ou observar falhas, como furos ou manchas na massa, enviam o produto para o retrabalho, ou descartam para o lixo, ou destinam à alimentação dos animais.

4.2.2 Análise inicial da variabilidade

Como em todos os processos produtivos a empresa também convive com os problemas de variabilidade nas características componentes de seus produtos, principalmente na variável Peso (g). Em maio de 2013, a fim de conhecer essa dispersão, foi coletado um conjunto de 8 amostras com 5 itens cada, com periodicidade de 30 minutos. O conjunto dessas amostras, 40 valores, encontram-se no Anexo 4.

A estatística descritiva para essa amostra apresentou média de 545,95g e mediana de 548g, isto pode indicar uma distribuição assimétrica negativa. Comparando com os limites de especificação (Tabela 15), inferior a 511g e superior a 526g, pode-se observar que essa média supera, inclusive, o limite superior de especificação, o que indica algo atípico em termos de controle estatístico de um processo. Já a dispersão dos dados, em termos de desvio padrão é de 26,96g, o que em vista do intervalo de tolerância é relativamente alta.

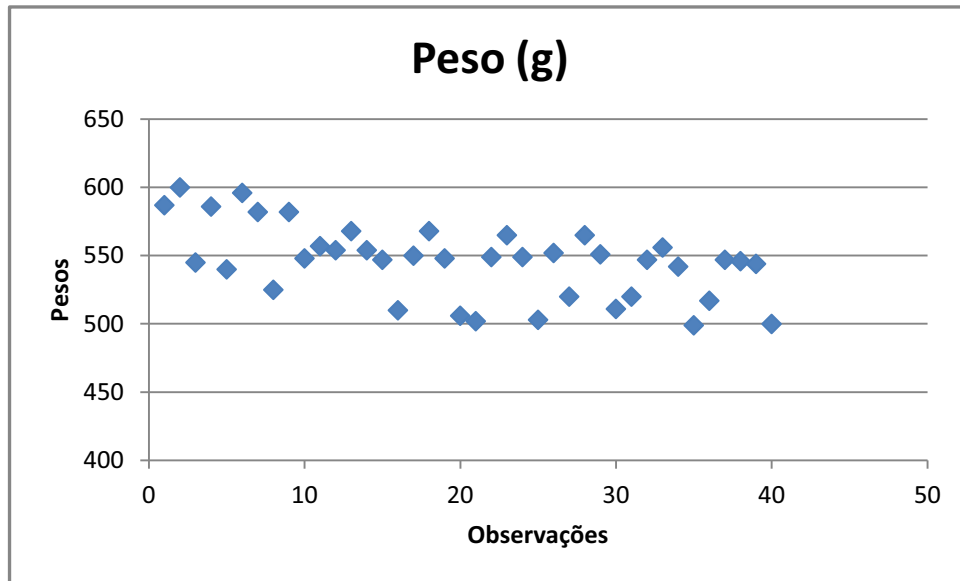
Tabela 15 – Medidas-resumo da variável peso (g) (n=40)

<i>Medidas</i>	<i>Peso (g)</i>
Média	545,95
Mediana	548,00
Desvio padrão	26,96
Amplitude do rol	101,00
Mínimo	499,00
Máximo	600,00

Fonte: Autora

O gráfico de dispersão da variável peso (Figura 7), cujas observações (40) temporais indicam uma fase inicial com pesos mais elevados, diminuindo a partir do 10º item e, em sua maioria, estabilizando em torno de 550g. Importante reiterar que a especificação superior é de 526g.

Figura 7 – Gráfico de dispersão do peso (g)

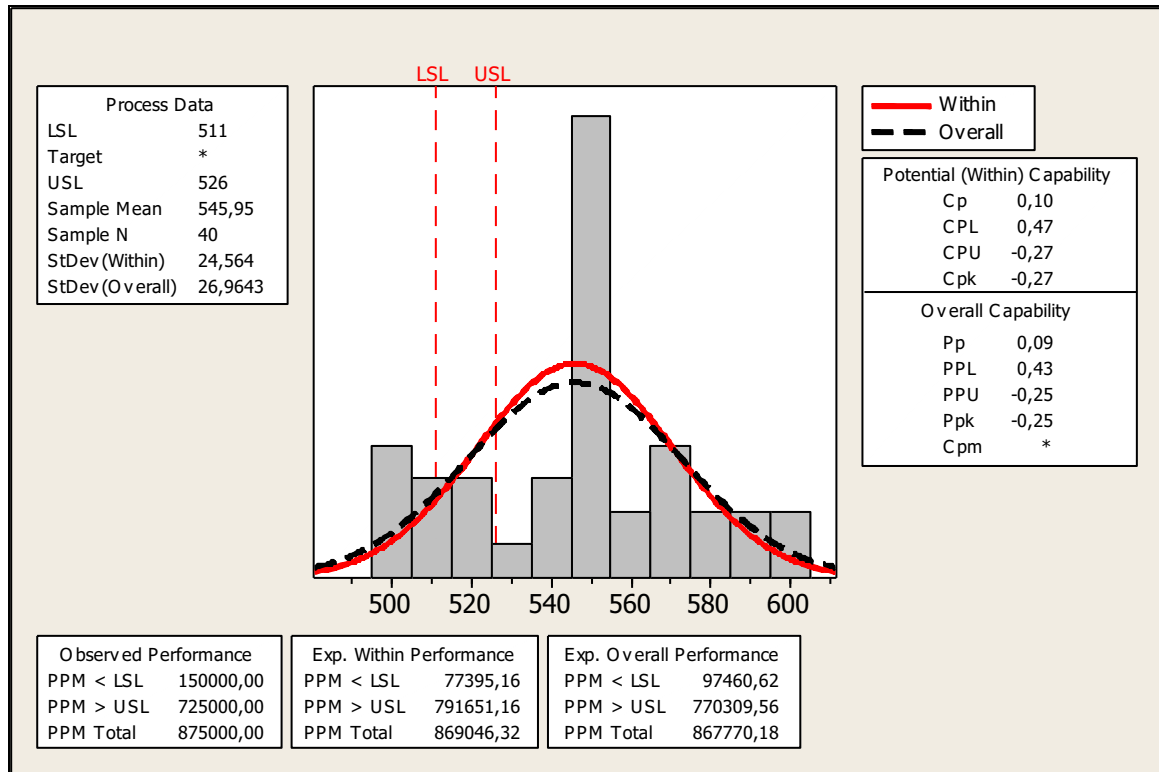


Fonte: Autora

Apesar da produção não estar estabilizada em relação à variabilidade dos pesos dos produtos, considerando os 40 valores individuais pode-se observar o comportamento desta variável e compará-la em vista dos limites especificados pela empresa [511; 526]. Para melhor visualizar essa dispersão foi construído o histograma, o qual mostra o comportamento da variável peso em relação às regiões definidas pelos limites de especificação. Observa-se na região interior aos limites um pequeno número de itens. O software MiniTab apresenta várias informações, que no caso, indicam uma situação de descontrole (Figura 8).

Entende-se que a maior preocupação da empresa é referente aos valores menores que o limite inferior (511g). Mesmo assim, para cada milhão de itens produzidos, esperam-se 150.000 com pesos inferiores a 511g. No extremo superior, acima de 526g, esperam-se encontrar 725.000 produtos para cada milhão de itens produzidos (Figura 8).

Figura 8 – Análise representativa da variabilidade do processo



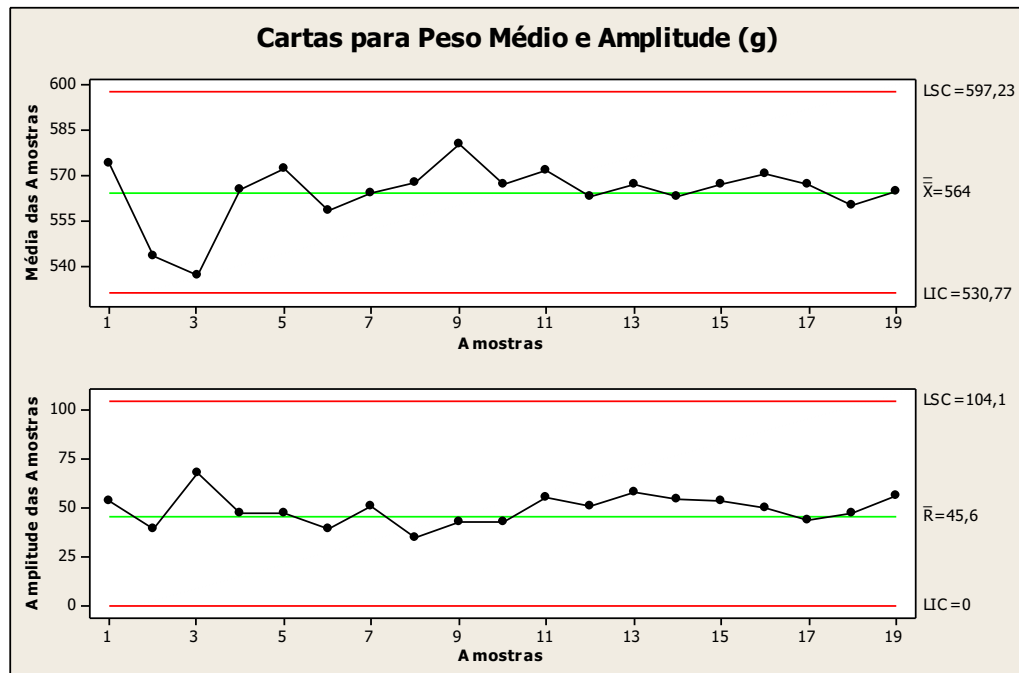
Fonte: Autora

4.2.3 Construção das cartas de controle

A amostragem inicial comprovou um processo sem controle em vista da especificação do produto. Quanto às possíveis causas, a principal, relatada pelo setor responsável da empresa refere-se ao desgaste dos cilindros. No sistema de controle da empresa 4 produtos são mensurados de 30 em 30 minutos. Em função desses resultados, um operador regula os cilindros a fim de ajustar a espessura da massa. Essas construções têm também objetivos didáticos em termos de possíveis comparações.

4.2.3.1 Cartas de controle para a média e amplitude (\bar{X} -R)

Para a determinação dos valores de referência, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), considerando os subgrupos com 4 elementos, foram utilizadas as equações (4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11), cujos resultados são mostrados nos gráficos apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Conjunto de carta de controle (\bar{X} -R)

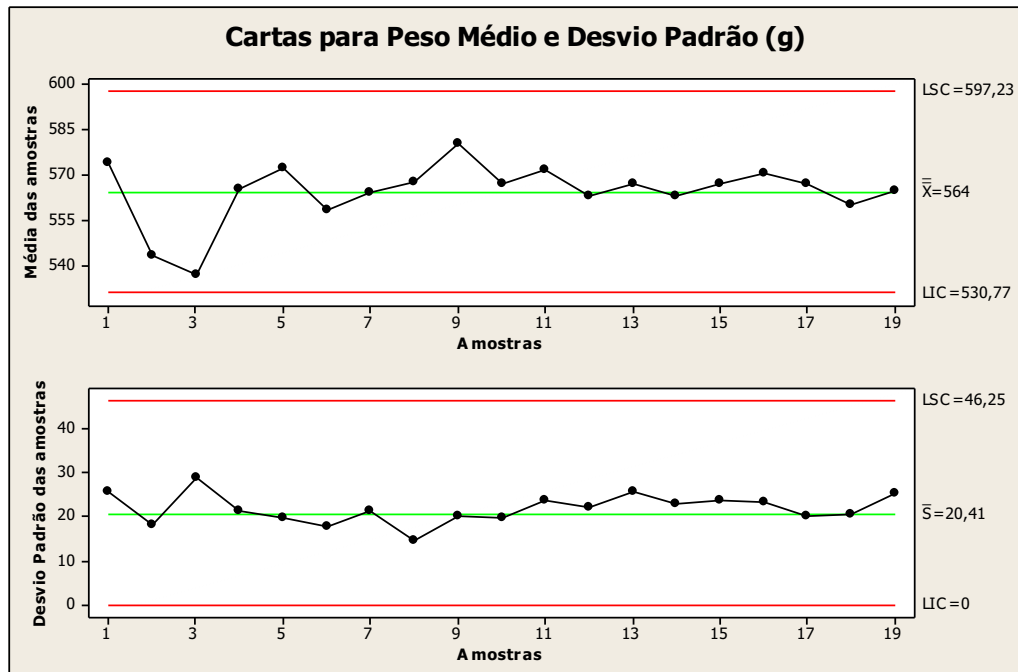
É possível verificar no gráfico da amplitude (\bar{R}) uma instabilidade no processo, podendo indicar até uma possível incapacidade, pois existe uma sequência com mais de seis pontos consecutivos que estão situados acima da linha média. É importante ressaltar que durante a produção são feitas alterações no processo produtivo à medida que os pesos das unidades amostrais ultrapassam os limites especificados (511g; 526g), isto é, se ocorrem itens com pesos acima ou abaixo desses limites, o encarregado pela manutenção realiza ajustes nas máquinas, o que acarreta perturbações no sistema. Na realidade tal controle se assemelha mais ao procedimento de “pré controle” utilizado em processo altamente capaz e estável (TOLEDO *et al.*, 2013), que não é o caso desta situação. No gráfico da média (\bar{X}) pode-se observar uma possível presença de oscilação cíclica, indicando que o processo não está sob controle estatístico. Conforme o conceito de CEP, o fato foi comunicado ao departamento de engenharia da indústria que já estava ciente do problema relacionado ao processo.

4.2.3.2 Cartas de controle para a média e desvio padrão (\bar{X} -S)

Apesar do tamanho da amostra ($n=4$) não ser recomendável para a construção desse tipo de carta, o mesmo foi elaborado a fim de comparar resultados com os gráficos apresentados em 4.2.3.1. Para a determinação dos valores de interesse, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), foram considerados os subgrupos com 4 elementos e utilizadas as equações (13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19) para a

construção das cartas. As médias e desvios padrão representativos das amostras foram plotadas resultando no conjunto de gráficos apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Conjunto de cartas de controle (\bar{X} -S)

