



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MÉTODO DE IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO (CEP): UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA
ALIMENTÍCIA DO VALE DO TAQUARI/RS SOB A ÓTICA DA
METODOLOGIA DMAIC**

Lucas Tronco Civardi

Lajeado, novembro de 2017

Lucas Tronco Civardi

**MÉTODO DE IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO
PROCESSO (CEP): UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA
ALIMENTÍCIA DO VALE DO TAQUARI/RS SOB A ÓTICA DA
METODOLOGIA DMAIC**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Engenharia de Produção da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Cláudio Roberto do Rosário

Lajeado, novembro de 2017

RESUMO

A preocupação com a qualidade em produtos e serviços é um fator indispensável ao crescimento e amadurecimento das indústrias, sendo que muitos recursos das organizações são destinados para o desenvolvimento e aperfeiçoamento desta área. Para isto, o Controle Estatístico de Processo foi desenvolvido para manter os processos estáveis e para ter uma produção com itens homogêneos ao longo do processo. Desta forma, o presente trabalho traz um método para implementação do CEP em indústria de alimentos do Vale do Taquari/RS, sob a ótica da metodologia DMAIC. Para tanto, foram utilizados os métodos de pesquisa dialético, dedutivo e indutivo. A abordagem é classificada como quantitativa e qualitativa, tendo como objetivo geral do trabalho a pesquisa exploratória. Quanto aos procedimentos técnicos, foram desenvolvidas a pesquisa bibliográfica, a pesquisa documental e o estudo de caso. O estudo de caso consistiu em analisar as reclamações dos clientes para com os produtos da empresa, com finalidade de analisar quais características de qualidade tinham relação com as não-conformidades percebidas. Desta forma, foi realizado a construção da Casa da Qualidade, por meio do desdobramento do QFD, e identificado quais características da qualidade que afetam as principais reclamações dos clientes. Com esta identificação, foi possível realizar, através do planejamento de experimentos, uma análise das variáveis de controle que impactam o resultado final. Também foi identificado, através do cálculo da capacidade, que o processo atual é incapaz de atender as especificações do produto estudado. Com isto, por meio de ferramentas de qualidade, foram realizadas as propostas de melhorias no processo, bem como uma matriz de priorização para a resolução destas atividades, finalizando com um plano de ação de melhorias e um fluxograma prático de uma proposta de implementação do CEP na empresa. A conclusão do estudo é que a partir do trabalho apresentado, a empresa realize as melhorias propostas e diminua sua variabilidade, tornando o processo capaz e trazendo resultados positivos para a companhia.

Palavras-chave: CEP. QFD. DOE. DMAIC.

ABSTRACT

The concern with the quality in products and services has been an indispensable factor for the growth and maturation of the industries, and many resources of the organizations are destined for the development and improvement of this area. For this, the Statistical Process Control was developed to keep the processes stable and to have a production with homogeneous items throughout the process. In this way, the present work studied a method for implementation of the SPC in a food industry located at Vale do Taquari / RS, following the DMAIC methodology. For this, dialectical, deductive and inductive research methods were used. Regarding the methods of approach, the quantitative and qualitative approaches were used, with the exploratory research as a general objective. Regarding the technical methodologies used, the bibliographical research, the documentary research and the case study were developed. The case study consisted of analyzing customer complaints about the company's products, in order to analyze which quality characteristics were related to perceived nonconformities. In this way, the construction of the Quality House was carried out and identified which quality characteristics affect the main customer complaints. With this identification, it was possible to perform, through the design of experiments, an analysis of the control variables that impact the final result. It was also identified, through the calculation of the capacity, that the current process is unable to reach the specifications of the product studied. With this, through quality tools, proposals were made for improvements in the process, as well as a prioritization matrix for the resolution of these activities, ending with an improvement action plan and a practical flowchart of a SCP implementation proposal in the company. The conclusion of the study is that by making such improvements, the process tends to present capable and the variabilities presented before in the process will be smaller, bringing positive results for the company.

Keywords: SPC. QFD. DOE. DMAIC.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CEP	Controle Estatístico de Processo
DOE	<i>Design Of Experiments</i> – Projeto de Experimentos
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> – Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar
PR	Paraná
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i> – Planejar, Fazer, Checar, Agir
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Organização Internacional para Padronização
MASP	Método de Análise e Solução de Problemas
OHSAS	<i>Occupation Health ans Safety Assessments Series</i> – Sistema de Avaliação de Saúde e Segurança Ocupacional
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desdobramento da Função Qualidade
RJ	Rio de Janeiro
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
SPC	<i>Statistical Process Control</i> – Controle Estatístico de Processo
TQC	<i>Total Quality Control</i> – Controle da Qualidade Total
TQM	<i>Total Quality Management</i> – Gestão da Qualidade Total
5W2H	<i>When, Where, What, Why, Who, How, How Much</i> – Onde, Quando, O quê, Por quê, Quem, Como, Quanto custa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de produção de cerâmica	29
Figura 2 – Gráfico/Diagrama de Pareto	31
Figura 3 – Exemplo de histograma	32
Figura 4 – Gráfico de dispersão com <i>outliers</i> identificados	33
Figura 5 – Gráfico de dispersão com retirada dos <i>outliers</i>	34
Figura 6 – Modelo geral de um processo DOE	35
Figura 7 – Diagrama de Ishikawa	37
Figura 8 – Matriz de Priorização.....	38
Figura 9 – Estrutura da ferramenta 5W2H	40
Figura 10 – Gráfico sob controle para média X	44
Figura 11 – Gráfico fora de controle para média X.....	45
Figura 12 – Gráfico de Controle para Amplitude R.....	46
Figura 13 – Fórmulas para cálculos de limites de controle em relação ao tipo de gráfico.....	48
Figura 14 – Fórmulas para cálculos de medidas de dispersão usados	49
Figura 15 – Fórmulas para cálculo dos limites de controle em gráficos por atributos	50
Figura 16 - Fórmulas para cálculo das medidas de dispersão em gráficos por atributos	51
Figura 17 – Tamanho da Amostra conforme NBR 5429/1985	54
Figura 18 – Gráfico de controle para processo sob controle	55
Figura 19 – Gráfico de controle para processo fora de controle.....	56
Figura 20 – Distribuição dos pontos em uma variação normal	57
Figura 21 – Padrão anormais de variação de um processo.....	58
Figura 22 – Ciclo DMAIC.....	63
Figura 23 - Casa da Qualidade	65
Figura 24 – Quatro ciclos propostos para o QFD	68
Figura 25 – Casa da Qualidade	74

Figura 26 - Ciclo PDCA	80
Figura 27 – Fluxograma das etapas de execução do método científico	86
Figura 28 – Diagrama de pareto para reclamações dos clientes.....	93
Figura 29 – Matriz QFD	94
Figura 30 – Diagrama de Pareto do valor da importância das CQ's e seu percentual.....	95
Figura 31 – Fluxograma do processo produtivo.....	97
Figura 32 – Fluxograma do processo de envase	98
Figura 33 – Processo DOE	99
Figura 34 – Gráfico de Pareto	102
Figura 35 – Gráfico dos efeitos significativos	104
Figura 36 – Gráfico de interação.....	104
Figura 37 – Gráfico de Resíduos vs. Ordem de coleta	105
Figura 38 – Gráfico de Normal-Probabilístico.....	106
Figura 39 – Gráfico de Resíduos versus Valores Ajustados	106
Figura 40 – Gráficos de Probabilidade Normal	110
Figura 41 – Gráficos de Controle.....	111
Figura 42 – Gráficos de Controle Normalizados	112
Figura 43 – Gráfico de Capacidade do Processo	113
Figura 44 – Gráfico Capacidade com dados Sigma do processo	115
Figura 45 – Diagrama de Ishikawa	116
Figura 46 – Planilha para controle Estatístico de Processo	123
Figura 47 – Cartas de Controle	124
Figura 48 – Fluxograma da proposta de método de Implementação do CEP..	126
Anexo A – Fatores para Cartas de Controle por variáveis	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Folha de Verificação	27
Tabela 2 – Perguntas-chave na estrutura da Casa da Qualidade	64
Tabela 3 – Necessidades dos consumidores (NC)	69
Tabela 4 – Características da Qualidade	70
Tabela 5 – Simbologia usada na construção da matriz.....	71
Tabela 6 – Corpo da Matriz.....	71
Tabela 7 – Avaliação de mercado	72
Tabela 8 – Simbologia da matriz do telhado	73
Tabela 9 – Referências para o nível Sigma	76
Tabela 10 – Framework teórico entre CEP/DMAIC.....	88
Tabela 11 – Reclamações dos clientes.....	92
Tabela 12 – Valor da importância das CQ's e seu percentual de importância ..	95
Tabela 13 – Limites de especificação máximo e mínimo	100
Tabela 14 – Variáveis controladas e suas respostas	101
Tabela 15 – Coeficientes e estatísticas de significância do modelo	103
Tabela 16 – Parâmetros ótimos para os fatores estudados.....	107
Tabela 17 – Folha de Verificação para análise dos dados	108
Tabela 18 – Análise da causa raiz (5 Porquês)	117
Tabela 19 – Matriz de Priorização	119
Tabela 20 – Problema e solução proposta	119
Tabela 21 – Plano de Ação	120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema	14
1.1.1 Delimitação do tema	15
1.2 Questão de Pesquisa	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivos específicos	15
1.4 Justificativa	16
1.5 Estrutura da monografia.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Origem da Qualidade e um breve histórico.....	18
2.2 Gestão da Qualidade Total	21
2.3 Princípios da Gestão da Qualidade	22
2.4 Ferramentas da qualidade	25
2.4.1 Coleta de Dados	25
2.4.2 Folha de Verificação	27
2.4.3 Fluxograma.....	28
2.4.4 Diagrama de Pareto.....	29
2.4.5 Histograma	31
2.4.6 Diagrama de Dispersão ou correlação	32
2.4.7 <i>Design Of Experiments</i> (DOE).....	34
2.4.8 Diagrama de Ishikawa.....	36
2.4.9 Matriz de Priorização	37
2.4.10 <i>Brainstorming</i>	38
2.4.11 Sistema <i>Poka Yoke</i>	38
2.4.12 Plano de ação 5W2H	40
2.4.13 Análise dos 5 Porquês	40
2.5 Controle Estatístico de Processo (CEP).....	41
2.5.1 O conceito de variabilidade.....	42
2.5.2 Cartas de Controle	43
2.5.2.1 Cartas de Controle por variáveis	44
2.5.2.2 Cartas de Controle por atributos	49
2.5.3 Método e tamanho da amostragem	52

2.5.4 Controle do Processo	54
2.5.4.1 Processo sob controle.....	54
2.5.4.2 Processo fora de controle	56
2.5.5 Análise da variabilidade de processo e especificações	59
2.5.6 Capacidade do processo	60
2.6 DMAIC	62
2.7 QFD	63
2.7.1 Implementação de um projeto QFD	66
2.7.2 Benefícios desejados.....	66
2.7.3 Critérios para aplicação.....	67
2.7.4 Métricas para implantação	68
2.8 SIX SIGMA	75
2.9 MASP	77
2.10 PDCA.....	79
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	81
3.1 Método de Pesquisa.....	81
3.2 Metodologia quanto ao Modo de Abordagem	82
3.2.1 Abordagem qualitativa.....	82
3.2.2 Abordagem quantitativa	83
3.3 Metodologia quanto aos Objetivos	83
3.4 Metodologia quanto aos Procedimentos Técnicos	84
3.4.1 Pesquisa Bibliográfica.....	84
3.4.2 Pesquisa Documental	85
3.4.3 Estudo de caso.....	85
3.5 Planejamento do estudo.....	85
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
4.1 <i>Framework</i> teórico entre CEP e DMAIC.....	88
4.2 Desdobramento do <i>Framework</i>	89
4.2.1 <i>Define</i> - Definir.....	89
4.2.2 <i>Measure</i> – Medição	90
4.2.3 <i>Analyse</i> – Análise.....	90
4.2.4 <i>Improve</i> – Melhorar	90
4.2.5 <i>Control</i> – Controle.....	90
4.3 Empresa estudada	91
4.4 Descrição da empresa e mercado atuante	91
4.5 Estudo de caso.....	92
4.5.1 Etapa Definir	92
4.5.1.1 Etapas do processo de fabricação	96
4.5.2 Etapa Medir.....	98
4.5.2.1 Planejamento de Experimentos	100
4.5.2.2 Realização e Análise do Experimento	101
4.5.2.3 Otimização do processo	107
4.5.2.4 Controle Estatístico de Processo	108
4.5.3 Etapa Analisar	116
4.5.4 Etapa Melhorar	117
4.5.5 Etapa Controlar	122
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127

5.1 Conclusão.....	127
REFERÊNCIAS	130
ANEXOS.....	141

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento das primeiras empresas, sabe-se da necessidade de fazer produtos ou prestar serviços de qualidade, com intuito de fidelizar clientes e atendê-los de forma efetiva.

Com este preceito e devido ao cenário competitivo que as empresas estão introduzidas, ter um padrão de qualidade em seus produtos ou serviços é fundamental para se tornarem eficazes e competentes em seus ramos de atividade. Com o aumento do conhecimento da população e a busca por produtos com qualidade, a gestão das empresas precisou ser redirecionada, pois atendia apenas produtos e processos, onde englobava apenas questões internas e os desejos recentes dos consumidores (BARBOSA et al., 2015).

Desta forma, trabalhar melhorias de qualidade representa uma das formas das empresas concorrerem entre si. A alta concorrência fez com que as empresas passassem a ter uma maior preocupação em qualidade e em melhorias contínuas, buscando a melhor maneira de produzir, com recursos reduzidos e com ferramentas para auxiliar neste processo.

“Qualidade pode ser definida como um conjunto de atributos que tornam um bem ou serviço plenamente adequado ao uso para o qual foi concebido, atendendo a diversos critérios, tais como: operabilidade, segurança, tolerância a falhas, conforto, durabilidade, facilidade de manutenção e outros (MAXIMIANO, 2004, p.16).”

Com este conceito, Chiavenato (1983) propôs que a diferenciação de um produto é fruto de seu processo produtivo. Para que se obtenha isso, é indispensável acompanhar todo o seu ciclo produtivo, desde o delineamento do

produto até o consumidor. Na fase de projeto, devem-se identificar as propriedades que irão qualificar o produto, a fim de que sua produção saia dentro das especificações. Desta forma, a diferenciação em qualidade é o desenvolvimento de um serviço ou produto que siga às especificações, pois não se alcança qualidade se a mesma não estiver especificada.

Seguindo estes preceitos, a engenharia da qualidade é a união de técnicas e processos adotados para determinar normas e parâmetros de qualidade para um produto, com finalidade de detectar as características que não atendem estas diretrizes, evitando que chegue ao consumidor; também é responsável por acompanhar a produção, identificando e excluindo o que leve a não conformidades. Tradicionalmente, a engenharia da qualidade priorizava o controle, ou seja, por meio de controle de processo ou por inspeções de produto. Com uma visão mais moderna, a engenharia se preocupa com ações preventivas que façam garantir que a qualidade determinada seja obtida, utilizando o controle como instrumento gerencial (JURAN, 1990).

O horizonte atual, o qual é profundamente competitivo, força as empresas a buscarem novos métodos, para que seus produtos sejam mais atrativos do que dos concorrentes. Desta forma, os programas de melhorias da qualidade vivenciaram transformações, com a finalidade de se habituarem ao novo ambiente. A instalação de programas de qualidade como ISO 9001:2000 (gestão da qualidade), a ISO 14001 (gestão ambiental) e a OHSAS 18001 (gestão da segurança e saúde no trabalho) são formas de diferenciação para as companhias se tornarem competitivas no comércio que atuam (PINTO et al., 2007).

De acordo com Chow-Chua et al. (2003) e Rajan e Tamini (2003), as organizações que fizeram certificação ISO 9001:2000 apenas para poderem vender seus produtos para as empresas governamentais e para participarem de algum processo de licitação, tiveram muito investimentos na implantação do sistema e não tiveram retorno satisfatório. Em contra partida, Wilson et al. (2003) demonstrou através de estudo que as empresas que introduziram programas de melhorias de qualidade instigadas pela busca incessante em qualidade e alta conformidade em seus produtos e serviços, alcançaram resultados altamente positivos em seu retorno financeiro e na imagem da companhia.

De acordo com De Holanda (2003), para se introduzir um sistema de qualidade em uma companhia, é fundamental que seja aprovado pela direção, pois é

ela que tem o poder de decisão. Isto quer dizer que não é apenas a autorização para a implementação, mas também o compromisso e comprometimento da alta direção.

Para realizar esta implantação, a estrutura montada deve ser composta por um gerente de qualidade que esteja interligado diretamente com a direção da empresa, o qual terá como função coordenar os comitês e gerenciar os grupos de trabalho.