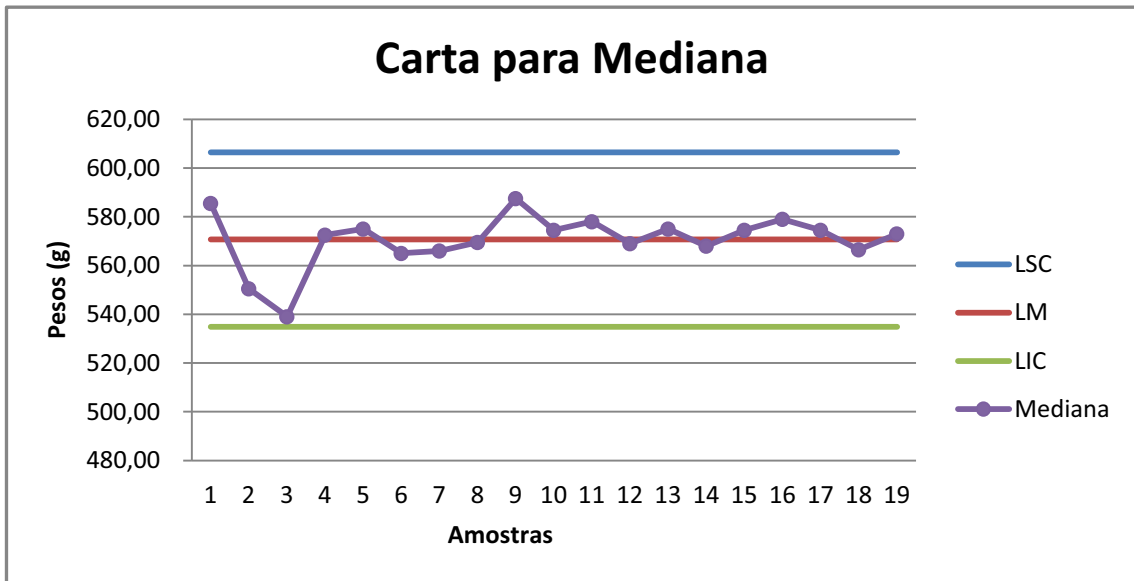


Fonte: Autora

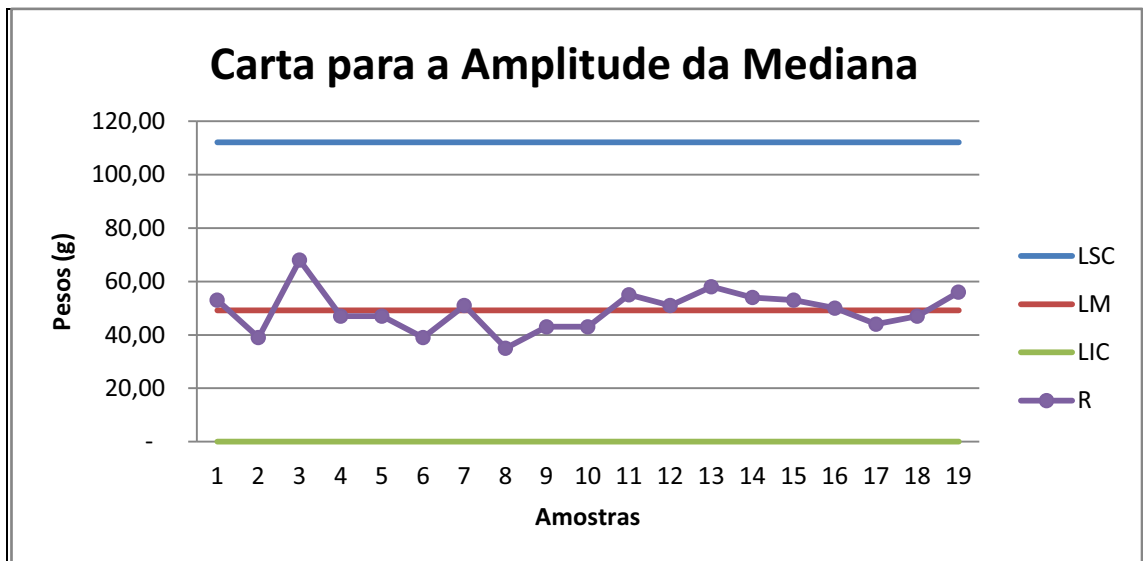
Na carta de desvio padrão (S) todos os pontos estão na faixa entre os limites de controle, porém observa-se uma sequência de pontos consecutivos (11, 12, 13, 14, 15 e 16) que se encontram acima da linha média e pontos indicando a possível existência de oscilações cíclicas. Assim como na carta de amplitude (R) os pontos têm um comportamento semelhante, apresentando as mesmas implicações. Na carta da média (\bar{X}) é possível observar novamente a amostra 3 muito próxima do limite inferior de controle (LIC) e a possível presença de oscilações cíclicas, indicando também que causas especiais podem estar afetando o processo.

4.2.3.3 Cartas de controle para a média e mediana (\tilde{X} -R)

Com objetivo semelhante ao anterior construíram-se cartas de controle para o conjunto mediana e amplitude (\tilde{X} -R) com intuito de verificar a diferença dos outros conjuntos e cartas de controle. Para a determinação dos valores de interesse, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), consideraram-se apenas os subgrupos com 4 elementos e foram utilizadas as equações (26, 27, 28, 29, 30 e 31). As medianas e amplitudes representativas das amostras também foram plotadas resultando no conjunto de gráficos apresentados na Figura 11 e na Figura 12.

Figura 11 – Gráfico de controle da mediana (\bar{X})

Fonte: Autora

Figura 12 – Gráfico de controle da amplitude em relação à mediana (R)

Fonte: Autora

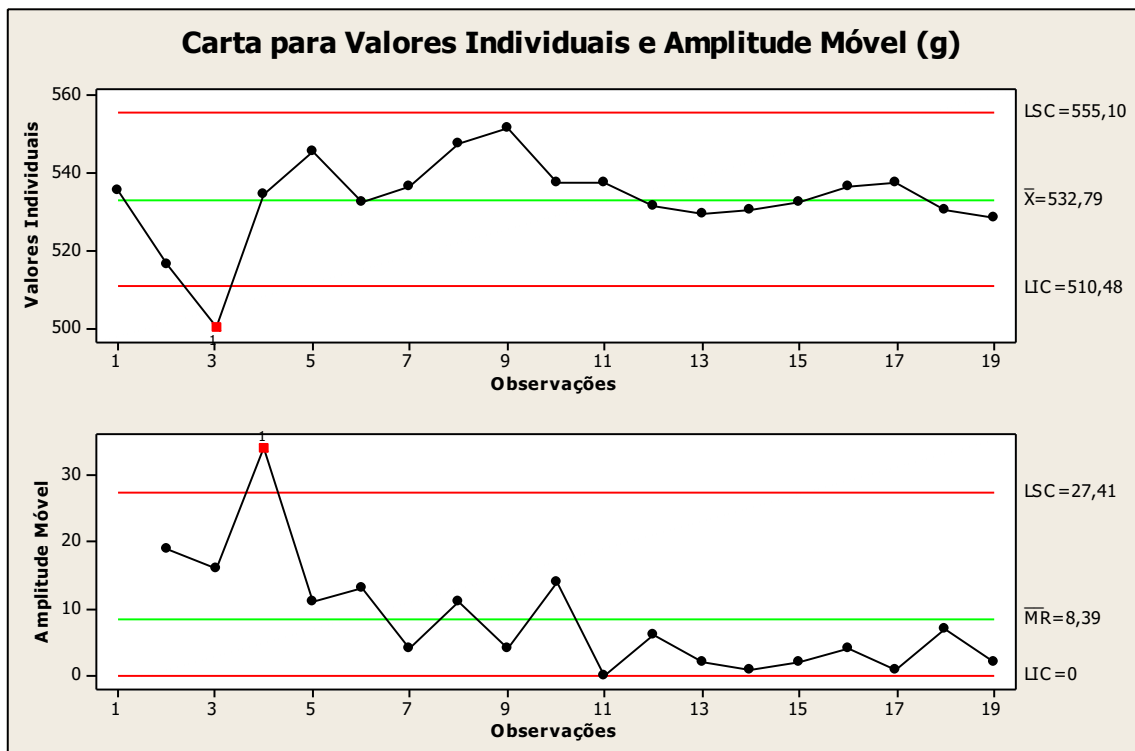
Nas cartas apresentadas pela Figura 11 e Figura 12 não existem pontos fora da região de controle, porém ainda observa-se a possível presença cíclica em ambas as cartas de controle e maior variabilidade nas primeiras amostras como nas cartas anteriores ($\bar{X} - R$), ($\bar{X} - S$). A carta para amplitude da mediana está com os pontos localizados muito próximos da linha média, pois os coeficientes utilizados para o cálculo dos limites de controle (D_3 e D_4) multiplicam mais de duas vezes o valor médio da amplitude (\bar{R}).

De qualquer forma os três conjuntos gráficos apresentados mostram resultados semelhantes.

4.2.3.4 Cartas de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM)

Na sequência construíram-se cartas de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM) com o intuito de verificar possíveis diferenças em relação aos resultados anteriores. Para a determinação dos valores de interesse, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), consideraram-se apenas observações individuais da unidade 1 e foram utilizadas as equações (20, 21, 22, 23, 24 e 25). Os valores individuais e amplitudes móveis representativas das amostras foram plotadas resultando no conjunto de gráficos apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM)

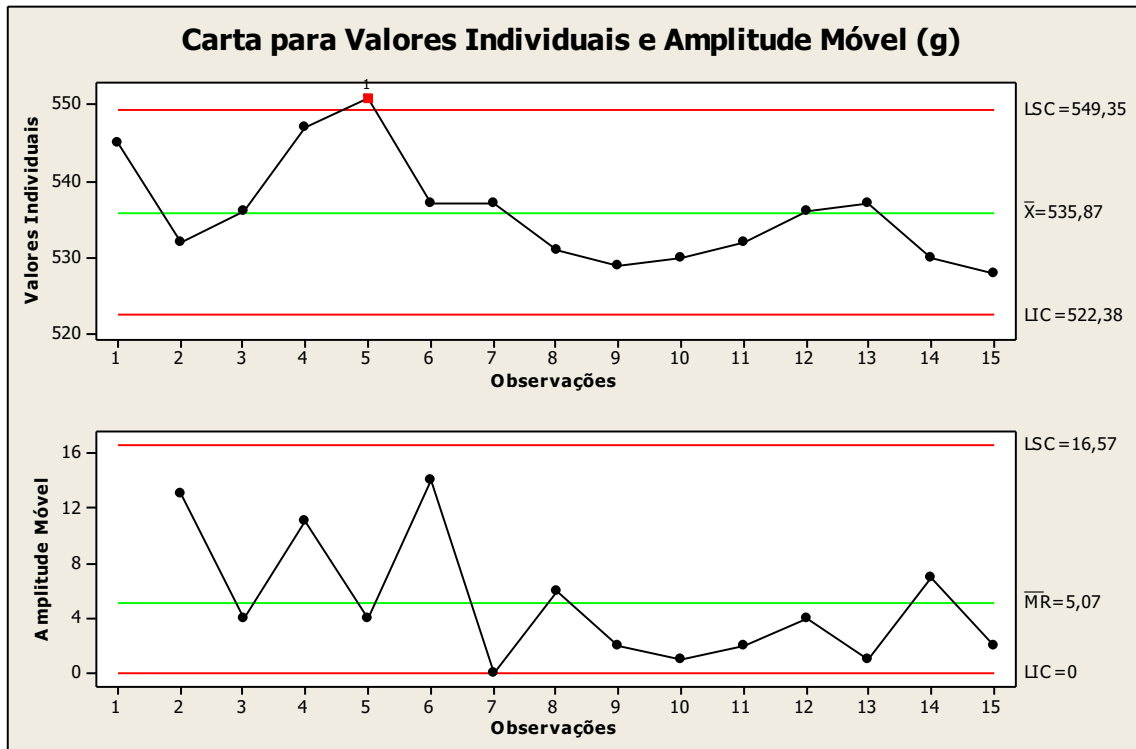


Fonte: Autora

O conjunto de cartas de controle (X e AM) apresenta um ponto (3) fora da região de controle, na carta dos valores individuais. Na carta da amplitude móvel o ponto fora corresponde à diferença entre os valores das amostras 3 e 4. Os pontos de 11 a 17 próximos a LIC indicam uma sequência de pesos com baixa variabilidade. Assim como nas cartas anteriores é possível observar que a variabilidade é maior nas primeiras amostras. Pode ser que no controle inicial da empresa, os menores valores de peso tenham despertado os operadores para o ajuste no processo. O fato foi comunicado ao setor responsável pelo controle da qualidade e refeito o conjunto de cartas de controle com 15 amostras, retirando os

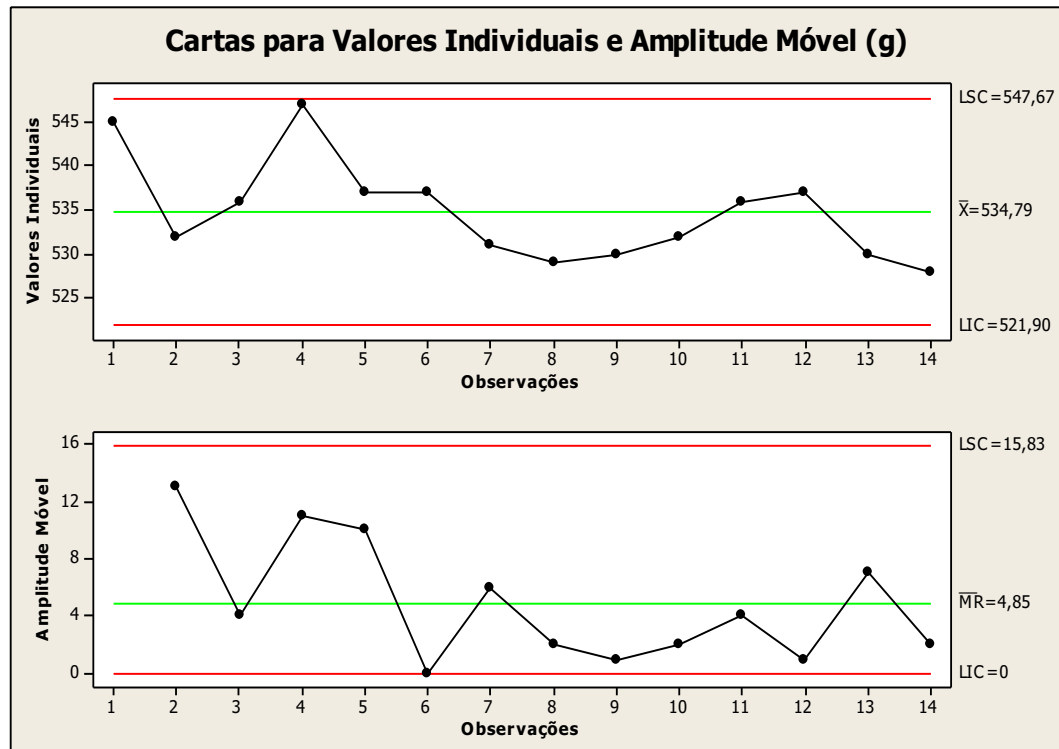
pontos 1, 2, 3 e 4. A Figura 14 apresenta a dispersão dos pontos (valores individuais e amplitude móvel) em relação à linha média e aos limites nesta nova configuração.

Figura 14 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM)



Nesta situação ainda existe ponto (5) fora da região de controle na carta de valores individuais e ainda a possível presença de oscilações cíclicas em ambas as cartas. Evidente que as regulagens sistemáticas realizadas nos cilindros influenciam na variação dos pesos. Este caso foi relatado aos responsáveis e refeito o conjunto de gráficos com 14 amostras, retirando o ponto 5. A Figura 15 apresenta a dispersão dos pontos amostrais (valores individuais e amplitude móvel) em relação à linha central e aos limites nesta nova configuração.

Figura 15 – Gráfico de controle para valores individuais e amplitude móvel (X e AM)



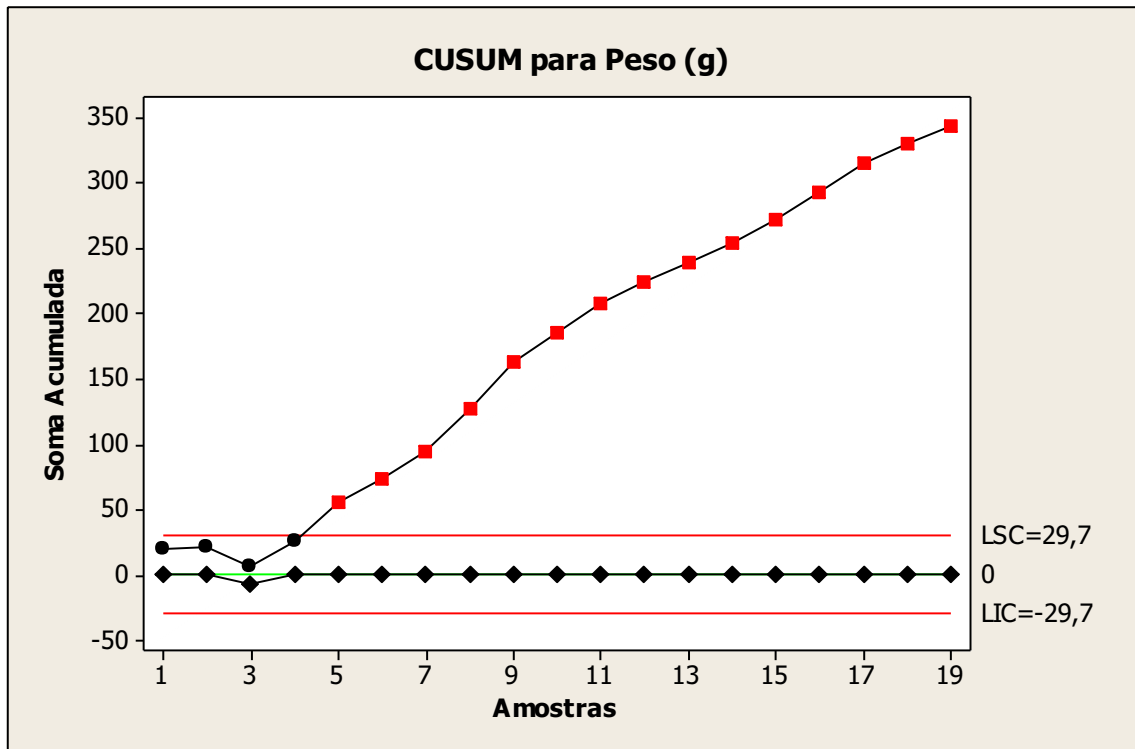
Fonte: Autora

Nessas novas cartas não ocorrem pontos fora da região de controle, porém ainda se observa a possível presença de oscilações cíclicas em ambas as cartas. Esta situação foi relatada ao setor responsável da indústria e as amostras foram então analisadas considerando as somas acumuladas do processo.