Depois de criado este conselho, há inúmeras maneiras de promover a implantação da gestão de qualidade. Alguns autores descrevem como fazer, mostrando as etapas e suas funções. Desta forma, Ishikawa (1986), Juran e Gryna (1988), Deming (1990) e Crosby (1988) apresentam ideias muito semelhantes para a implementação de Programas de Melhorias da Qualidade. De forma geral, os tópicos para a implementação dos programas são: i) Liderança da alta direção; ii) Organização; iii) Criar a estrutura e ter iniciativa para a mudança; iv) Treinamento; v) Eliminação de Barreiras entre Departamentos/Trabalho em Equipe e vi) Continuidade de Programas.

Nos valendo do conhecimento dos autores supra descritos, se conclui que suas observações são muito importantes, porém a decisão de qual será a melhor política para a empresa e de como implantar cada fase será de responsabilidade do comitê de gestão da mesma.

Segundo John Ruskin apud Siqueira (1997, pág. 5), “A melhoria da qualidade nunca é um acidente, mas sempre o resultado de um esforço inteligente”. Se valendo na concepção de melhorias contínuas, há várias ferramentas de qualidade que auxiliam o processo se manter estável, a fim de obter produtos e serviços padronizados e com qualidade garantida. Alguns autores, como Siqueira (1997), cita que o Controle Estatístico de Processo é uma base do Controle da Qualidade que resume-se em coleta, análise, interpretação de dados e a utilização deles em funções de melhorias e comando da qualidade dos serviços e produtos. Em 1924, W. A. Shewart, também conhecido como “pai” do Controle Estatístico do Processo, criou uma carta estatística de controle da variabilidade dos produtos, o qual deu início ao controle estatístico de processo.

Para Hradesky (1989), para uma empresa poder sobreviver, é importante saber que a busca por melhoria deve ser contínua, pois, caso contrário, o caminho da organização é a falência. Desta forma, o autor destaca que a organização deve ter um plano eficaz e que siga-o incansavelmente para certificar que ele opere

perfeitamente. Este processo sistemático de evolução da produtividade e da qualidade foi criado para surtir esta necessidade.

Conforme Toledo et al. (2013), o olhar atual do controle estatístico do processo (CEP) é exibido como uma maneira de administrar processos usando técnicas e formas obtidas da estatística e da engenharia de produção, buscando melhoria contínua e invariabilidade de um processo produtivo.

Outra ferramenta usada nas empresas é o DMAIC (do inglês *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) um alicerce do sistema Seis Sigma, e que cada vez apresenta mais seguidores que pretendem atingir níveis excelentes em qualidade nos seus produtos e serviços, possibilitando também aumentar os lucros e diminuir os prejuízos no mais variados negócios. Este método - DMAIC - pode ser de suma importância na estratégia da organização, propiciando a evolução de uma abordagem eficaz na definição do planejamento estratégico da mesma (ZORNIG, 2007).

Para Fernandes e Ramos (2006), o *Six Sigma* é usado frequentemente em grande escala nas empresas como meios de melhorias em processo, com finalidade de aumentar os rendimentos da organização e torná-la mais competitiva. Desta forma, o sistema Seis Sigma é passível de ser utilizado em várias áreas da empresa e em diferentes níveis de complexidade, não sendo apenas baseado em dados estatísticos, mas também na escolha de metas específicas, na integração dos funcionários e no seu empenho e no realinhamento cultural da empresa. Estas características são necessárias para o sucesso do método e é desta forma que esta metodologia deve agregar valor aos produtos e processos.

Desta forma, o objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um método de implementação do CEP por meio da integração com o método DMAIC em uma indústria de alimentos.

1.1 Tema

O tema está relacionado com um método de implementação do CEP (Controle Estatístico do Processo) em uma indústria de alimentos do Vale do Taquari/RS, a fim de diminuir perdas no processo fabril através da estabilidade do processo.

1.1.1 Delimitação do tema

O trabalho está limitado na coleta de amostras de uma linha de produção em uma indústria alimentícia, com intuito de estudar a aplicação da ferramenta de qualidade Controle Estatístico de Processo (CEP) em integração com as etapas da metodologia DMAIC, a qual foi usada como norteadora para o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), do Projeto de Experimentos (DOE) e de outras ferramentas da qualidade.

1.2 Questão de Pesquisa

Para serem mais eficientes que às outras, as organizações visam retirar todas as partes que não adicionam valor a seus produtos, com o intuito de diminuir seus custos e serem mais interessantes a seus consumidores. Desta forma, buscam métodos de produção que auxiliem uma produção enxuta, com um controle bem definido e pouco ou nenhum desperdício. Desta forma, apresenta-se a ferramenta CEP como uma das alternativas que contribui para o controle dos processos. Conforme Martins e Laugeni (2005), o CEP tem como finalidade controlar um produto em seu processo de industrialização, para atuar na eventualidade de ocorrência de alguma anomalia, para que a mesma seja detectada e o processo seja interrompido.

Desta forma, apresenta-se a questão de pesquisa: É possível propor um método de implementação do CEP com capacidade de estabilizar o processo e potencializar a eficiência produtiva da empresa estudada?

1.3 Objetivos

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver uma metodologia de implementação do CEP por meio da integração com o método DMAIC e outras ferramentas da qualidade em uma indústria de alimentos.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- i) Pesquisar na literatura sobre as etapas de implementação do CEP e conduta de apoio por meio do método DMAIC;
- ii) Pesquisar na literatura sobre ferramentas da qualidade e integrá-las na proposta de implementação do CEP;
- iii) Analisar a relação teórica entre o CEP e o DMAIC;
- iv) Analisar as variáveis e a variabilidade de um processo de forma a projetar a implementação do CEP;
- v) Desenvolver um modelo de implantação do CEP na empresa estudada, sob a ótica do PDCA.

1.4 Justificativa

Nas empresas, a área da qualidade é vista como um setor de apoio à produção, mas sua existência é de grande valia para que as organizações sejam lucrativas e competitivas no mercado. Com o intuito de assegurar as normalidades dos produtos e averiguar a estabilidade e capacidade do processo, o Controle Estatístico de Processo (CEP) manifesta-se como um instrumento valioso para confirmar tais atribuições, pois conforme Campos (1992), um serviço ou produto de qualidade é aquele que retrata pontualmente às especificações dos consumidores, ou seja, a qualidade é um decorrente que vem desde a fase inicial do projeto até o seu término, sendo que todas as ações tomadas durante este percurso irá afetar neste atributo.

Além do CEP, outra ferramenta que auxilia e melhora a performance operacional é o *Six Sigma* (Seis Sigma), a qual pode ser implantada em inúmeros níveis de complexidade, em qualquer setor ou organização. Conforme Fernandes e Ramos (2006), esta ferramenta não deve ser apenas usada em medidas estatísticas, mas também para desenvolvimento do planejamento, determinação de metas e até na integração dos funcionários. O método DMAIC é o mecanismo pelo qual se utiliza a capacidade Seis Sigma dos processos.

Como a competitividade das empresas está cada vez maior, o investimento em tecnologias que auxiliam e melhoram o processo produtivo se torna fundamental. Visto isso, o presente estudo aborda um método de implementação do CEP em uma indústria de alimentos.

1.5 Estrutura da monografia

O presente trabalho está estruturado em quatro seções:

A primeira parte refere-se a uma apresentação introdutória do assunto estudado, ou seja, sobre controle estatístico de processo em relação a metodologia DMAIC. Também é apresentada nesta seção delimitação do tema, questão da pesquisa, objetivo geral e específicos, justificativas do trabalho e descrição da empresa estudada.

Na segunda seção está a revisão da literatura sobre controle estatístico de processo, bem como a relação da metodologia DMAIC com o estudo. Também nesta seção estão estruturadas as origens da qualidade, os princípios da gestão de qualidade e as diversas ferramentas de qualidade com suas características de aplicação e melhorias.

No terceiro capítulo, é apresentado os procedimentos metodológicos do estudo. Nele está apresentado o método de pesquisa, a metodologia da pesquisa quanto ao modo de abordagem, quanto aos objetivos, quanto aos procedimentos técnicos e o planejamento de estudo. No final deste capítulo, ainda é apresentado um fluxograma das etapas de execução da metodologia científica.

No quarto capítulo são apresentados o desenvolvimento e a discussão do trabalho. Neste capítulo é realizado o framework teórico entre CEP/DMAIC, é apresentada a descrição da empresa e seu mercado atuante, o estudo de caso, que engloba todas as etapas do ciclo DMAIC, desde a descrição do problema até as melhorias propostas. No final do capítulo é projetado um fluxograma para implementação do CEP na empresa em estudo, descrevendo todos os passos que devem ser seguidos para sua implantação.

Por fim, no quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões da monografia, bem como os resultados positivos que a aplicação do trabalho pode trazer para a empresa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

É importante que se tenha fundamento teórico sobre o tema estudado, com intuito de obter uma melhor compreensão do que será estudado e relatado. Desta forma, nas próximas seções serão abordados conceitos relacionados ao Controle Estatístico de Processo sob a ótica da metodologia DMAIC, bem como outras ferramentas da qualidade que servem de auxílio para a execução e a proposta do estudo.

2.1 Origem da Qualidade e um breve histórico

De acordo com Oliveira (1993), até por volta do século XVII, as atividades produtivas eram desempenhadas pelos artesãos. Esta classe realizava todas as atividades de profissões liberais existentes: sapateiros, arquitetos, pintores, escultores, etc. O mestre artesão recebia aprendizes em sua oficina, a fim de estudarem o serviço. Estes ficavam grandes períodos, que chegavam a passar de dez anos, com intuito de aprenderem as técnicas da profissão. Apenas quando estivessem plenamente qualificados, eram realizados seus registros e assim poderiam exercer a atividade autonomamente.

O trabalho do artesão, em geral, era muito refinado e derivava na completa satisfação do cliente. Porém, esbarrava na pequena produção e no alto custo do produto ou serviço, o qual restringia a ascensão a poucos consumidores. Essa situação apenas mudaria na metade do século XVII, no momento que o comércio europeu elevou o crescimento da produção e o início das primeiras manufaturas,

onde um proprietário dava trabalho a diversos artesãos, os quais exerciam a atividade por meio de remuneração e a produção era arranjada por divisão do trabalho. Em 1776, com o surgimento e aperfeiçoamento da máquina a vapor por James Watt, as pessoas começaram a substituir o trabalho humano por outra energia. A partir disso, a máquina determinava a velocidade de operação e as fábricas eram construídas de acordo com os requisitos dos equipamentos, fato qual é datado como nascimento das fábricas.

Desta forma, o antigo artesão, que passara a ser funcionário da empresa, perde sua ligação direta com o consumidor e torna-se uma peça no quebra-cabeça da fábrica - um elo para obtenção do resultado final. Com isto, começam a aumentar o número de problemas, de acidentes de trabalho, de desperdícios, de limitações, de ineficácias das máquinas e despreparo de funcionários. Com a finalidade de sanar estes problemas, começam a ser implantados inspeções finais aos produtos e supervisões dos trabalhos.

Seguindo esta conduta, Chiavenato (1983) afirma que entre os séculos XVIII e XIX surgiram os primeiros economistas políticos com a finalidade de criar princípios de medidas e normas fabris. No século XX, com Taylor e Ford, a administração moderna se firmou.

Henri Fayol (1841-1925), francês, lançou conceitos de comando (onde cada trabalhador tem um único supervisor), direção (cada grupo de trabalho tem um gestor e uma conduta de operações), centralização (acúmulo do poder no topo) e cadeia escalar (organização da empresa por hierarquia), apontando as atividades que cada funcionário deveria praticar, assim como seus gestores operacionais.

Já Frederick Winston Taylor (1856-1915), americano, criou formas de remuneração para premiar os funcionários mais eficientes, pois entendia que o funcionário era incentivado por dinheiro – *homo economicus*. Além disso, apôs princípios de padronização de procedimentos, estudos de tempos, movimentos e supervisão funcional.

Apesar destes dois conhecedores retratarem várias ferramentas ainda utilizadas atualmente, as mesmas demonstraram algumas ineficiências para as organizações que as utilizaram, tais como: administração incompetente de aspectos humanos, divisão do trabalho prejudicando a colaboração das pessoas, relacionamento autocrático de gerentes a seus subordinados, entre outros. Estes problemas refletiram fortemente na produção industrial, trazendo consequências

como baixa produtividade, absenteísmo, furtos e rotatividade de mão-de-obra. Para solucionar estas questões nas empresas, foram elaborados Departamentos de Controle de Qualidade e desenvolvimento das técnicas de inspeção.

Por volta da década de 20, começaram a ser desenvolvidos os primeiros conceitos básicos de engenharia da qualidade pelo estatístico Walter Shewhart. Ele afirmava que o funcionário era capaz de entender, controlar e programar a produção e, com isso, criou técnicas para tal finalidade. Desta forma, formou-se o CEP (Controle Estatístico de Processo) e o ciclo de melhoria contínua, os quais foram aproveitados anos seguintes (JURAN, 1990).

Com a ferramenta em execução, foram identificadas que várias anormalidades aleatórias que aconteciam no processo eram normais, ou seja, o processo andava sob normalidade; porém se as mesmas ocorressem sistematicamente, haveria algum problema denominado “causa especial”, a qual deveria ser eliminada. Segundo Juran (1990), em 1924, Walter Shewhart criou as cartas ou gráfico de controle, onde eram medidos os dados provenientes das amostragens retiradas da produção, com intuito de verificar se o processo de produção estava controlado. Caso os valores achados estivessem fora dos limites de controle, estes deveriam ser raros e, por consequência, eliminados; de outra forma, algo que não fosse explicável, como ocorrência aleatória, deveria ser retirada para análise, pois esta poderia ser a causa de o processo ficar descontrolado. Dessa maneira, apenas as variações aleatórias permanecem no processo, tornando o mesmo de melhor qualidade dentro dos custos estipulados pela companhia.

Além disso, Shewhart, em 1938, introduziu o conceito de ciclo de melhoria contínua, também conhecido por ciclo PDCA, o qual é a apuração de uma não-conformidade em quatro estágios: planejar (*plan*, P), etapa a qual se intenciona a abordagem e se treina os indivíduos envolvidos no processo; executar (*do*, D), onde se coloca o planejamento em execução e se coleta medidas; checagem (*check*, C), se verifica os dados coletados e analisa os problemas identificados e ação (*act*, A), última etapa, onde atua-se sobre os problemas, corrigindo ou excluindo do processo, de modo a estar sempre melhorando e aperfeiçoando o processo.

Segundo Juran (1990), a qualidade é como “adequação ao uso” de um produto e serviço, que é fundamental para a constante evolução da qualidade, abrangendo todo ciclo, desde projeto e produção, até a comercialização do produto ou serviço.

Para complementar o estudo sobre a origem da qualidade, é fundamental abordar os conceitos sobre Gestão da Qualidade Total, a qual será abordada pela próxima seção.

2.2 Gestão da Qualidade Total

Os sistemas de gestão atuais têm suas origens nos conceitos do *Total Quality Management* (TQM). O sistema que segue o molde japonês de TQM considera o envolvimento de todos colaboradores de todas as partes da empresa e almeja atender suas necessidades, por meio da garantia da qualidade. Baseia-se no modelo em que toda organização tem como objetivo principal a sua sobrevivência e o TQM busca isso na satisfação dos funcionários (BERTOLINO, 2010).

O TQM cria uma vantagem competitiva sustentável, quando atende as necessidades e esperanças dos usuários, assim como usar inteligentemente os recursos que dispõe, com intuito de adicionar máximo valor ao produto final. Alguns objetivos deste método são:

- Aperfeiçoar a qualidade de atendimento ao consumidor;
- Reduzir custos, diminuindo trabalhos desnecessários;
- Melhorar a lucratividade e o crescimento;
- Garantir a integração dos funcionários, com comunicação vertical e horizontal, ou seja, entre vários setores;
- Aumentar a produtividade.

Segundo Cardoso et al. (2016), a finalidade do TQM é o aumento de valor contínuo. Para Chiavenato (2003), esta gestão deve ser introduzida através do aperfeiçoamento ativo de todas as pessoas da companhia na maneira como as operações são realizadas.

De acordo com Bertolino (2010), este método surgiu no Japão, logo após a II Guerra Mundial, provindo de ideias americanas. Além das contribuições de Taylor (1856-1915) e Shewhart (1891-1967), vistas anteriormente, o TQM apresenta contribuições de teorias humanísticas de Maslow (1908-1970), Herzberg (1923-2000) e McGregor (1926-1989). Ainda assim, os nomes que deram as maiores contribuições são de Deming (1900-1993), Juran (1904-2008) e Ishikawa (1915-1989). Deming (1900-1993) apresentou em seus ensinamentos a aplicação de métodos estatísticos; já Juran (1990) mostrou que a administração era responsável

por aproximadamente oitenta e cinco por cento das anomalias em qualidade, afirmando que o empenho da mão de obra na qualidade não era ideal.