4.2.3.5 Gráfico de Controle das Somas Acumuladas – CUSUM

O gráfico de controle CUSUM foi construído com o intuito de verificar a diferença dos outros conjuntos e cartas de controle. Para a determinação dos valores de interesse, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), consideraram-se apenas observações individuais da unidade 1 e foram utilizadas as equações (61, 62, 63 e 64). As somas acumuladas representativas das amostras foram plotadas resultando no gráfico apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Gráfico de controle das somas acumuladas (CUSUM)

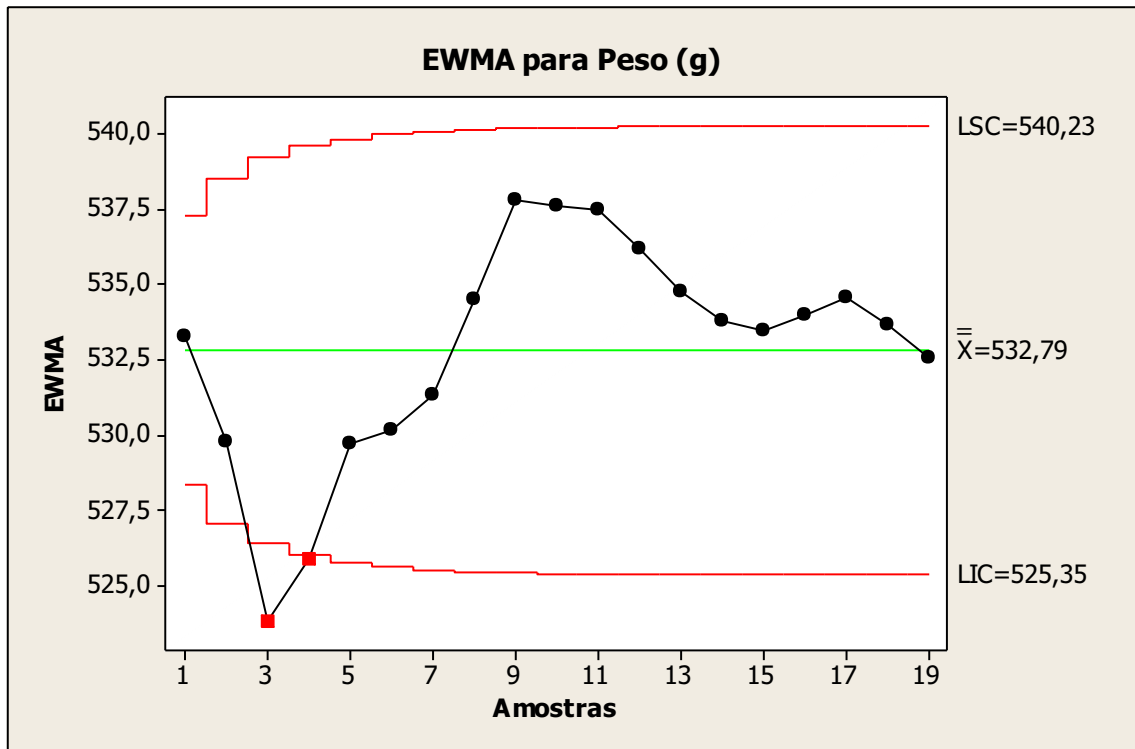


O gráfico CUSUM detecta um desajuste no processo a partir da amostra 4, pois apresenta uma tendência acima do limite superior de controle (LSC), constatando que o processo não está sob controle estatístico. De fato, pode-se observar que esse gráfico de controle sinaliza rapidamente o desajuste do processo relatado nas cartas anteriores. Esta situação foi informada ao setor responsável pela qualidade dos produtos e as amostras foram então analisadas considerando os desvios da média móvel do processo.

4.2.3.6 Cartas da Média Móvel Ponderada Exponencialmente – EWMA

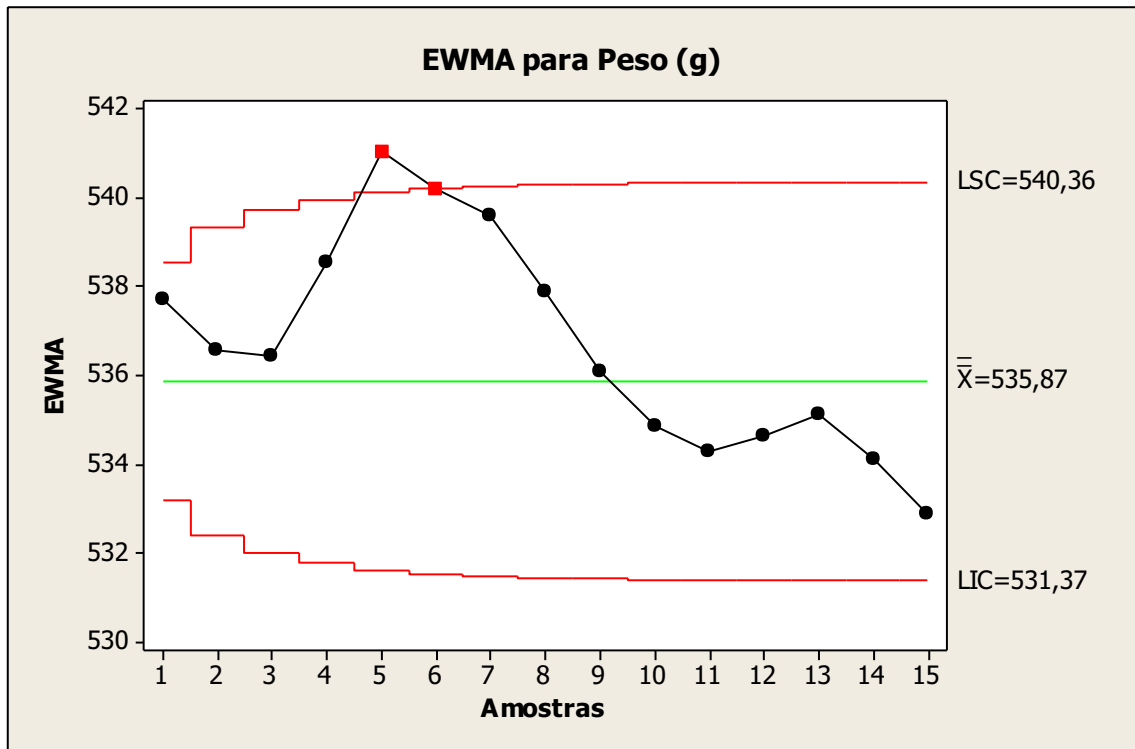
Construiu-se o gráfico de controle EWMA com intuito de verificar a diferença dos outros conjuntos e cartas de controle. Para a determinação dos valores de interesse, LSC (Limite Superior de Controle), LM (Linha Média) e LIC (Limite Inferior de Controle), foram consideradas apenas observações individuais da unidade 1 e utilizadas as equações (67, 68 e 69). As médias móveis representativas das amostras foram plotadas resultando no gráfico apresentado na Figura 17, com $\lambda = 0,20$ e $k = 3$.

Figura 17 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente (EWMA)



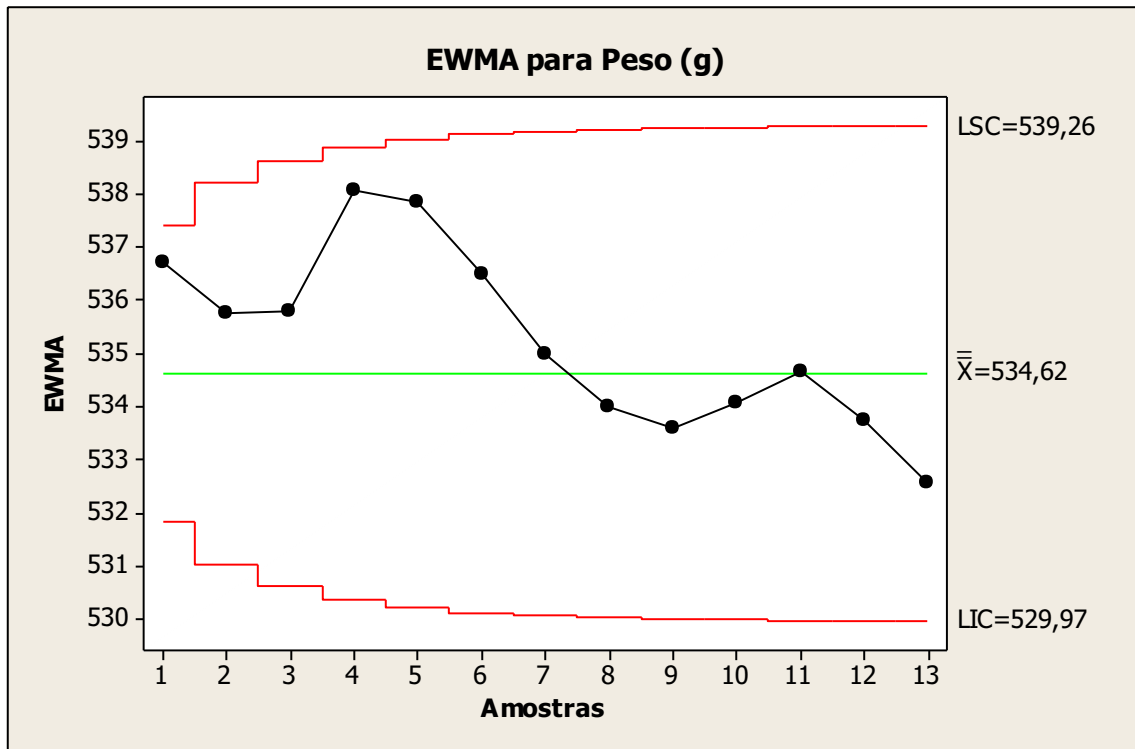
O gráfico de EWMA também mostra a característica de alta variabilidade nas primeiras amostras presente nas cartas de controle anteriores, pois existem 2 pontos (3 e 4) fora do limite inferior de controle (LIC), uma possível presença de oscilações cíclicas e mais de 6 pontos consecutivos acima da linha média a partir da amostra 8, sinalizando que o processo está fora de controle estatístico. Nesse caso, foi informado ao setor responsável o ocorrido e refeito a carta com 15 amostras, descartando os pontos fora (3 e 4) e as primeiras amostras com maior variabilidade (1 e 2). A Figura 18 apresenta a dispersão dos pontos em termos de média móvel ponderada exponencialmente, em relação à linha central e aos limites nesta nova configuração.

Figura 18 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente (EWMA)



Nesse caso, também ocorrem 2 pontos (5 e 6) fora do limite inferior de controle (LIC) e uma possível presença de oscilações cíclicas, confirmando a situação da segunda carta de valores individuais, porém com mais um ponto fora de controle e uma possível tendência a partir da amostra 7, indicando que o processo está fora de controle estatístico. Nesse caso, foi informado ao setor responsável do ocorrido e refeita a carta com 13 amostras, descartando os pontos fora (5 e 6). A Figura 19 apresenta a dispersão dos pontos em termos de média móvel ponderada exponencialmente, em relação à linha central e aos limites nesta nova configuração.

Figura 19 – Gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente (EWMA)



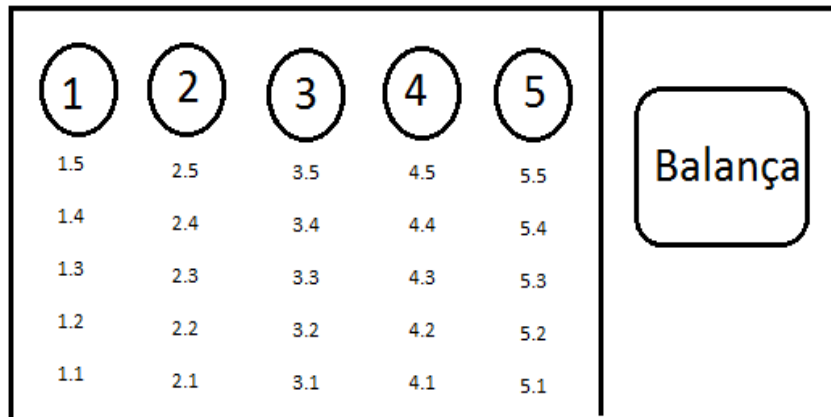
Fonte: Autora

Neste gráfico não ocorreu pontos fora da região de controle, porém nota-se que pode existir uma possível tendência a partir da 5ª observação e ainda a presença de oscilações cíclicas, indicando que o processo é muito afetado por pequenas variações. Esta situação foi relatada ao setor responsável da indústria que já estava ciente do problema nessa linha de produção. Pode-se observar que para se conseguir todos os pontos na região de controle foi necessária uma série de etapas envolvendo a retirada de pontos, o que na prática significaria intervenções no processo, que não foi o caso.

4.2.4 Análise dos pesos em função das posições dos discos

Definiu-se pela coleta de 25 amostras (Anexo 6) de tamanho 5 para cada posição de saída na esteira, coletadas em intervalos de 15 minutos. A Figura 20 mostra a disposição dos produtos e o esquema de obtenção de amostras (5) em cada posição.

Figura 20 – Esquema de coleta de amostras

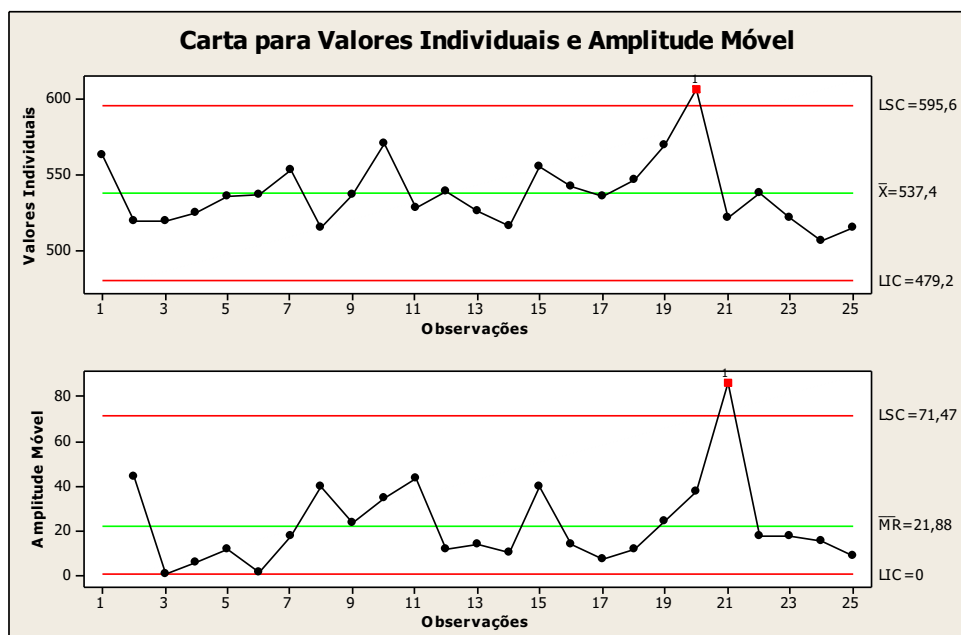


Fonte: Autora

Em vista dos resultados da amostragem anterior optou-se apenas pela construção de cartas de valores individuais e amplitude móvel. No entanto, as cartas foram construídas considerando 25 observações em cada posição, em seguida os dados foram organizados e inseridos em planilhas do Excel, sendo as cartas construídas no software MiniTab.

Para a posição 1 (Figura 21), nas duas cartas ocorre um ponto fora de controle e possíveis oscilações cíclicas. Também se observa pontos (3 e 6) sob o limite inferior de controle (LIC) na carta da amplitude móvel, porém são indicativos de baixa variabilidade. Tal qual nas cartas relativas à amostragem anterior o processo continua fora de controle. Esse fato foi comunicado ao setor responsável.