Assim, por sua vez, Ishikawa (1915-1989) era responsável pela união destes conceitos de forma sistêmica e organizada, como é o TQM atualmente. Criou o diagrama de causa-efeito, a espinha de peixe (ou diagrama de Ishikawa), trabalhou em círculos de qualidade e demonstrou a importância das sete ferramentas da qualidade.

Quando a demanda era muito maior que a oferta, as empresas podiam produzir largamente seus produtos, sem se preocupar com o que o cliente pretendia, pois tudo que produzia era consumido, devido a escassa oferta. Atualmente, além de a demanda ter aumentado muito, a oferta multiplicou-se. Hoje, as organizações precisam se adaptar aos anseios dos clientes. Para Campos (2004), este olhar estratégico global da empresa tem por finalidade manter a empresa competitiva na escala mundial, para conseguir atender as mudanças que ocorrem no mercado.

Às organizações que estão atentas a essas mudanças criaram canais de comunicação com o mercado, promovendo bate-papo contínuo com o consumidor. Este caminho tem como finalidade captar o pensamento de seu cliente na etapa de aquisição do produto ou serviço, isto é, o que ele necessita, o que o ele espera da empresa, qual a postura dela, como será seu pós-compra, entre outros. Todos estes detalhes devem ser pensados pela organização e trabalhados como ponto de início no desenvolvimento de seus produtos e implantação de suas tecnologias. Também é importante que a organização apresente uma estrutura capaz de detectar erros nas etapas de seu processo produtivo, a qual deve ser melhorada continuamente (BERTOLINO, 2010).

Com intuito de identificar o pensamento do cliente e desenvolver uma estrutura eficiente, que seja capaz de melhorar o processo produtivo, é de suma importância apresentar conceitos sobre Princípios da Gestão da Qualidade, o qual estará apresentado no próximo capítulo.

2.3 Princípios da Gestão da Qualidade

As organizações que se preparam e buscam continuamente entender os desejos de seus consumidores, elaborando o planejamento e o desenvolvimento de seus produtos e serviços, com finalidade em atender os requisitos necessários de

forma confiável e precisa, geralmente se mantém no mercado e expandem seus negócios (MELLO et al., 2002).

Os princípios de qualidade foram criados para determinar o que uma companhia deve seguir para ter um bom funcionamento gerencial. Desta forma, pode-se afirmar que estes princípios são básicos para implantar a gestão da qualidade e que as empresas que desejam introduzir estas normas gerenciais devem executar os oito princípios da qualidade, os quais são:

1) Foco no cliente: Uma companhia precisa de seus clientes e, desta forma, precisa saber o que seus consumidores necessitam hoje e no futuro. Além de atender suas necessidades em preço, prazo e confiabilidade, precisa surpreender suas expectativas;

2) Liderança: O líder precisa focar seus liderados para atingirem os objetivos e intenções das organizações. Com isso, deve apresentar características de liderança. Ele também precisa entender o ambiente fora da empresa para conseguir atender às transformações do mercado, bem como ser um gestor de pessoas, entendendo suas necessidades, gerando comprometimento de seus liderados com a implementação de estratégias gerenciais, a fim de atender suas metas e objetivos;

3) Envolvimento das Pessoas: Os funcionários são o centro das empresas e suas competências são fundamentais para a prosperidade dela. A gestão não deve envolver apenas os líderes, mas de todas as pessoas, pois estão envolvidas nos resultados e na conquista dos objetivos das empresas. Isto mostra que é necessário desenvolver treinamento para as pessoas para atuação na resolução das adversidades;

4) Abordagem de Processo: Atividades e recursos bem gerenciados seguramente trarão resultados positivos para a organização, porém deverão ser muito bem organizados e definidos. Quando a organização tem seus processos bem demarcados e definidos, ela apresenta resultados mais precisos, onde consegue mensurar com maior detalhamento seus recursos, tendo assim ciclos de produção menores, redução de custos e variabilidade de processo;

5) Abordagem sistêmica da gestão: A eficiência e eficácia de uma companhia serão aumentadas pela identificação e gestão de processos inter-relacionados de um conjunto que é programada para atender um objetivo definido. Um processo sempre irá formar um produto ou serviço para outro processo, ainda que seja um processo que acontece no consumidor. Do modo que as empresas

apresentam vários processos, existem também vários colaboradores e abastecedores para cada processo. Entender que estes processos devem permanecer inter-relacionados para ter uma gestão eficaz é o objetivo desta fase;

6) Melhora Contínua: A melhora contínua precisa ser adotada pela empresa e estar ligada a seu processo, produtos e serviços, bem como destruir barreiras que afetam esta melhora. Isto necessita ser a meta da companhia constantemente;

7) Abordagem factual para tomada de decisões: Propõe que deve-se basear de referências e fatos antes de tomar providências, avaliando se os mesmos são confiáveis e importantes, e não apenas decisões por experiências ou instinto. Este propósito é apoiado na estratégia definida em dados adquiridos, obtendo maior conhecimento do comportamento do processo, promovendo melhorias e evitando futuras adversidades;

8) Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: a empresa e os fornecedores necessitam ter uma relação de parceria, tendo confiabilidade um ao outro. Para isso, a empresa precisa verificar quais são seus fornecedores-chaves, acordando compromisso mútuo, se ajudando por meio de plano de melhorias ou novos princípios. Esta cooperação é substancial, pois alcança-se um enorme diferencial competitivo através da alta capacidade dos produtos, prazo de entrega e satisfação do usuário.

Estes princípios necessitam ser aplicados seguidamente pelas organizações e é importante que todas as partes da mesma tenham um olhar claro de quão importante é a qualidade e como a sua presença promove o crescimento e o desenvolvimento da organização.

Por fim, Turbano et al. (2016) afirmam que a Qualidade Total é uma ferramenta gerencial de várias funções com instrumentos, formas e programas voltados ao controle de processos nas companhias, com finalidade de produzir bens e serviços com custo reduzido e com qualidade elevada, proporcionando elevar às expectativas dos clientes.

Conforme foram apresentados os princípios da gestão da qualidade nesta seção, torna-se pertinente retratar conceitos sobre ferramentas de qualidade e suas diversas aplicações no processo produtivo das indústrias.

2.4 Ferramentas da qualidade

Para realizar decisões e coordenar processos, é fundamental operar com dados e fatos, informações e concepções precisas para eliminar o empirismo. Para realizar este trabalho, há instrumentos poderosos e eficientes conhecidos como ferramentas da qualidade, que permitem coletar, processar e ordenar claramente as informações adquiridas (MARIANI, 2005).

A utilização destas ferramentas de identificação de problemas requer que se tenha uma reunião entre os interessados e que a resolução final tenham embasamento nos resultados de informações importantes, visitas *in loco*, reuniões técnicas com os responsáveis, entrevistas, entre outros. O grande diferencial destas ferramentas é quando são usadas para encontrar as causas raízes das não-conformidades e propor uma solução plausível (MATA-LIMA, 2007).

Devido as inúmeras ferramentas de qualidade existentes e suas diversas aplicações, este trabalho terá como ênfase desenvolver uma proposta de implementação do CEP por meio da integração com o método DMAIC em uma indústria de alimentos. Como o CEP e o método DMAIC são instrumentalizados por ferramentas da qualidade, se fez necessário expor as ferramentas de qualidade que possam ser usadas como mecanismos de integração do CEP e DMAIC, a seguir apresentadas como sub seção do tópico que aborda das ferramentas da qualidade.

2.4.1 Coleta da Dados

Coleta de Dados é a etapa prática da pesquisa com a utilização de mecanismos elaborados e técnicas escolhidas, com finalidade de realizar a coleta de dados previamente vistos, com execução de acordo com peculiaridades pré-estabelecidas. Ela auxilia analisar todos os pontos que estão sob pesquisa, sendo o marco inicial para a produção e realização de um trabalho. Com um projeto com delimitações e tema já definidos, o estágio seguinte será a coleta de dados e utilização das informações necessárias (GIL, 2002).

A coleta de dados pode ser segmentada em várias etapas, como:

- 1) Utilização de documentos: Àquela através de dados escritos como revistas, jornais, estatísticas e biografias. Para Gil (2002), estas fontes são as mais importantes, pois o pesquisador não precisa demandar tanto

tampo em pesquisa a campo se tiver estes dados disponíveis, até porque em alguns casos apenas é possível a investigação através destes manuscritos.

- 2) **Entrevista:** Para Gil (2002), entrevista pode ser a determinada como o método que o entrevistador se mostre frente ao entrevistado e faça perguntas, com intuito de conseguir dados que sejam aplicáveis a sua entrevista. Conforme Oppenheim (1993), a utilização de investigadores é importante quando existe perguntas abertas e quando é necessário redigir as respostas conforme o investigado.
- 3) **Questionários:** É muito utilizado em pesquisa qualitativa, geralmente em grande escala, levantando o ponto de vista política ou preferências do pesquisado. Dentre as vantagens, há a possibilidade de atingir um grande número de pessoas afastadas geograficamente, pouco gasto com pessoal na coleta destes dados e garantir o anonimato das respostas. Por outro lado, pessoas analfabetas não são passíveis de resposta e normalmente questionários apresentam apenas perguntas genéricas sobre determinado assunto, causando imparcialidade e falta de conteúdo para a pesquisa (GIL, 2002).
- 4) **Formulários:** De acordo com Vergara (2000), os formulários são o relação entre as questões e a conversa, os quais são redigidos pelo entrevistador a respeito das respostas oradas pelo entrevistado.
- 5) **Observação:** Conforme Cervo e Bervian (2002), a observação é de suma importância para o estudo da realidade da pesquisa e, sem ela, não haveria possibilidade de se ter precisão do assunto pesquisado, sendo intepretado e conduzido apenas por adivinhação. Desta forma, Marconi e Lakatos (1996) afirmam que a observação deve ser usada com outras formas de pesquisa, com a finalidade de que se tenha uma maior clareza do conteúdo investigado, pois esta atividade indica deficiências que podem ser sanadas e resolvidas com a utilização de outros instrumentos de pesquisa.
- 6) **Sociometria:** É o procedimento quantitativo que pretende esclarecer as relações entre os participantes de um mesmo grupo. Além disso, é possível indicar as posições de cada participante em relação aos demais, sendo muito aplicado em vários estudos (LAKATOS; MARCONI, 2003).

- 7) História de vida: Segundo Lakatos e Marconi (2003), é obtido dados através das experiências vividas de cada indivíduo e que seja importante o conhecimento deste fato para o assunto pesquisado. Por exemplo: como os indivíduos estudados atuam nas empresas e como sua rotina pode afetar o desempenho de sua função.
- 8) Amostragem: Para Gil (2002), as amostragens podem ser de várias maneiras, dependendo do tipo de população estudada e do tamanho de sua extensão. O estudo de amostragem é bastante empregado entre os pesquisadores, sendo utilizado em inúmeros tipos de pesquisas sociais.

2.4.2 Folha de Verificação

Segundo Vieira (1999), folha de verificação é o modo de relacionar informações, usada para que a investigação seja feita rapidamente e eficaz, além de ajudar a agrupar dados e resultados. É importante quando é usada para resolver problemas de segurança e qualidade. Sua construção deve ser realizada de acordo com as finalidades da investigação e os objetivos da companhia, também contendo data, local e nome do autor da investigação.

Para Vergueiro (2002), folhas de verificação são utilizadas para solução de problemas, a fim de verificar número de episódios de certo tipo de falha. São planilhas utilizadas para auxiliar a coleta e investigação dos dados, refletindo em economia de tempo e facilitando a análise do verificador.

Tabela 1 – Folha de Verificação

Descrição: Peças para montagem de bicicletas urbana simples (sem marcha)			
Empresa: Loja de bicicletas X			
Setor: Estoque			
Data de coleta: 23/11/2015			
CLASSE - DIREÇÃO			
TIPO DE PEÇA	QTD NO SISTEMA	QTD NO ESTOQUE	DIFERENÇA
Garfo			
Guidão			
Maçaneta			
Movimento de direção			
Parafuso expender Cross			
Total			

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al. (2016).

2.4.3 Fluxograma

Fluxograma é o traçado do fluxo das informações, pessoas e processos em uma empresa, auxiliado por setas e outras ferramentas gráficas, com intuito de auxiliar a visualização da sequência de um processo (SANTOS; MAURICIO, 2016). De acordo com Peinado e Graeml (2007), os fluxogramas são maneiras de demonstrar, por meio de simbologia, o passo a passo de um trabalho para facilitar a compreensão.

De acordo com Lins (1993), esta ferramenta tem como finalidade descrever os processos. Um processo é uma junção de máquinas, mecanismos, pessoas, e matéria-prima que formam um produto ou serviço com características peculiares. Desta forma, fluxograma é um instrumento de verificação e de representação gráfica do processo que se refere. Dentre os componentes do fluxograma, seguem:

a) Atividade: simboliza a realização de uma função ou de um movimento no processo, formada por um retângulo;

b) Decisão: é formada por um local do processo onde há uma decisão a ser realizada, por meio do acontecimento de algum episódio, formado por um losango;

c) Resposta: representa um retorno a uma decisão, graficamente apresentado dentro de um círculo;

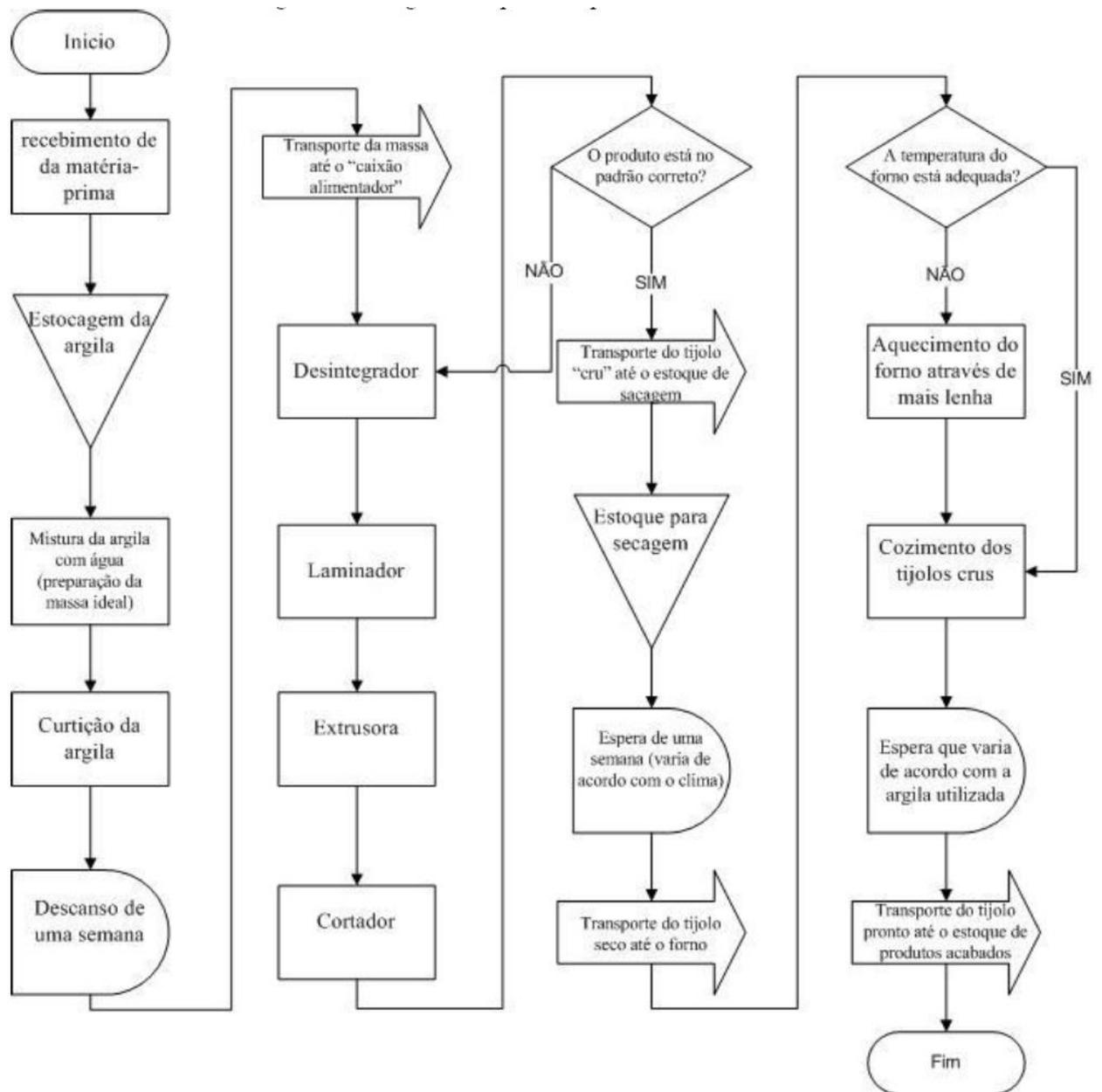
d) Início/fim: representa o início ou fim de um processo, representado por um retângulo com suas extremidades arredondadas.