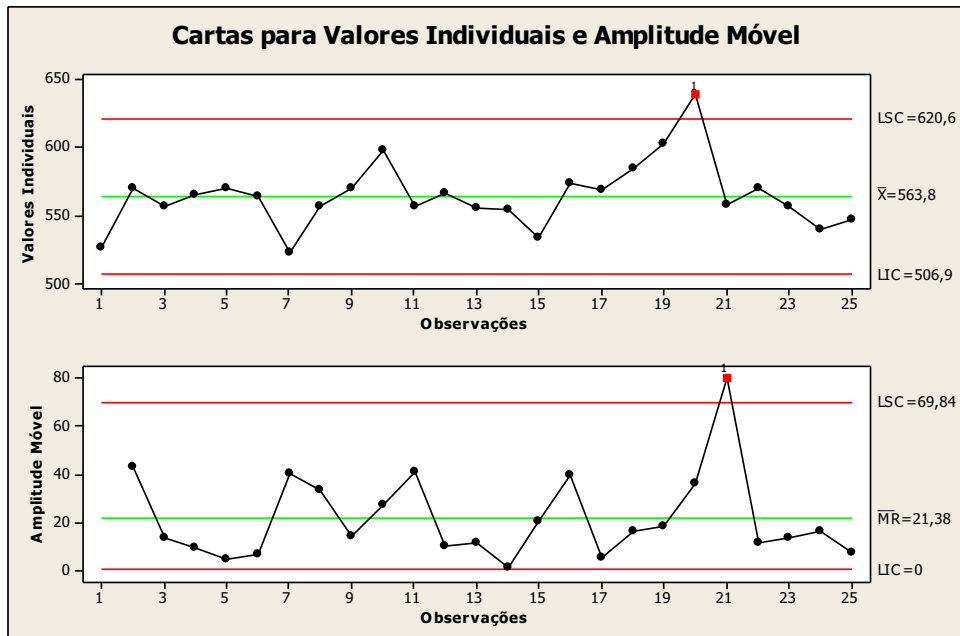
Figura 21 – Cartas para pesos da posição 1



Fonte: Autora

Para a posição 2 (Figura 22), como na posição 1, as cartas indicam um processo fora de controle pelo fato dos mesmos pontos estarem fora da região de controle e contendo oscilações cíclicas.

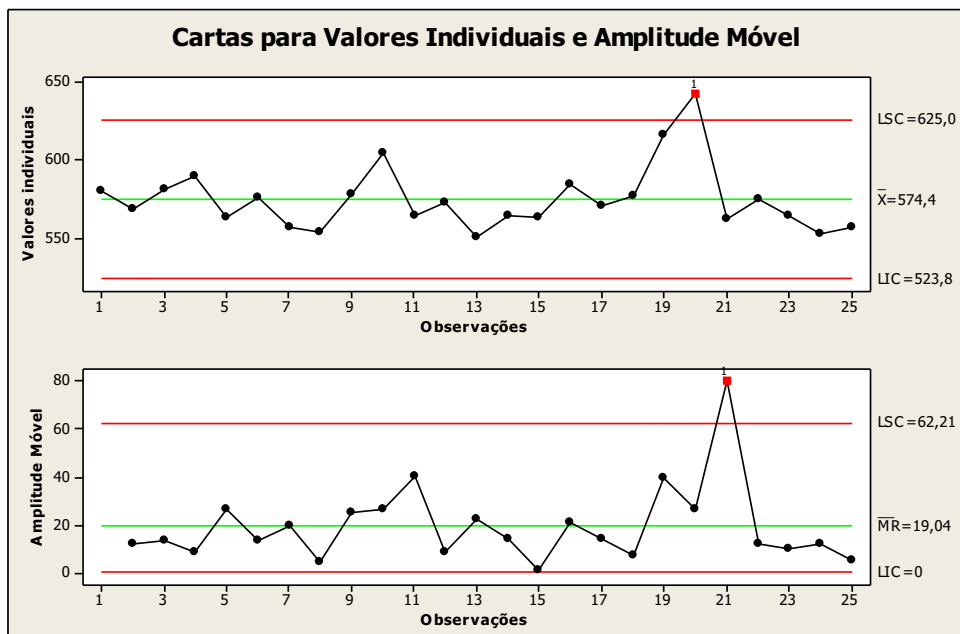
Figura 22 – Carta para pesos da posição 2



Fonte: Autora

Como nas cartas anteriores, na posição 3 (Figura 23) os mesmos pontos (20 e 21) encontram-se fora da região de controle nas duas cartas, indicando que o processo não está sob controle estatístico.

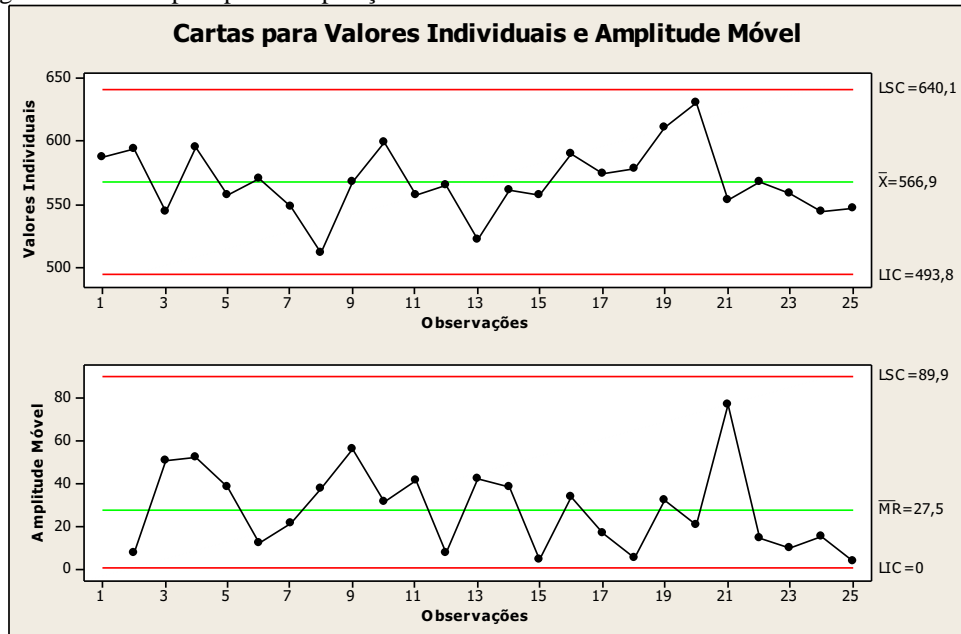
Figura 23 – Carta para pesos da posição 3



Fonte: Autora

Na posição 4 (Figura 24) as cartas não apresentam pontos fora de controle, porém na carta da amplitude móvel ainda observa-se possível presença de oscilações cíclicas e pontos muito próximos ao limite inferior de controle (LIC).

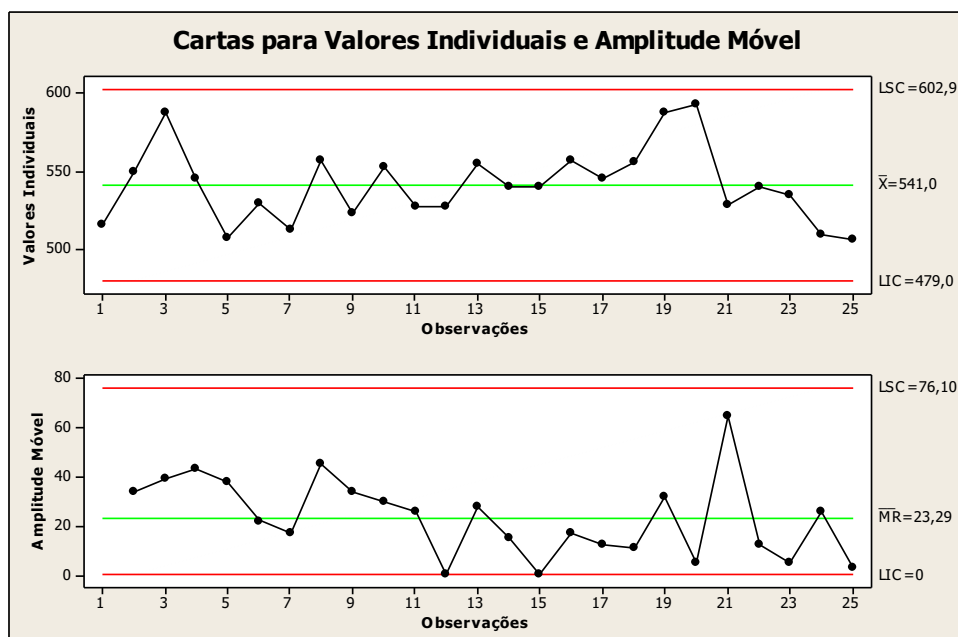
Figura 24 – Carta para pesos da posição 4



Fonte: Autora

O conjunto de cartas da posição 5 (Figura 25) é semelhante ao feito para posição 4, pois não apresenta pontos fora da região de controle, porém indicam uma possível presença de oscilações cíclicas. E na carta da amplitude móvel existem 2 pontos (12 e 15) que estão sobre a linha do limite inferior de controle (LIC). Esses pontos são resultados de itens consecutivos com o mesmo peso.

Figura 25 – Carta para pesos da posição 5



Fonte: Autora

4.3 COMPARAÇÃO DOS PESOS EM RELAÇÃO ÀS POSIÇÕES

Observando as médias e respectivos desvios padrão verificam-se nas posições laterais que os pesos têm valores menores, indicando possível irregularidade na conformação dos cilindros. A Tabela 16 e a Figura 26 resumem esses resultados.

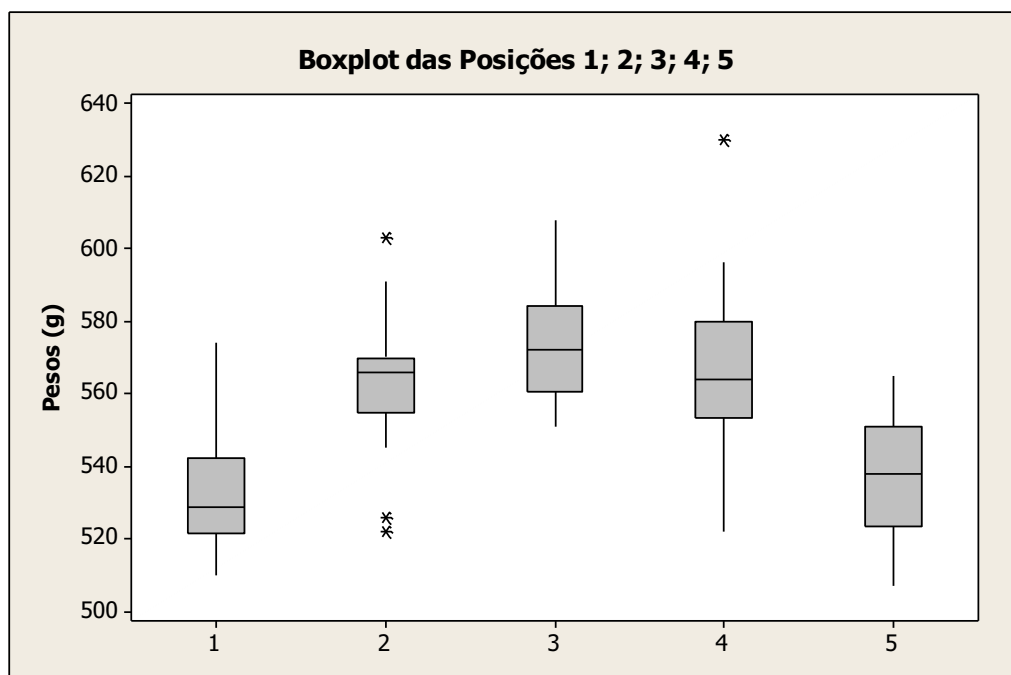
Tabela 16 – Valores das médias e desvios padrão para amostras com 125 produtos em função das posições de saída dos produtos

Posição	Média (g)	Desvio padrão (g)
P1	534,9	19,4
P2	563,1	20,5
P3	572,7	20,5
P4	567,1	25,9
P5	539,0	22,0
Todas	555,4	26,6

Fonte: Autora

Observando a Figura 26 percebem-se a ocorrência de *outliers* e diferenças entre os pesos médios relativos às 5 posições de saída das massas.

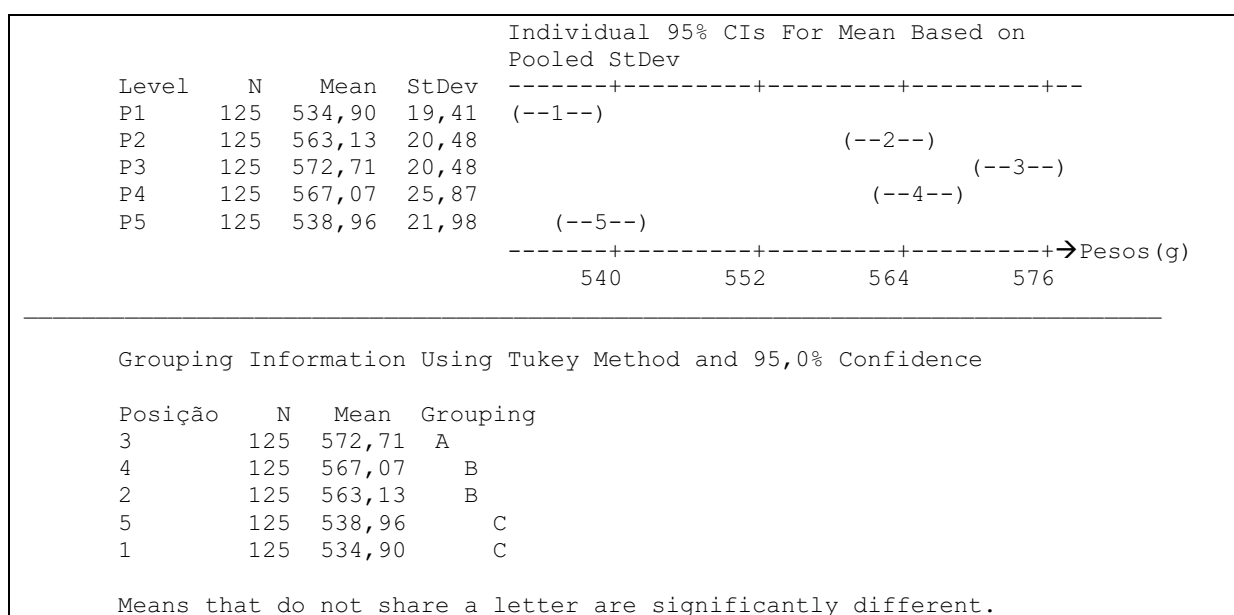
Figura 26 – Boxplot das médias dos pesos por posição de saída dos produtos



Fonte: Autora.

Por meio de uma Análise de Variância com fator duplo (Posição e Elementos amostrais) verifica-se que estas diferenças são estatisticamente significativas ($F= 158,82$; valor- $p = 0,000$). A Figura 27 mostra saídas do software MiniTab indicando que a posição 3 (central) apresenta pesos significativamente superiores às demais. A seguir, verificou-se que os pesos das posições 2 e 4 são significativamente superiores àqueles das posições extremas (1 e 5).

Figura 27 – Resultados da Análise de Variância para a comparação de pesos nas posições



Fonte: Autora.

Quanto aos *outliers* essas ocorrências eram esperadas em vista das amostragens anteriores que já indicavam valores distantes dos limites de especificação, principalmente aqueles superiores. Em relação aos valores menores deve-se apenas ficar atento para que esses pesos extremos não se tornem parte das estatísticas de produtos com pesos fora das especificações, pois podem resultar em sanções pelo órgão fiscalizador (INMETRO) ou até gerar insatisfação dos clientes.