Conforme Cruz (2002), existem diversos tipos de fluxogramas, os quais ele evidencia três: vertical, de bloco e sintético. A seleção de qual será utilizado em cada estudo se leva em conta como pretende-se apresentar o fluxo das tarefas.

Como vantagem, com o fluxograma é possível detectar e descobrir claramente o fluxo de um processo, isto é, traduzir o método. Outro benefício é que a criação do fluxograma mostra as alterações no processo, quando ele é efetuado por trabalhadores ou equipes de trabalhos distintas (LINS, 1993; DA SILVA et. al., 2016).

Portanto, a figura 1 a seguir é apresentado um exemplo de fluxograma de produção de cerâmica, onde estão descritas as suas principais etapas, bem como as decisões que influenciam o curso do processo.

Figura 1 – Fluxograma de produção de cerâmica



Fonte: Da Silva et al., 2016.

2.4.4 Diagrama de Pareto

O diagrama/gráfico de Pareto apresenta este nome pois foi criado e elaborado pelo economista italiano Vilfredo Pareto, que evidenciou que existia inúmeras causas comuns, de pequena importância, porém afetavam vigorosamente os processos industriais e gestão em geral. Desta forma, identificou quais eram as

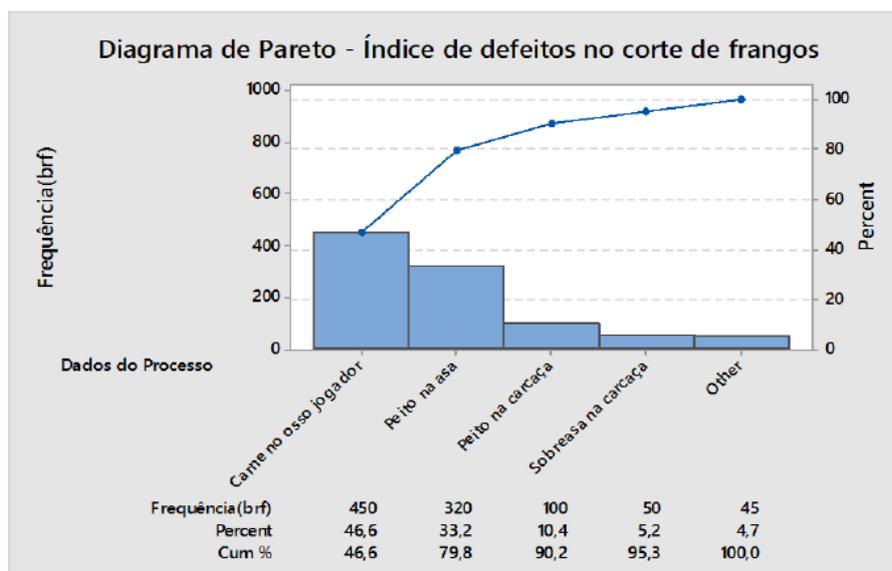
causas principais e atacou-as profundamente, de forma a alcançar o ganho máximo em termos de solução para o assunto em questão (LINS, 1993).

Conforme Carpinetti (2010), o diagrama de Pareto mostra que a maioria dos problemas e das não-conformidades nos processos das companhias estão diretamente ligadas a poucos problemas de qualidade. Para Campos (1992), o diagrama opera se valendo de uma metodologia simples de dividir os problemas em pouco importantes e muito simples.

Para Silva (1995), esta ferramenta serve para mostrar quantitativamente as fontes mais relevantes, de cima para baixo, apresentadas a partir da estratificação. Lins (1993) o resume à coleta de dados que, através de uma periodicidade estipulada, identificará os defeitos e os eliminará. O autor ainda descreve o gráfico como tendo aspecto de um código de barras, onde cada causa potencial é estratificada em valores da sua participação para o problema em estudo e organizada em ordem decrescente de importância ou de ordem de acontecimento. Portanto, as causas fundamentais são decompostas em níveis crescentes de características, até que se encontre às causas iniciais, para que sejam eficientemente enfrentadas.

Desse modo, Hanacleto et al. (2016) afirma que o diagrama de Pareto é conhecido também por diagrama 20/80, onde 80% dos problemas representa 20% das causas. Esta análise se deve pois Vilfredo Pareto conclui em sua época que poucas pessoas apresentavam um grande poderio econômico (20%), enquanto muitas pessoas detinham um baixo percentual deste poderio (80%). Assim, provou que mudanças na ordem de 70 a 80% dos problemas acumulados representavam um grande impacto em sua resposta. Na Figura 2 pode-se visualizar um exemplo de diagrama de dispersão para estratificar o índice de defeitos no corte de frangos.

Figura 2 – Gráfico/Diagrama de Pareto



Fonte: Hanacleto et al., 2016.

2.4.5 Histograma

Conforme visto no Diagrama de Pareto, é de ampla colaboração ver em gráfico de barras a regularidade com que certo episódio ocorre. O diagrama de Pareto apenas trata de peculiaridades de produto e serviço, ou seja, problemas, tipo de defeito, riscos. Já o histograma emprega e mensuração dos dados e mostra sua organização. Da mesma forma, sabemos que as causas repetitivas produzirão efeitos que variam conforme o tempo. Por isso, o histograma mostra o quanto este efeito varia no processo (BRASSARD, 1985).

Esta ferramenta de qualidade é empregada para descrever graficamente diversos dados numéricos. Em sua análise, é capaz de identificar e estudar os dados de forma mais rápida e eficiente, se comparado a utilização de uma tabela ou lista com estes dados descritos (KUROKAWA, 2002).

Segundo Lopes (1999), o histograma é uma representação gráfica composto de colunas utilizado na estatística. Apresenta em sua estrutura diversos retângulos, os quais representam as frequências que elas ocorrem. No eixo vertical estão dispostas as frequências que as atividades ocorrem e no eixo horizontal são introduzidos os intervalos de ocorrência delas.

Conforme Kurokawa (2002), uma característica muito importante para esta ferramenta é que com o histograma é possível mensurar a tendência aos valores

normais dos dados. Desta maneira, consegue-se investigar se há necessidade e possibilidade de aplicação do Controle Estatístico de Processo (CEP).

Para melhor entendimento, abaixo segue um exemplo de histograma que representa número total $[n_k]$ X probabilidade de ocorrência $[p_r(r_k)]$ (MARQUES; VIEIRA NETO, 1999):

Figura 3 – Exemplo de histograma

Nível de cinza (r_k)	n_k	$p_r(r_k)$
0	1120	0,068
1/7	3214	0,196
2/7	4850	0,296
3/7	3425	0,209
4/7	1995	0,122
5/7	784	0,048
6/7	541	0,033
1	455	0,028
Total	16384	1



Fonte: Marquês e Vieira Neto, 1999.

2.4.6 Diagrama de Dispersão ou correlação

De acordo com Jordan (2009), o Diagrama de Dispersão é considerado uma ferramenta muito importante, pois apresenta mecanismos que auxiliam na compreensão de dados, seu comportamento e suas ligações. Como primeira ação, é necessário definir o tipo de variedades existentes, que podem ser quantitativas ou qualitativas.

Se levar em consideração a utilização de duas variáveis simultâneas, existirão três possíveis combinações que são (WILD; SEBER, 2005):

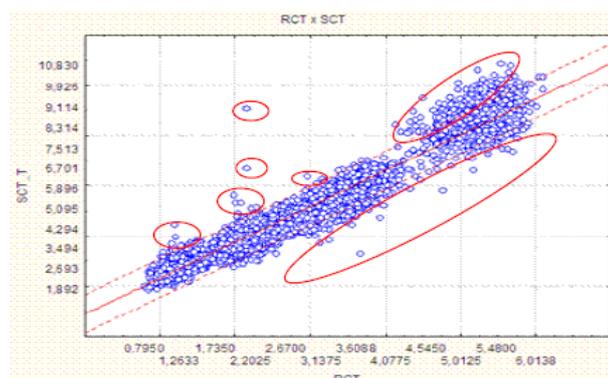
- 1) Quantitativa X Quantitativa;
- 2) Qualitativa X Qualitativa;
- 3) Quantitativa X Qualitativa.