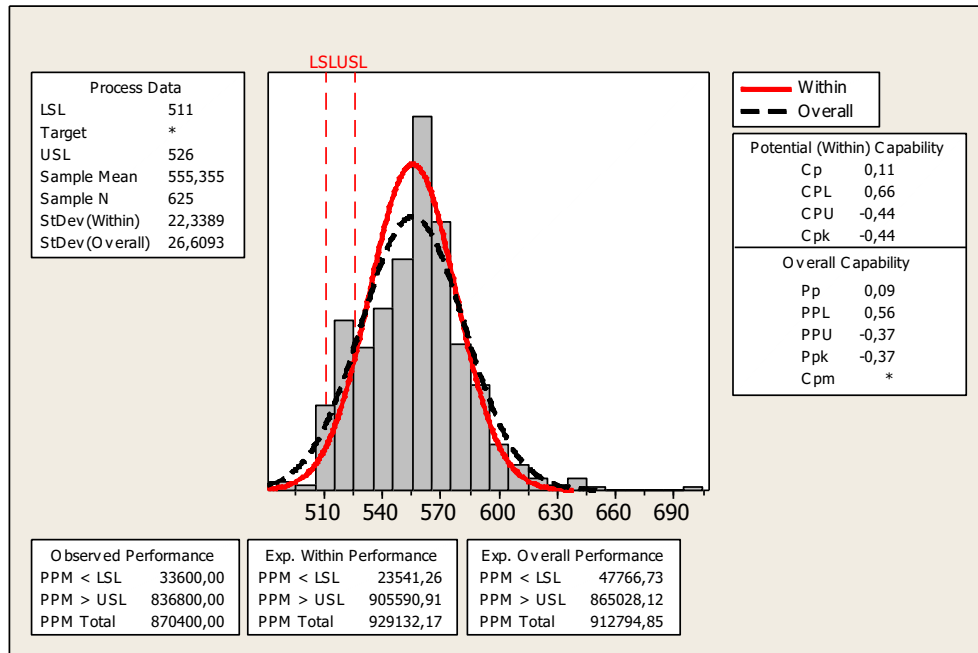
Em resumo, essa análise mostra que o posicionamento das massas no cilindro implica em produtos com pesos distintos indicando defeito na superfície do cilindro (Figura 20). Sugere-se que a empresa verifique se é, no mínimo, economicamente viável a correção desta falha a fim de se diminuir a variabilidade dos pesos.

4.3.1 Análise da variabilidade do processo

Apesar de não ser possível estabilizar o sistema em vista da variabilidade dos pesos dos produtos, considerando os 625 valores individuais, pode-se observar o comportamento desta variável e compará-la em vista dos limites de tolerância definidos pela empresa [511; 526]. O software MiniTab apresenta uma série de informações, que no caso, vislumbram uma situação de muito descontrole e atípica, em vista dos casos estudados na primeira etapa (Figura 8).

Percebe-se que a maior preocupação é com valores inferiores ao limite inferior (511), porém para cada milhão de itens, esperam-se 33.600 com pesos inferiores a 511g. No extremo superior, acima de 526g, esperam-se encontrar 870.400 produtos.

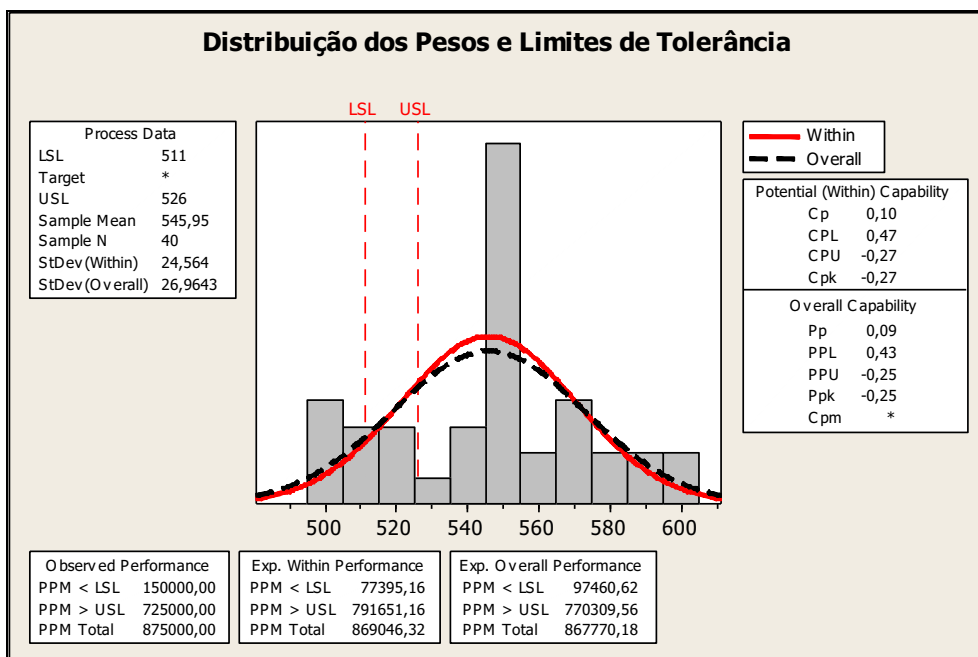
Figura 28 – Histograma do Processo para Pesos (g) com amostra com 625 valores



Fonte: Autora

Observa-se que quando comparada a primeira amostra (Figura 29) para cada milhão de itens produzidos, há uma diminuição de 116.400 itens com pesos inferiores a 511g, ou seja, a última amostra (Figura 28) possui menos itens abaixo do limite inferior de controle. No extremo superior, acima de 526g, há um aumento de 111.900 itens produzidos acima do limite superior de controle. No geral há uma diminuição de 4.600 itens produzidos fora dos limites de controle para cada milhão de itens produzidos.

Figura 29 – Análise representativa da variabilidade do processo (cópia da Figura 8, p.82)



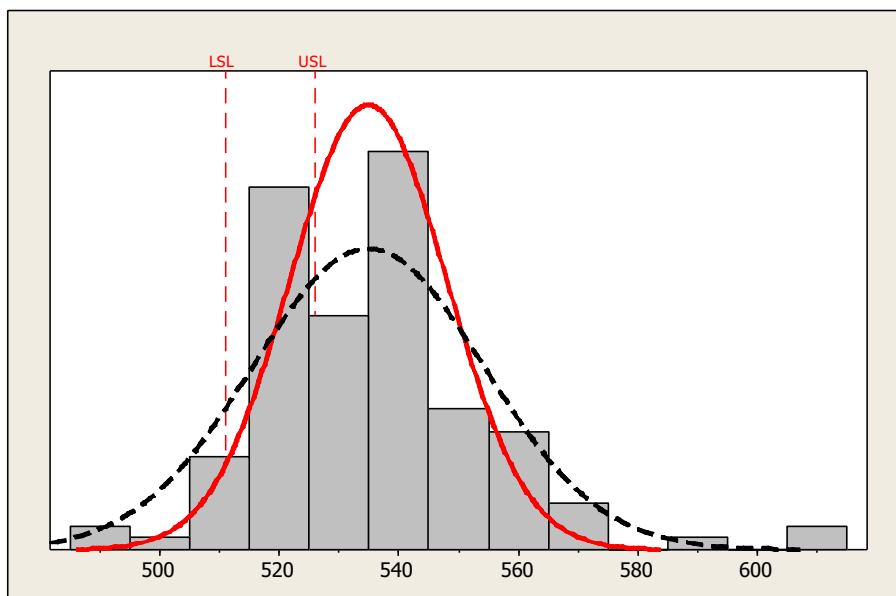
Fonte: Autora

4.3.2 Análise por posição do processo

Para observar a influência das posições dos discos de massa de pastel foram construídos histogramas, para cada posição, contendo os limites de tolerância especificados pela empresa.

a) Posição 1:

Figura 30 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 1

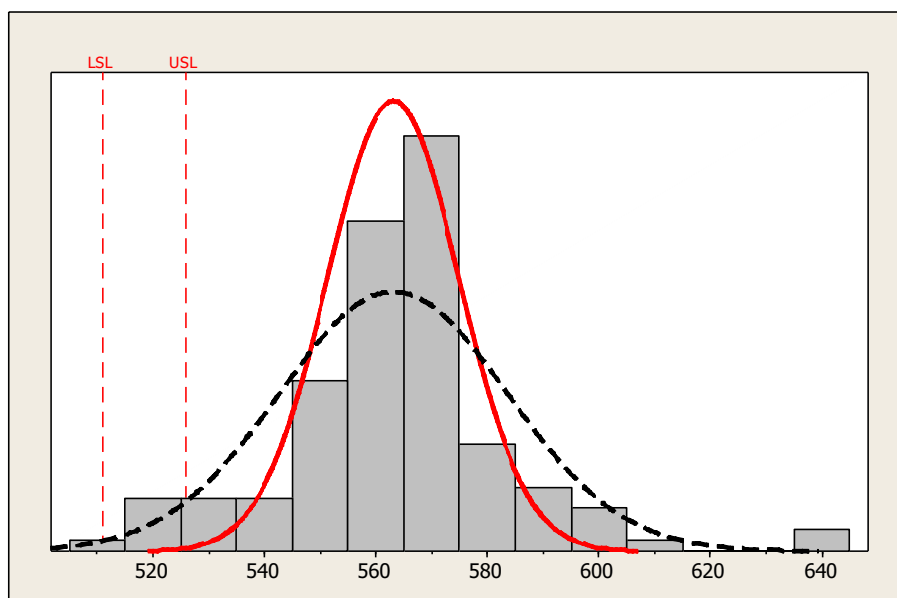


Fonte: Autora

Observa-se na Figura 30 que a maioria dos itens produzidos está fora dos limites de tolerância, porém há mais itens produzidos acima do limite superior, indicando a preocupação da empresa com ocorrência de pesos abaixo do especificado. Mesmo assim, a figura indica que eles ocorrem.

b) Posição 2:

Figura 31 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 2

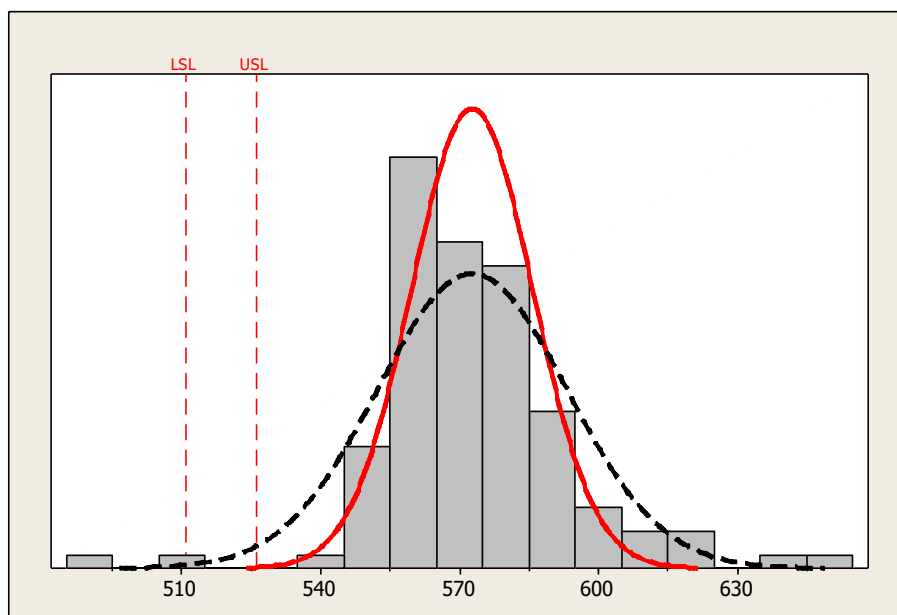


Fonte: Autora

Na Figura 31 há mais itens produzidos acima do limite superior de tolerância do que na posição 1, porém existe quantidade menor de itens abaixo do limite inferior.

c) Posição 3:

Figura 32 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 3



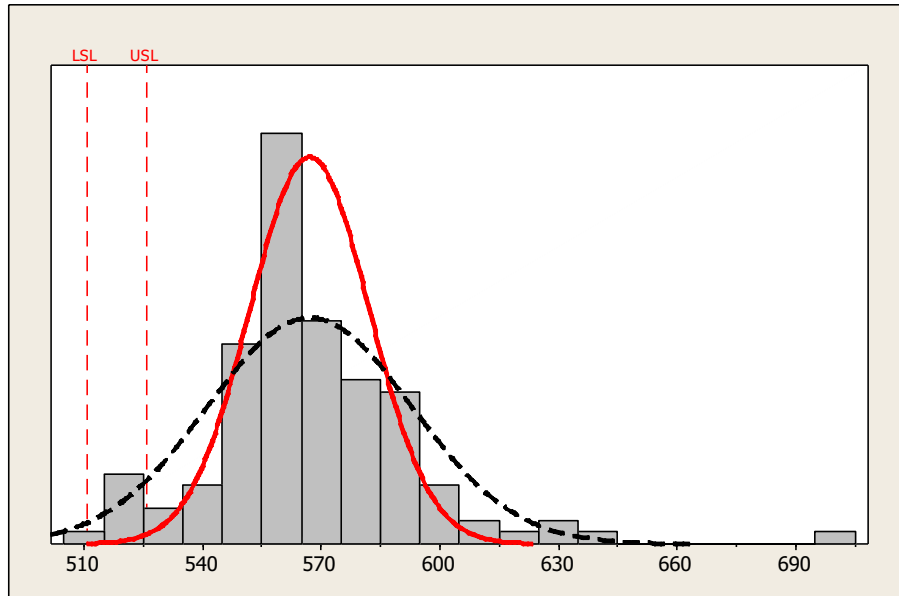
Fonte: Autora

A posição 3 (Figura 32) indica mais itens acima do limite superior de tolerância, com praticamente todos os produtos fora da região especificada, porém produz poucos itens abaixo do limite inferior. Essa representação mostra que de fato a maior preocupação da empresa é colocar produtos no mercado com pesos que satisfaçam as exigências do INMETRO (496g a

525g). Nesta posição o peso médio dos itens é de 572,7g, indicando que alguma ação mais rígida no processo poderia diminuir esses pesos e consequentemente diminuir os custos.

d) Posição 4:

Figura 33 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 4

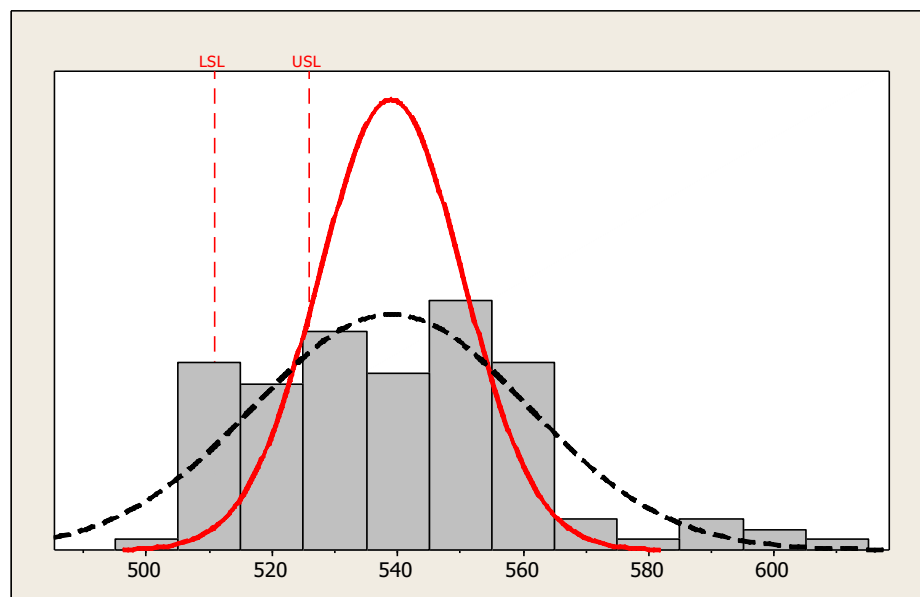


Fonte: Autora

A posição 4 (Figura 33), como nas demais, apresenta a maioria dos itens acima do limite superior de tolerância, com poucos itens abaixo do limite. Observa-se que neste caso a média (567,1g) diminuiu, aproximando-se da média da posição 2 (563,1g), sendo essas posições simétricas entre a posição central (3).

e) Posição 5:

Figura 34 – Análise representativa da variabilidade dos pesos dos itens da posição 5



Fonte: Autora

A posição 5 (Figura 34) é a que possui mais itens dentro dos limites de tolerância, porém, como nos casos anteriores, a maioria dos itens produzidos estão acima do limite superior. Desta forma, é possível notar que as posições 1 e 5, que ocupam as extremidades da esteira produzem mais itens dentro dos limites enquanto nas posições centrais da esteira (2, 3 e 4) os valores médios indicam produtos com maiores pesos.

4.3.3 Análise de perdas e probabilidades de itens abaixo do limite inferior de especificação

Tendo em vista o limite superior de especificação (526g) é possível observar que em média perdem-se 44,35 gramas em cada produto. Considerando os 1.000 produtos comercializados em média perdem-se 44,35 kg.

E em relação ao limite inferior de especificação (511g) é possível observar que a probabilidade de se produzir itens abaixo desse valor é de aproximadamente 4,76%. Isto é, esperam-se em média, para cada 100 produtos, aproximadamente 5 com pesos abaixo do especificado. Esse fator pode acarretar multa pelo órgão fiscalizador (INMETRO) e insatisfação dos clientes.

Comparando esses resultados com aqueles encontrados no item 4.2.2 observa-se que a média do processo sofreu um aumento de 10 gramas (de 545g para 555g), com os desvios padrão na mesma ordem de grandeza (26,7). Com esse aumento na média o número de produtos por milhão com peso abaixo do especificado diminuiu de 150.000 para 33.600, porém, no caso do limite superior ocorreu um aumento (725.000 para 836.800). De qualquer forma, esses números são preocupantes, pois denotam um alto nível de descontrole no processo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto à análise bibliométrica em artigos nacionais, observou-se que os setores de alimentação e metalúrgico/siderúrgico são aqueles em que o Controle Estatístico de Processo é mais aplicado. Porém vale ressaltar que para este trabalho foram analisados 100 artigos científicos, em sua maioria oriundos de anais de congressos na área de engenharia de produção, o que de certa forma limita esta pesquisa. As variáveis contínuas representam as características mais monitoradas, sendo o peso a mais frequente. Nas cartas, observou-se pouca preocupação dos autores ao relatarem, no método, informações sobre as amostras, tanto em suas dimensões como na indicação da periodicidade. Seria importante que os autores de artigos científicos relatassem mais informações no “Método” a fim de facilitar a interpretação dos resultados pelos leitores, bem como adequar as conclusões ou considerações finais aos objetivos propostos.

Os tipos de cartas de controle mais utilizados nesses trabalhos são os da média e da amplitude para amostras periódicas com tamanho superior a um. Tal ocorrência pode ser também devido ao fato de tais cartas serem as mais discutidas nos textos sobre CEP. As cartas para valores individuais e amplitude móvel vêm a seguir e estão associadas a processos com baixa frequência de produção. Em relação às ferramentas estatísticas e da qualidade, associadas ao CEP, em poucos artigos verificou-se a condição de Normalidade dos dados por meio de testes ou até de um Histograma. Recursos tais como Gráfico de Pareto, Diagramas de Causa e Efeito e de Dispersão, também tiveram baixa ocorrência. O Diário de Bordo não foi citado nos artigos pesquisados, porém Kume (1993) resalta a importância dessa ferramenta que registra todas as implicações e detalhes sobre o processo, funcionando como a sua memória.

Como era esperado, a palavra-chave mais citada foi “Controle Estatístico de Processo”, seguida de “Qualidade” e “Gráfico de Controle”. Quanto aos autores de livros nacionais os mais citados, destacam-se Costa, A. F. B; Epprecht, E. K; Carpinetti, L. C. R. C, seguidos de Werkema, M. C e Vieira. S, Paladini, E. P. Os internacionais mais presentes são Montgomery, D. C, seguido de Slack, N; Chamber, S., Juran, J. M., Deming, W. No caso de citação de artigos figuram os autores Alencar, Costa, A. F. B; Epprecht, E. K; Carpinetti, L. C. R. C, Pedrini e Caten no rol dos nacionais, Alwan e Roberts, Haworth autores de artigos internacionais.

Em relação ao estudo de caso na empresa alimentícia observou-se que a mesma não tem muita preocupação com o controle da variável peso no sentido de mantê-la dentro dos

limites de especificação. As cartas de controle construídas mostram claramente o descontrole do processo, indicando comportamentos cíclicos os quais são resultantes de constantes intervenções, que não resolvem o problema, provocando mais variabilidade. Apesar de se conhecer o aumento de custo ocasionado pelos pesos dos produtos acima do limite superior de especificação, é mais vantajoso para a Empresa mantê-los do que interferir no processo por meio da troca de um componente (cilindro) ou da sua constante manutenção.

A empresa está mais focada no controle dos pesos em vista de possíveis autuações por algum órgão fiscalizador. No cotidiano o controle baseia-se em intervenções ocasionais quando amostras indicam alterações significativas nos pesos.

Esse estudo de caso mostra a dificuldade de se aplicar projetos de controle estatístico em empresas e este fato é também observado em outros estudos, em vista dos relatos nos artigos científicos analisados. Percebe-se mais o interesse acadêmico por esses estudos do que iniciativa das empresas, sendo esta uma dificuldade para se implementar o CEP e outros programas.

A literatura indica que interferências em função de alarmes falsos podem levar a um descontrole maior, causando maiores danos ao processo. Nesse sentido a implementação do CEP necessita ser antecipada pela introdução de programas de qualidade que conjuguem esforços da administração, engenharia, gerência e demais colaboradores comprometidos com a melhoria contínua.

5.1 PESQUISAS FUTURAS

Sugerem-se como futuras pesquisas analisar mais artigos científicos de revistas nacionais e internacionais com as aplicações de CEP em outros setores além do alimentício. Refazer e analisar as cartas de controle, considerando distribuições de probabilidades não normais dos dados e aplicando técnicas não paramétricas. Aplicar a técnica DOE (Delineamento de Experimentos) para auxiliar na definição das características de interesse a serem monitoradas.

REFERÊNCIAS

ABBASI, S. A.; RIAZ, M.; MILLER, A. Enhancing the performance of CUSUM scale chart. **Computers & Industrial Engineering**. v. 63, p. 400-409, 2012.

ALEXANDRE, I. F.; AMARAL, F. A.; WENER, L. Índices de Capacidade do Processo para Distribuições Não-Normais: Estudo de caso em um processo de produção de blocos cerâmicos. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2007.

ALMAS, F. **Implementação de controle estatístico de processo em uma empresa têxtil**. 2003, 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.

ALVES, C.C. **Gráficos de controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos**. 2003, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ALVES, C. C.; SAMOHYL, R. W. **O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM**. 2006. Disponível em www.qualimetria.ufsc.br. Acessado em 10/11/2013.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução história e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun. 2006.

BARRETO, A. R. A influência da cultura organizacional na gestão de índices de defeitos e aplicação do método de análise e solução de problemas (MASP) – Estudo de caso armazém de baterias. **Revista Organização Sistêmica**, v.3, n.2, jan/jun 2013.

BERK, J.; BERK, S. Administração da qualidade total: o aperfeiçoamento contínua: teoria e prática. São Paulo: IBRASA, 1997.

BESSEGATO, L. F. Controle Estatístico de Processo: Cartas de Controle. Disponível em http://www.bessegato.com.br/UFJF/minicurso_cep.pdf. Acessado em 10/09/2013.

BHOTE K. R. **Qualidade de classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

BRITVIC, J.; KOVACEVIC, A. P.; CINGEL, M. Integration possibilities of ISO 9001:2008 quality management system with ISO 27001:2010 information security management system. **Economy of eastern Croatia yesterday, today, tomorrow**. v.3, p. 368-373, 2013.

BROCKA, B.; BROCKA, M. S. **Gerenciamento da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1994.

CABRAL NETO, A.; SILVA, J. G. A construção histórica do paradigma da qualidade total no campo empresarial e sua transplantação para o campo educacional. **Contexto e Educação**. Unijuí. n. 92, p. 7-30, 2001.

- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho dia a dia**. Nova Lima, MG: INDG, 1994.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- CARVALHO, M. M. et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CASTAGLIOLA, P.; MARAVELASKIS, P. E. A CUSUM control chart for monitoring the variance when parameters are estimated. **Journal of Statistical Planning and Inference**, n.141, p. 1463–1478, 2011.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. 6. reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 2. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- COSTA, T. et al. A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas. In: CONGRESSO NACIONAL DE BIBLIOTECÁRIOS, ARQUIVISTA E DOCUMENTISTAS. 11., 2012, Lisboa. **Anais...** Lisboa, ACTAS, 2012.
- CRITCHLEY, F; JONES, M. C. Asymmetry and gradient asymmetry functions: density-based skewness and kurtosis. **Scandinavian Journal of Statistics**, v. 35, p. 415–437, 2008.
- CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1986.
- DANTAS, C. A. B. Probabilidade: um curso introdutório. 2. ed. São Paulo: USP, 2004.
- DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- DINIZ, M. G. **Desmitificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber, 2001.
- EPPRECHT, E. K.; MACHADO NETO, W. M. **Um sistema a base de conhecimentos para assistência em controle estatístico da qualidade**, ENEGEP, 1996.
- EXLER, R. B.; LIMA, C. J. B. Controle Estatístico de Processos (CEP): uma ferramenta para melhoria da qualidade. **ReAC**. v. 4, n. 3, p. 78-92, set/dez, 2012.
- FERREIRA, A. G. C. Bibliometria na avaliação de periódicos científicos. **Revista de Ciência da Informação** - v.11 n.3 jun/10. Disponível em: http://dgz.org.br/jun10/Art_05.htm. Acesso em: 10. março 2014.
- FERRER, A. J. **Statistical Control of Measures and Processes**. Technical University of Valencia, Valencia, Spain: Elsevier, 2009.
- FIRKA, D. Statistical, technical and sociological dimensions of design of experiments. **The TQM Journal**, v. 23, Iss: 4, p. 435-445, 2011.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GARVIN, D. A. Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed, 2002.

FUNDAMENTOS de controle estatístico do processo (CEP): Manual de Referência. São Paulo. Chrysler, Ford e General Motors. Co-patrocínio Ford Brasil Ltda e General Motors do Brasil Ltda. 1995.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GODOY, A. P. A. **Ferramentas da qualidade 5W2H e fluxograma**. Nortel, 2013. Disponível em: http://www.cpqd.com.br/spin-cps/images/Apresentacoes/51_5w2h_e_fluxograma.pdf. Acesso em: 10/12/2013.

GODOY, C. **Introdução ao Controle Estatístico de Processo on-line**. 2009, 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Estatística). Universidade Federal de São Carlos, 2009.

GONÇALVEZ, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121-132, jan/mar. 2009.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS DA INFORMAÇÃO, 6., Salvador/BA, junho de 2005. Disponível em: <www.cinform.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf>. Acesso em: 10. março 2014.

INDEZEICHAK, V. **Análise do controle estatístico da produção para empresa de pequeno porte: um estudo de caso**. 2005, 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2005.

ISO – Quality management principles. The international organization for standardization, 2012.

ISO QS-9000. **Quality System Requirements QS-9000**. International Organization for Standardization, 1998. Disponível em: < <http://ciiias.files.wordpress.com/2007/11/qs-9000.pdf>>. Acesso em: 10/12/2013.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

JINGFENG, N.; MING, H. Study on software quality improvement based on Rayleigh Model and PDCA Model. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, v. 11, n. 8, 2013.

JOEKES, S.; BARBOSA, E. P. An improved attribute control chart for monitoring non-conforming proportion in high quality processes. *Control Engineering Practice*, v. 21, Issue 4, p. 407-412, 2013.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. , 6 ed. Prentice Hall, 2002.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. Tradução: Nivaldo Montigelli Jr. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 1997.

JURAN, J. M. **Critical evaluations in business and management**. London: Routledge, 2005.

KANO, M.; NAKAGAWA, Y. Data-based process monitoring, process control, and quality improvement: Recent developments and applications in steel industry. **Computers & Chemical Engineering**, v. 32, Issues 1–2, p. 12-24, 2008.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. 5. ed. São Paulo: Editora Gente, 1993.

LEE, D.; CHA, S. K.; LEE, A. H. A Performance anomaly detection and analysis framework for DBMS development. In: **IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING**, v. 24, n. 8, p.1345, aug., 2012.

LEVINSON, W. A. **Statistical process control for real-world applications**. Florida: CRC Press, 2011.

LOPES, L. F. D. **Controle Estatístico de Processo**. 2007. 68p. Apostila do curso de Engenharia de Produção, Santa Maria, 2007.

LUCAMBIO, F. **Diferentes testes para verificar normalidade de uma amostra aleatória**. Departamento de Estatística. Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR, 81531–990, Brasil. Disponível em: <http://people.ufpr.br/~lucambio/CE225/2S2009/Normal_test.pdf>. Acessado em 22/11/2013. 2008.

MACGREGOR, J. F. *et al.* Process monitoring and diagnosis by multi-block PLS methods. **AIChE Journal**, v. 40, n. 5, p. 826–838, 1994.

MARAVELAKIS, P. E.; CASTAGLIOLA, E. An EWMA chart for monitoring the process standard deviation when parameters are estimated. **Computational Statistics and Data Analysis**, n. 53, p. 2653-2664, 2009.

MARUTA, R. Maximizing Knowledge Work Productivity: A Time Constrained and Activity Visualized PDCA Cycle. **Knowledge and Process Management**, v. 19, n. 4, p. 203-214, 2012.

MEDLES, K. *et al.* Capability Evaluation and Statistical Control of Electrostatic Separation Processes. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 45, n. 3, 2009.

MICHEL, R. **Cartas Adaptativas de Controle**: Desenvolvimento de Metodologia para Implantação em Processos de Manufatura. 2001, 111f. Dissertação (Mestrado de Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C.; HUBELE, N. F. **Estatística Aplicada á Engenharia**. LTC, Rio de Janeiro, 2004.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MORAIS, I. C. L.; COSTA, S. R. R. Proposta de ferramentas de qualidade para um sistema de gestão de segurança de alimentos em unidades de alimentação e nutrição. **Alim. Nutr.= Braz. J. Food Nutr.**, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 45-49, jan./mar. 2013.

MOURA, C. **Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA)**. Manual de referência, 2000.

MUKHERJEE, A.; CHAKRABORTI, S. A distribution-free control charts for the joint monitoring of location and scale. **Qual. Realib. Engng. Int.**, v. 28, p. 335-352, 2012.

NAVIDI, W. **Probabilidade e estatística para ciências exatas**. Tradução : Jose Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: AMGH, 2012.

NEWBOLD, P. **Statistics for business and economics**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

NORDSTRÖM, F. *et al.* Control chart analysis of data from a multicenter monitor unit verification study. **Radiotherapy and Oncology**, v.102, p. 364–370, 2012.

NORMANDO, D.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, A. C. A. A escolha do teste estatístico – um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. **Dental Press J. Orthod.** v. 15, n. 1, p. 101-106, Jan./Feb. 2010.

OPRIME, P. C.; MONSANTO, R.; DONADONE, J. C. Análise da complexidade, estratégias e aprendizagem em projetos de melhoria contínua: estudos de caso em empresas brasileiras. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 669-682, 2010.

PALADINI, E.P. **Gestão da Qualidade no Processo**. São Paulo: Atlas, 1995.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PIRES, V. T. **Implantação do controle estatístico de processo em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. 2000, 115f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

POZZOBOM, E. M. P. **Aplicação do controle estatístico do processo**. 2001, 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

RAMAKER, H. J. *et al.* The effect on the size of the training set and number of principal components on the false alarm rate in statistical process monitoring. **Chemometr Intell Lab Syst**, 73 (2), p. 181–187, 2004.

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

RAMOS, E. M. L. S. **Aperfeiçoamento e desenvolvimento de ferramentas do controle estatístico de qualidade – utilizando quartiz para estimar o desvio padrão**. 2003, 130f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

REBELATO, M. G.; SOUZA, G. A.; RODRIGUES, A. M.; RODRIGUES, I. C. Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel. In: XIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2006, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2006.

RIBEIRO JR, J. I. **Métodos estatísticos aplicados ao controle da qualidade**. Viçosa. MG: UFV, 2013.

ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991, 333p.

SALGADO, M. H. **Estatística aplicada**. Texto de aulas, 2008.

SAPTARSHI MANDAL, J. M. Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. **Expert Systems with Applications**, n. 41, p. 3527–3537, 2014.

SCUDINO, P. A. **A utilização de alguns testes estatísticos para análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro**. 2008, 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Matemática). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

SHANG, Y; TSUNG, F; ZOU, C. Statistical process control for multistage processes with binary outputs. **IIE Transactions**, 2013.

Shiba, S.; Graham, A.; Walden, D. **A new American TQM**. Productivity Press, Portland, Or, 1993.

SILVA, C. M. *et al.* Estimativa de intervalo de confiança para tempo de sobrevivência usando desigualdade de Chebyshev via método bootstrap. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (a), 2012.

SILVA LEME, R. A. **Curso de estatística elementos**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico S. A, 1967.

SIQUEIRA, L. G. P. **Controle Estatístico do Processo**. Equipe Grifo, São Paulo: Pioneira, 1997, 130p.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

SO, M. K. P.; CHAN, R. K. S. Bayesian analysis of tail asymmetry based on a threshold extreme value model. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 71, p. 568–587, 2014.

SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: um estudo de caso.** 2000, 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SOUZA, R. A. **Análise da qualidade do processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo.** 2003, 104f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TOLEDO, J. C *et al.* **Qualidade: gestão e métodos.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TOLEDO, J. C.; ALLIPRANDINI, D. H. **Controle estatístico da qualidade.** GEPEQ, 2004.

TSAI, T. Improving the fine-pitch stencil printing capability using the Taguchi method and Taguchi fuzzy-based model. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.** n. 27, p. 808–817, 2011.

VEIGA, A. F. L. **Validação de Equipamentos nas Linhas de Enchimento na Unicer Bebidas, AS.** 2012, 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial e Gestão) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2013.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** Rio de Janeiro: Campos, 1999.

WERKEMA, C. **Criando a cultura do seis sigma.** Belo Horizonte: Werkema, 2002.

WERKEMA, C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

WISE, B. M.; GALLAGHER, N. B. The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection. **J Proc Contr**, 6 (6), p. 329–348, 1996.

WOODALL, W. H. Controversies and contradictions in Statistical Process Control. **Journal of Quality Technology**, October, p. 12-13, 2000.

ANEXOS

ANEXO 1 – TABELAS PARA CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE

<i>Gráfico para média</i>			
Fatores para Limites de Controle			
N	A	A ₂	A ₃
2	2,121	1,880	2,659
3	1,732	1,023	1,954
4	1,500	0,729	1,628
5	1,342	0,577	1,427
6	1,225	0,483	1,287
7	1,134	0,419	1,182
8	1,061	0,373	1,099
9	1,000	0,337	1,032
10	0,949	0,308	0,975
11	0,905	0,285	0,927
12	0,866	0,266	0,886
13	0,832	0,249	0,850
14	0,802	0,235	0,817
15	0,775	0,223	0,789

Fonte: Montgomery e Runger (2003)

<i>Gráfico para desvio padrão</i>						
Fatores para Linha Central			Fatores para Limite de Controle			
n	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
2	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606
3	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276
4	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088
5	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964
6	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874
7	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806
8	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751
9	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707
10	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669
11	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637
12	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610
13	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585
14	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563
15	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544

Fonte: Montgomery e Runger (2003)

<i>Gráfico para Amplitude</i>							
Fatores para Linha Central			Fatores para Limite de Controle				
n	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_3
2	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,574
4	2,059	0,4857	0,88	0	4,698	0	2,282
5	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,114
6	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653

Fonte: Montgomery e Runger (2003)

ANEXO 2 – TABELA PARA CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO DE CARTAS DE CONTROLE PARA MEDIANA E AMPLITUDE (\bar{X} -R)

n	\tilde{A}
2	1,88
3	1,19
4	0,80
5	0,69
6	0,55
7	0,51
8	0,43
9	0,41
10	0,36

Fonte: Adaptado de Toledo *et al.* (2013)

ANEXO 3 – TRABALHOS CIENTÍFICOS NACIONAIS PESQUISADOS SOBRE O TEMA CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

AGRA NETO, J. *et al.* Aplicação do CEP no tempo de atraso em uma linha de uma empresa de transportes urbanos: um estudo de caso em uma empresa do RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

ALENCAR, D. B. *et al.* Utilização do algoritmo no CEP e sua confiabilidade nos processos industriais, aplicado em controle de torque: estudo de caso do pólo de duas rodas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2011, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2011.

ALEXANDRE, I. F; AMARAL, F. A; WENER, L. Índices de Capacidade do Processo para Distribuições Não-Normais: Estudo de caso em um processo de produção de blocos cerâmicos. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2007.

ALEXANDRE, J. W. C. *et al.* Aplicação do gráfico de controle por grupos em uma indústria manufatureira do estado do Ceará. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2006.

ALMAS, F. **Implementação de controle estatístico de processo em uma empresa têxtil.** 2003, 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

ALMEIDA, L. A; ELTZ, J. L; UNTERLEIDER, C. E. A. Análise da variabilidade no enchimento de latas de cerveja com 473 ml, através da aplicação do controle estatístico de processo (CEP). In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2010.

ARAÚJO, P. C. *et al.* Aplicação do controle estatístico do processo no tempo de espera da urgência clínica hospitalar: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6, 2010, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2010.

BAYER, F. M; SOUZA, A. M. Gráficos de Controle Univariados para Dados Auto-correlacionados com Memória Longa Aplicados à Taxa de Mortalidade Hospitalar. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, 2007.

BRANDÃO, N. B; OLIVEIRA, M. B; FREITAS, S. M. Aplicação de gráficos de controle com limites móveis na modelagem da demanda de passageiros do aeroporto internacional de Belém a partir da suavização exponencial de Holt-Winters. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

BRANDSTETTER, M. C. G. O; BUCAR, E. S. Modelo para Identificação de Problemas da Qualidade em Processos Produtivos Repetitivos Utilizando Ferramentas de Controle da Qualidade e Pesquisa Operacional. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, 2008.

BUENO, A. F. *et al.*. A escala sigma e o DMAIC para otimização do processo de destilação etanólica em uma usina sucroalcooleira. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, 2010.

CANHOTA, F. P. Aplicação do controle estatístico do processo no aumento da produtividade na indústria farmacêutica. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9, 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, FIRJAN, 2013.

CAMARGO, M. E. *et al.* Análise do serviço de logística através de cartas de controle. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2010.

CAMARGO, M. E. *et al.* Análise do processo produtivo de uma indústria têxtil através de cartas de controle. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 6, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2010.

CAMPOS, R. V. M. *et al.* Monitoramento da qualidade da lâmina no processo do óleo de soja na empresa CAC através do controle estatístico de processos (CEP). In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2009.

CASTRO, D. R. C. *et al.* A aplicabilidade dos gráficos de controle nas empresas como modelo de inspeção para a avaliação da qualidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

COELHO, F. Z. *et al.* Teste de hipóteses e controle estatístico na análise de massa de produto alimentício. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

CORREIA, J. M. S. *et al.* Avaliação do processo de produção de medicamento manipulado sob a forma de cápsulas utilizando o controle estatístico de processo. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

COSTA, W. O; QUEIROZ, F. C. B. F; CIRINO, S. R. A. Controle estatístico do processo para melhoria da qualidade: estudo de caso em uma indústria alimentícia potiguar. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2012, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2012.

CRUZ, A. C. *et al.* A aplicação de gráficos de controle de Soma Acumulada (CUSUM) para monitoramento de um processo de usinagem. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, 2009.

DALANESI, L. A; CALARGE, F. A; SANTANA, J. C. C. Uma análise da aplicação do controle estatístico de processo – CEP na diminuição da variabilidade de cor na produção de compostos termoplásticos. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2012, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2012.

FERREIRA, P. O; MEDEIROS, P. G; OLIVEIRA, L. M. Utilização do controle estatístico do processo para o monitoramento do peso médio de cápsulas de tuberculostáticos: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

FERREIRA, P. O. *et al.* Utilização do controle estatístico do processo (CEP) na comparação de velocidades de encapsulamento de medicamento para tuberculose. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

FUTURO, D. O; SILVA, R. F. Uso de ferramentas de controle estatístico para o entendimento do processo de produção de cápsulas em farmácias magistrais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

GODOY, C; BARRIGA, G. D. C; SALGADO, M. H. Gráfico de controle EWMAREG para a Fase I do controle estatístico de processo: um estudo aplicado na indústria. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2012, Bauru. **Anais...** Bauru, 2012.

GOMES, I. C; OLIVEIRA, C. D. L; MINGOTI, S. A. Estudo da Aplicação de Gráficos de Controle na vigilância de Infecções Hospitalares no Hospital das Clínicas da UFMG. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, 2008.

GOMES, A. C; OLIVEIRA, D. C. R. Controle estatístico de qualidade na área de acabamento em uma empresa de fundição. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9, 2013, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, 2013.

GUARIENTI, E. P. *et al.* Aplicação de controle estatístico de processo em indústrias de rações para monitorar a qualidade da matéria-prima. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

HARSTELN, R. E; AMARAL FILHO, J. R; WERNER, L. Análise de capacidade de dados não normais de um sistema de tratamento de efluente industrial. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, 2009.

HENNING, E. *et al.* Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. In: CONGRESSO NACIONAL DE ECELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011.

HENNING, E. *et al.* Visão de Engenharia da Qualidade via RExcel. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL, 2, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville, 2012.

INDEZEICHAK, V; LEITE, M. L. G. Análise do controle estatístico da produção para empresa de pequeno porte: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006, Bauru. **Anais...** Bauru, 2006.

JORGAN, J. R. Aplicação de gráficos conjuntos CUSUM e Shewhart, na indústria de celulose e papel. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

JORGAN, J. R. Aplicação de gráficos conjuntos CUSUM e Shewhart, na indústria de celulose e papel. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

KAKUDA, S. M; ANDRADE JUNIOR, P. P. Aplicação do controle estatístico de processo: um estudo de caso. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL, 1, 2010, Joinville. **Anais...** Joinville, 2010.

KOCH, D. M; SOUTO, H. T; SANTOS, P. O. T. M. Estudo sobre a Capabilidade de um processo de fabricação de insumo siderúrgico, com foco no atendimento às especificações do cliente. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6, 2010, Coronel Fabriciano. **Anais...** Coronel Fabriciano, 2010.

LEIRAS, A; EPPRECHT, E. K; COSTA, A. F. B. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 139-150, 2007.

LIMA, M. B. F. *et al.*. Aplicações do controle estatístico multivariado da qualidade: monitoramento de garrafeiras plásticas numa empresa do estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

LINO, H. S; MOURA, G. G; FERNANDES, S. M. Aplicação de controle estatístico do processo e análises de tipo de falhas em manufaturas de motores elétricos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

LOMBARDI, T. *et al.*. Análise estatística da camada seca de pintura: o caso Nova Jva. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, 2010.

LOPES, L. M; CORREA, J. M. S; SILVA, R. F. Utilização do Controle Estatístico de Processo na avaliação do processo de produção de medicamentos manipulados sob a forma de cápsulas. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9, 2012, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2012.

MAIA, M. T. *et al.*. Aplicação de gráficos de controle para o monitoramento do processo de retificação do diâmetro interno de um cilindro de aço. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2011, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2011.

MARIANO, F. D. *et al.* CEP como ferramenta de verificação e melhoria da qualidade em uma organização do ramo alimentício. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

MASSARANI, F; BREIER, G. P; CATEN, C. S. T. Análise e melhoria de processo através do uso do CEP no ciclo PDCA em empresa do segmento metal mecânico. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

MEDEIROS, L. D. D. *et al.* Estudo e aplicação das ferramentas da qualidade em uma indústria cerâmica do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 7, 2012, Mossoró. **Anais...** Mossoró, 2012.

MONTEIRO JUNIOR, A. S. *et al.* Análise e controle de processos operacionais hoteleiros através do Seis Sigma: um estudo de caso em um empreendimento de alto padrão na orla da zona sul do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2011, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2013.

MOREIRA JÚNIOR, F. S. *et al.* Aplicações do controle estatístico do processo com dados auto correlacionados na produção de filmes de plásticos flexíveis. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 14, 2007. Bauru **Anais...** Bauru, UNESP, 2007.

MOREIRA, A; ZEPON, T. C; SANTOS, A. J. Viabilidade da Implantação das Técnicas de CEP Avançado em um Laboratório de Análises Físico-Químicas. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL, 2, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville, 2012.

MOURA, G. G; LINO, H. S; FERNÁNDES, S. M. Análise da metodologia de avaliação da capacidade dos processos de usinagem para implementação do CEP em ferramentas elétricas. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2008.

MOURA, G. G; LINO, H. S; FERNÁNDES, S. M. Análise da metodologia de avaliação da capacidade dos processos de usinagem para implementação do CEP em ferramentas elétricas. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2008.

NARDINI, J. J. Metodologia Seis Sigmas: Um Estudo no Processo Produtivo de uma Indústria Multinacional de Eletrodomésticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2006.

NASCIMENTO, J. C; GAIA, F. C; SILVA, A.. Utilização de ferramentas estatísticas no controle da absorção de água em carcaças de frango durante o processo de pré-resfriamento. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7, 2011, São João Del Rei. **Anais...** São João Del Rei, 2011.

NASCIMENTO, J. C; SILVA, A. Análise estatística do processo de absorção de água pelas carcaças de frango em *chiller* industrial. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6, 2010, Coronel Fabriciano. **Anais...** Coronel Fabriciano, 2010.

NATH, V. O; VOLKART, R. H; UNTERLEIDER, C. E. Análise da capacidade de um processo de envase através da utilização do controle estatístico de processos (CEP). In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2010.

NEGREIROS, R. F. Elaboração de gráficos de controle numa fábrica do ramo alimentício de derivados de milho: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

OCAMPOS, J. F. L; FENERICH, F. C. Utilização de cartas de controle para estudo da porcentagem de umidade em uma ração para equinos em manutenção fabricada por uma empresa situada na cidade de Maringá. In: SIMPÓSIO MARINGAENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL, 5, 2011, Maringá. **Anais...** Maringá, 2011.

OLIVEIRA, C, C. *et al.* Aplicação de ferramentas da qualidade no acompanhamento e controle de perdas de embalagens da produção de resfriados temperados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* A utilização do controle estatístico do processo para o monitoramento do sangue: estudo de caso no Hemonorte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

OLIVEIRA, R. A; MREIRA, H. L. Proposta de desenvolvimento da filosofia de melhoria contínua no processo de fermentação alcoólica para obtenção de álcool carburante. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8, 2012, Itajubá. **Anais...** Itajubá, 2012.

OLIVEIRA, C. M. G; PESSOA, K. R; BEZERRA, W. L. A. Aplicação das ferramentas da qualidade em uma refinaria de sal. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 7, 2012, Mossoró. **Anais...** Mossoró, 2012.

PASSOS, F. G. *et al.* Controle estatístico do processo como instrumento para a tomada de decisão: o caso de uma empresa de extração de óleo vegetal em Juazeiro-BA. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 7, 2012, Mossoró. **Anais...** Mossoró, 2012.

PEDRINI, D. C; SANT'ANNA, A. MO; CATEN, C, S. T. Gráfico EWMAREG aplicado no monitoramento de processos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, 2009.

PEDRINI, D. C; CATEN, C. S. T. Estudo comparativo entre gráficos de controle baseados em modelos de regressão. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, 2011.

PEDRINI, D. C. *et al.* Gráficos de controle para média e desvio-padrão com tamanho de amostra variável: uma aplicação em uma indústria do setor metalúrgico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

PINTO, R. S. *et al.* Controle estatístico do processo: um estudo de caso em uma confecção. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 7, 2012, Mossoró. **Anais...** Mossoró, 2012.

PRATA, M. S. *et al.* Aplicação do controle estatístico de qualidade na variável dt no processo de perfilagem de um poço de petróleo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

REBELATO, M. G. *et al.* Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006, Bauru. **Anais...** Bauru, 2006.

RUSSO, S; CAMARGO, M. E. Análise através de gráficos de controle da resistência à compressão da areia de fundição da Indústria FUNDIMISA. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4, 2008, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2008.

SAGAWA, J. K; YAMADA, R. I. Aplicação de ferramentas de controle estatístico da qualidade ao monitoramento da produção de etanol. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SANT'ANNA, A. M. O; CATEN, C. S. T. Apresentação do Método Orientativo de Modelos Paramétricos na modelagem da fração de não-conformes. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, 2007.

SANT'ANNA, A. M. O; CATEN, C. S. T. Apresentação do Método Orientativo de Modelos Paramétricos na modelagem da fração de não-conformes. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, 2007.

SANTANA, I. L. P. D; CATEN, C. T; HACK, P. S. Avaliação da modernização no envase de glp através do controle estatístico de processo. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

SANTINI, B. *et al.* Influência de parâmetros do processo de injeção nas características da qualidade de peças injetadas. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

SANTOS, S. R; CHAVES NETO, A; PERIÇARO, G. A. Monitoramento da qualidade da água potável: controle de medidas individuais e índices de capacidade do processo das variáveis de qualidade. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2008.

SANTOS, L.C; MARTINEZ, J. C; SARTORI, M. M. Análise da qualidade do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2009.

SANTOS, V. C. *et al.* Avaliação da permeabilidade e absorção de água das telhas de concreto na execução de coberturas na região de campo mourão - pr, utilizando o controle estatístico do processo. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

SANTOS, A. R. S; BREIER, G. P; CATEN, C. S. T. Controle estatístico de processo: variação da característica espessura durante o processo de fabricação em uma máquina de papel. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2011.

SANTOS, A. G. *et al.* A importância dos gráficos de controle para monitorar a qualidade dos processos industriais: estudo de caso numa indústria metalúrgica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.

SANTOS, A. M. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) no serviço de tele atendimento do setor de telefonia móvel pessoal (SMP) no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SANTOS, A. M. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) no serviço de tele atendimento do setor de telefonia móvel pessoal (SMP) no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SÁS, K. M; FENERICH, F. C. Aplicação do controle estatístico no processo de produção de catchup. In: SIMPÓSIO MARINGAENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL, 5, 2011, Maringá. **Anais...** Maringá, 2011.

SELAU, L; HORNIG, G; PIZZOLATO, M. Implementação do controle estatístico do processo em operações da indústria farmacêutica veterinária. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Bauru. **Anais...** Bauru, 2007.

SILVA, R. F. *et al.* Amostragem de aceitação no controle de qualidade de cápsulas em farmácias de manipulação. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2008.

SILVA, R. F; PIMENTA, P. S; FUTURO, D. O. O estudo do impacto da formulação na capacidade do processo de manipulação de cápsulas em farmácias. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, UNESP, 2008.

SILVA, R. F. *et al.* Estudo do desempenho da produção em pequena escala de diferentes formulações em forma de cápsulas gelatinosas. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais...** Bauru, 2009.

SILVA, R. F; NASCIMENTO FILHO, A. P; SANTOS, C. R. Avaliação retrospectiva do processo de produção de cápsulas em farmácias de manipulação através do controle estatístico de processo. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 4, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, FIRJAN, 2008.

SILVA, S. F. C. *et al.* Implantação do controle estatístico de processos em uma indústria de beneficiamento de castanhas de caju. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

SILVA, G. C. S; RIBEIRO, F. C; MÉLO, M. A. N. Aplicação do controle estatístico de processo para análise de sobrepeso de uma linha de desodorantes em uma indústria de higiene pessoal. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, M. G. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processos no beneficiamento de café: um estudo de caso no sudeste Goiano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SILVA, M. G. *et al.* Aplicação do controle estatístico de processos no beneficiamento de café: um estudo de caso no sudeste Goiano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SILVA, R. F; PIMENTA, S. P; FUTURO, D. O. Utilização do controle estatístico de processo na produção de cápsulas em farmácias de manipulação. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4, 2008, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2008.

SILVA, A. F. *et al.* CEP: a utilidade e eficiência para melhoria da qualidade, um estudo de caso em uma empresa têxtil de moda praia. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 7, 2012, Mossoró. **Anais...** Mossoró, 2012.

SOUZA, B. R. O. *et al.* A utilização do Controle Estatístico do Processo (CEP) para análises dos parâmetros de composição do leite cru refrigerado In: ENCONTRO DE ENGENHARIA

DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 7, 2013, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão, 2013.

STENDER, G. H. C. *et al.* Metodologia de controle de processos operacionais de governança hoteleira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2013, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2013.

TAKAHASHI, F. H. *et al.* Variação e monitoramento da qualidade do leite através do controle estatístico de processos. **Ciência Animal Brasileira.**, Goiânia, v.13, n.1, p. 99-107, 2012.

TIBA, R. M; BEPPU, M. M. Carta para coeficientes angulares em processos com dados autocorrelacionados. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais...** Bauru, 2008.

TURCATO, C. R. S; KLIDZIO, R; ANTONELLO, N. R. B. Aplicação do controle estatístico de processo (CEP) para avaliar o processo de defumação do salame. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

VACCARO, G. L. R; MARTINS, J. C; MENEZES, T. M. Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica. **Produção**, v.21, n.3, p. 539-522, 2011.

VASCONCELOS, A. L. M. *et al.* O uso de gráficos avançados CUSUM na verificação do comportamento de um processo a partir das não conformidades em uma indústria do segmento gráfico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2012.

WERNER, L; CAUDURO, L. F. Compressão de pastilhas de granulado de açúcar: estabilidade e capacidade do processo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2, 2012, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, UTFPR, 2012.

ZAGO, V. A. *et al.* A utilização do gráfico de controle GWMA para monitorar a média e variabilidade em controle estatístico de processos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 2010, Bauru. **Anais...** Bauru, 2010.

ANEXO 4 – DADOS DE PESOS (GRAMAS) EXTRAÍDOS DA EMPRESA NO PERÍODO DE MAIO DE 2013, COLETADOS EM INTERVALOS DE 30 MINUTOS COM 8 AMOSTRAS DE 5 ELEMENTOS

<i>Tipo de pastel</i>	<i>Peso (g)</i>
D-500	587,00
D-500	600,00
D-500	545,00
D-500	586,00
D-500	540,00
D-500	596,00
D-500	582,00
D-500	525,00
D-500	582,00
D-500	548,00
D-500	557,00
D-500	554,00
D-500	568,00
D-500	554,00
D-500	547,00
D-500	510,00
D-500	550,00
D-500	568,00
D-500	548,00
D-500	506,00
D-500	502,00
D-500	549,00
D-500	565,00
D-500	549,00
D-500	503,00
D-500	552,00
D-500	520,00
D-500	565,00
D-500	551,00
D-500	511,00
D-500	520,00
D-500	547,00
D-500	556,00
D-500	542,00
D-500	499,00
D-500	517,00
D-500	547,00
D-500	546,00
D-500	544,00
D-500	500,00

Fonte: Autora

ANEXO 5 – DADOS DO PESO DE 19 AMOSTRAS COM 4 ELEMENTOS DA EMPRESA DE AGOSTO DE 2013

<i>Subgrupo</i>	<i>Horário</i>	<i>Unidade 1</i>	<i>Unidade 2</i>	<i>Unidade 3</i>	<i>Unidade 4</i>
1	08:15	535,00	585,00	588,00	586,00
2	08:30	516,00	549,00	552,00	555,00
3	08:45	500,00	547,00	531,00	568,00
4	09:00	534,00	568,00	581,00	577,00
5	09:15	545,00	592,00	573,00	577,00
6	09:30	532,00	564,00	566,00	571,00
7	09:45	536,00	571,00	587,00	561,00
8	10:00	547,00	568,00	571,00	582,00
9	10:15	551,00	594,00	582,00	593,00
10	10:30	537,00	574,00	575,00	580,00
11	10:45	537,00	578,00	578,00	592,00
12	11:00	531,00	566,00	572,00	582,00
13	11:15	529,00	575,00	587,00	575,00
14	12:45	530,00	569,00	584,00	567,00
15	13:00	532,00	571,00	578,00	585,00
16	13:15	536,00	574,00	586,00	584,00
17	13:30	537,00	575,00	574,00	581,00
18	13:45	530,00	567,00	577,00	566,00
19	14:00	528,00	578,00	568,00	584,00

Fonte: Autora

**ANEXO 6 – DADOS DO ESTUDO DE CASO PROVENIENTES DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA
UTILIZADA NA ANÁLISE DE RESULTADOS COM 25 AMOSTRAS E 25 ELEMENTOS**

<i>Posição 1</i>	<i>Peso (g)</i>				
	Amostras	1.1	1.2	1.3	1.4
1	563,00	552,00	558,00	562,00	562,00
2	519,00	517,00	523,00	521,00	521,00
3	519,00	542,00	520,00	527,00	528,00
4	524,00	520,00	537,00	532,00	517,00
5	535,00	526,00	522,00	527,00	521,00
6	536,00	535,00	541,00	541,00	536,00
7	553,00	553,00	554,00	550,00	552,00
8	514,00	512,00	518,00	517,00	522,00
9	537,00	537,00	537,00	535,00	536,00
10	571,00	556,00	562,00	558,00	562,00
11	528,00	534,00	528,00	529,00	532,00
12	539,00	537,00	540,00	536,00	539,00
13	526,00	485,00	519,00	551,00	519,00
14	516,00	521,00	556,00	525,00	527,00
15	555,00	522,00	488,00	521,00	522,00
16	542,00	538,00	587,00	544,00	542,00
17	535,00	531,00	537,00	534,00	540,00
18	546,00	548,00	539,00	541,00	547,00
19	570,00	538,00	540,00	574,00	543,00
20	607,00	539,00	608,00	537,00	574,00
21	521,00	512,00	515,00	522,00	524,00
22	538,00	531,00	533,00	535,00	530,00
23	521,00	528,00	529,00	519,00	522,00
24	506,00	503,00	550,00	510,00	510,00
25	514,00	514,00	515,00	550,00	515,00

Fonte: Autora

<i>Posição 2</i>		<i>Peso (g)</i>				
<i>Amostras</i>	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
1	526,00	535,00	526,00	525,00	533,00	
2	569,00	566,00	570,00	569,00	595,00	
3	556,00	588,00	566,00	567,00	539,00	
4	565,00	566,00	581,00	577,00	561,00	
5	569,00	569,00	563,00	561,00	567,00	
6	563,00	566,00	570,00	574,00	566,00	
7	523,00	522,00	522,00	518,00	555,00	
8	556,00	559,00	560,00	566,00	570,00	
9	570,00	569,00	571,00	565,00	573,00	
10	597,00	586,00	592,00	589,00	591,00	
11	556,00	561,00	555,00	558,00	558,00	
12	566,00	564,00	568,00	564,00	566,00	
13	555,00	551,00	551,00	548,00	550,00	
14	554,00	559,00	517,00	558,00	560,00	
15	534,00	558,00	553,00	555,00	554,00	
16	573,00	572,00	578,00	579,00	578,00	
17	568,00	568,00	570,00	570,00	575,00	
18	584,00	590,00	580,00	583,00	584,00	
19	602,00	572,00	574,00	612,00	570,00	
20	638,00	568,00	642,00	565,00	603,00	
21	558,00	561,00	549,00	554,00	559,00	
22	569,00	564,00	566,00	566,00	560,00	
23	556,00	560,00	561,00	551,00	554,00	
24	540,00	538,00	550,00	546,00	545,00	
25	547,00	544,00	560,00	547,00	513,00	

Fonte: Autora

<i>Posição 3</i>		<i>Peso (g)</i>				
<i>Amostras</i>	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	
1	580,00	575,00	584,00	591,00	592,00	
2	568,00	590,00	593,00	593,00	591,00	
3	581,00	615,00	592,00	572,00	600,00	
4	589,00	590,00	612,00	611,00	590,00	
5	563,00	561,00	558,00	557,00	561,00	
6	576,00	581,00	578,00	575,00	571,00	
7	557,00	560,00	555,00	491,00	555,00	
8	553,00	553,00	555,00	557,00	562,00	
9	578,00	575,00	578,00	574,00	567,00	
10	604,00	592,00	601,00	597,00	598,00	
11	564,00	566,00	562,00	567,00	564,00	
12	572,00	571,00	575,00	570,00	572,00	
13	550,00	551,00	553,00	550,00	554,00	
14	564,00	566,00	564,00	567,00	567,00	
15	563,00	562,00	562,00	567,00	563,00	
16	584,00	580,00	542,00	588,00	586,00	
17	570,00	577,00	577,00	578,00	584,00	
18	577,00	582,00	572,00	575,00	578,00	
19	616,00	578,00	582,00	622,00	584,00	
20	642,00	570,00	648,00	569,00	608,00	
21	562,00	565,00	551,00	556,00	560,00	
22	574,00	570,00	572,00	571,00	567,00	
23	564,00	567,00	567,00	558,00	561,00	
24	552,00	549,00	556,00	559,00	555,00	
25	557,00	555,00	559,00	514,00	561,00	

Fonte: Autora

<i>Posição 4</i>		<i>Peso (g)</i>				
<i>Amostras</i>	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	
1	586,00	588,00	575,00	582,00	579,00	
2	593,00	593,00	594,00	593,00	594,00	
3	543,00	559,00	546,00	590,00	597,00	
4	595,00	596,00	613,00	601,00	590,00	
5	557,00	561,00	555,00	524,00	555,00	
6	569,00	571,00	570,00	566,00	561,00	
7	548,00	549,00	560,00	550,00	546,00	
8	511,00	515,00	522,00	552,00	529,00	
9	567,00	567,00	571,00	568,00	564,00	
10	598,00	584,00	594,00	590,00	591,00	
11	557,00	554,00	556,00	560,00	557,00	
12	564,00	566,00	569,00	563,00	566,00	
13	522,00	561,00	560,00	555,00	555,00	
14	560,00	562,00	560,00	563,00	562,00	
15	556,00	556,00	555,00	559,00	563,00	
16	589,00	573,00	583,00	582,00	580,00	
17	573,00	571,00	572,00	573,00	579,00	
18	578,00	582,00	516,00	578,00	580,00	
19	610,00	573,00	576,00	616,00	577,00	
20	630,00	559,00	637,00	698,00	628,00	
21	553,00	557,00	541,00	550,00	551,00	
22	567,00	564,00	566,00	564,00	562,00	
23	558,00	559,00	552,00	552,00	518,00	
24	543,00	538,00	540,00	532,00	525,00	
25	546,00	550,00	549,00	547,00	554,00	

Fonte: Autora

<i>Posição 5</i>		<i>Peso (g)</i>			
<i>Amostras</i>	<i>5.1</i>	<i>5.2</i>	<i>5.3</i>	<i>5.4</i>	<i>5.5</i>
1	515,00	520,00	520,00	505,00	517,00
2	549,00	548,00	549,00	549,00	553,00
3	588,00	612,00	545,00	536,00	547,00
4	545,00	547,00	556,00	543,00	532,00
5	507,00	514,00	507,00	506,00	515,00
6	529,00	524,00	525,00	517,00	509,00
7	512,00	509,00	511,00	505,00	503,00
8	557,00	561,00	565,00	564,00	563,00
9	523,00	524,00	530,00	527,00	523,00
10	553,00	550,00	561,00	553,00	551,00
11	527,00	526,00	520,00	530,00	527,00
12	527,00	523,00	529,00	525,00	531,00
13	555,00	553,00	534,00	524,00	532,00
14	540,00	544,00	542,00	544,00	541,00
15	540,00	557,00	538,00	541,00	544,00
16	557,00	548,00	565,00	559,00	561,00
17	545,00	547,00	547,00	552,00	559,00
18	556,00	561,00	575,00	553,00	555,00
19	588,00	549,00	554,00	597,00	554,00
20	593,00	560,00	602,00	560,00	565,00
21	528,00	529,00	509,00	522,00	523,00
22	540,00	537,00	543,00	538,00	538,00
23	535,00	532,00	529,00	528,00	529,00
24	509,00	509,00	510,00	547,00	556,00
25	506,00	511,00	511,00	505,00	516,00

Fonte: Autora

**ANEXO 7 – TRABALHOS CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS PESQUISADOS SOBRE O TEMA
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO**

AEBTARM, S., BOUGUILA, N. An optimal bivariate Poisson field chart for controlling high-quality manufacturing processes. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 5498–5506, 2010.

BEREMAN, M. S., et al. Implementation of Statistical Process Control for Proteomic Experiments Via LC MS/MS. **J. Am. Soc. Mass Spectrom**, v. 25 p.581-587, 2014.

DOROUDYAN, M. H., AMIRI, A. Monitoring multivariate–attribute processes based on transformation techniques. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 69, p. 2161–2172, 2013.

EL-MIDANY, T. T., EL-BAZ, M. A., ABD-ELWAHED, M. S. A proposed framework for control chart pattern recognition in multivariate process using artificial neural networks. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 1035–1042, 2010.

GHOBADI, S., et al. Developing a multivariate approach to monitor fuzzy quality profiles. **Qual Quant**, v. 48, p. 817–836, 2014.

LEE, P. H., et al. The effect of the individual chart with variable control limits on the river pollution monitoring. **Qual Quant**, v. 47, p. 1803–1812, 2013.

MURAKAMI, H., MATSUKI, T. A nonparametric control chart based on the Mood statistic for dispersion. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 49, p. 757–763, 2010.

NOOROSSANA, R., EYVAZIAN, M., VAGHEFI, A. Phase II monitoring of multivariate simple linear profiles. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, p. 563–570, 2010.

WOOD, J., LAMBERT, M. F. CUSUM charts for monitoring clinical practice quality using primary care prescribing data: a case study of an initiative to encourage generic prescribing of proton pump inhibitors. **Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics**, v. 36, p. 680–686, 2011.

ZHOU, Q., LUO, Y, WANG, Z. A control chart based on likelihood ratio test for detecting patterned mean and variance shifts. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 54, p. 1634-1645, 2010.