Para cada combinação terá, ao menos, uma ferramenta que poderá pesquisar a relação entre as variáveis e fornecer dados para que seja possível o entendimento da melhor forma possível. Para o autor, quando uma das variáveis é qualitativa, há possibilidade de se utilizar gráficos de caixa, de pontos ou histograma. Porém, se duas variáveis forem qualitativas, a análise é denominada de tabulação cruzada.

Independente de o gráfico de dispersão mostrar direção, forma e intensidade da relação, Moore (2005) afirma que de forma visual e intuitiva, há uma fórmula estatística, que calcula o grau de associação linear, chamada também de correlação. O único porém desta fórmula é que entre variáveis de correlação linear igual a zero não haverá uma equação no gráfico de primeiro grau.

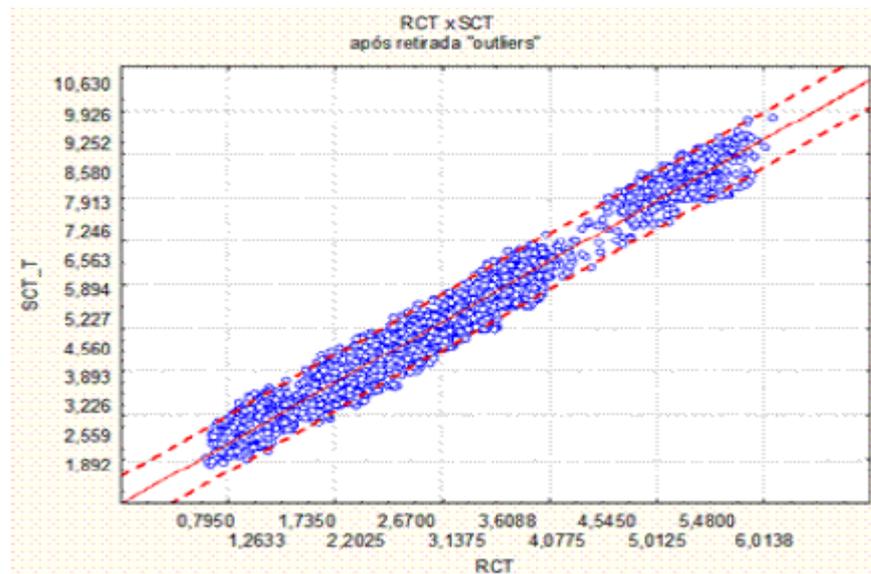
Desta forma, Jordan (2009) apresenta duas imagens de um gráfico de dispersão: a primeira é apresentada dados *outliers*, ou seja, dados estão bem distante dos demais, considerados como não-válidos para o estudo, pois eles podem afetar significativamente a média e o desvio padrão, desvalorizando os dados; já a segunda imagem é apresentado com os *outliers* eliminados (dados que estavam fora dos limites de regressão), podendo ser então analisado a relação entre as variáveis.

Figura 4 – Gráfico de dispersão com *outliers* identificados



Fonte: Jordan (2009).

Figura 5 – Gráfico de dispersão com retirada dos *outliers*



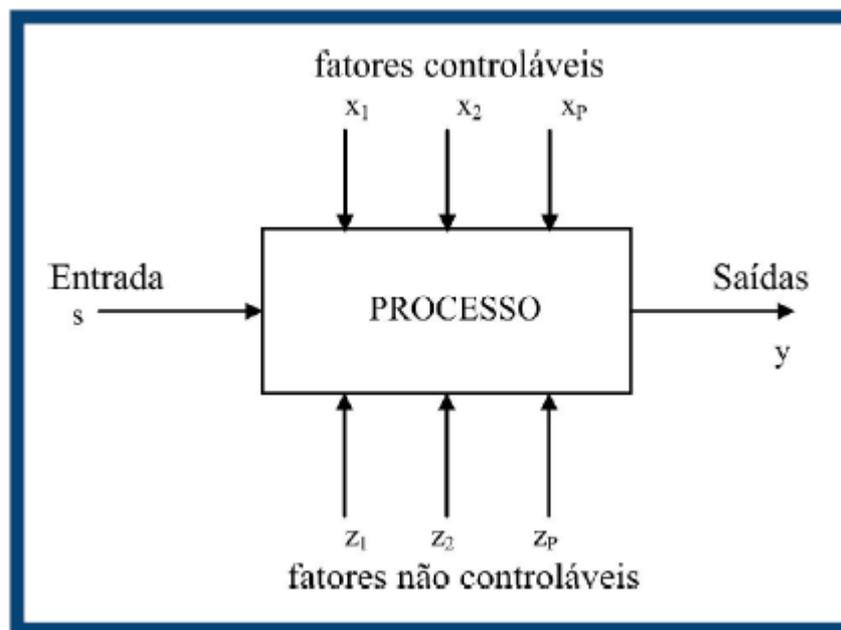
Fonte: Jordan (2009).

2.4.7 Design Of Experiments (DOE)

Segundo Silva e Silva (2008), a Metodologia de Planejamento e Análise de Experimentos ou Projeto de Experimentos – DOE – é uma ferramenta muito eficaz em benefício a produtividade e qualidade, que vem sendo usada e empregada cada vez mais no Brasil, principalmente em indústrias de automóveis, ressaltada pelo incremento estratégico do Seis Sigma. Este instrumento é utilizado para averiguar às operações dos sistemas produtivos, proporcionando análises e melhorias deste, por meio de redução de variabilidades, além da redução do tempo de processamento, diminuindo os custos industriais.

Este tipo de processo pode ser explicado de acordo com a figura 05. Percebe-se nela que o processo, como um arranjo de operações, pessoas, máquinas ou outros meios transformam entradas (normalmente materiais) em uma saída que tem uma ou mais variáveis. Várias destas variáveis são classificadas como controláveis ou não controláveis (MONTGOMERY, 2005).

Figura 6 – Modelo geral de um processo DOE



Fonte: Montgomery (2005).

Para Werkema (1996) e Montgomery (2005), as finalidades dos experimentos são:

- 1) Verificar quais variáveis x afetam na réplica y ;
- 2) Definir intervalos de valores para os itens controláveis x 's, com finalidade de ter cada item de controle centralizado no valor pretendido e com pequena variabilidade neste valor;
- 3) Definir intervalos de valores para os itens controláveis x 's, com finalidade de diminuir o comportamento dos itens não-controláveis z 's em relação ao processo.

Além disso, Silva e Silva (2008) afirmam que o Planejamento de Experimentos 2^k apresenta o menor número de corridas para que os k fatores tenham a possibilidade de serem analisados em um planejamento fatorial completo 2^k , tendo dois níveis para k fatores. Este fator é importante para realização de experimentos e uma competência de processo com custo menor, devido ao número de testes reduzidos.

Assim, Montgomery (2005) afirma que o DOE é pertinente também em trabalhos de projeto de engenharia, para que novos produtos sejam melhorados e os existentes sejam aperfeiçoados. Além disso, ressalta que para utilizar esta

metodologia é de suma importância que todos os envolvidos no projeto sejam preparados tecnicamente para entender qualitativamente como as informações serão estudadas.

2.4.8 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido por Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe, é uma ferramenta largamente usada atualmente, sendo utilizada para auxiliar na identificação das principais anormalidades do processo. A principal atribuição desse instrumento é quando pretende-se comparar a ligação entre o efeito e as causas de um procedimento produtivo que pode prejudicar o efeito desejado, facilitando constatar a causa imponente do problema em estudo. Nele, será detectada a razão potencial da adversidade, através da avaliação dos “6M’s”: mão de obra, máquina, matéria-prima/materiais, método, medida e meio ambiente (MONTEIRO et al., 2013).

Conforme Cury e Andion (2016), os motivos são dispostos em grupos, os quais são capazes de ser inseridos ou retirados conforme a circunstância. Para Siqueira (1997), Batista e Gois (2013) e Megna et al. (2016), os “6M’s” são definidos da seguinte forma:

- Máquinas: Referente ao desgaste das ferramentas, ajuste de máquinas, flutuações elétricas, hidráulicas, pneumáticas, entre outros. Quando isto ocorrer, haverá possível variabilidade no processo estudado;

- Métodos: Caráter ou forma de como o procedimento está sendo executado. Tecnologias utilizadas podem afetar o processo e causar variações;

- Mão de Obra: Forma que o funcionário executa o processo, suas condições físicas e o seu treinamento afetam a sua *performance* na execução da tarefa, transferindo isto para o produto;

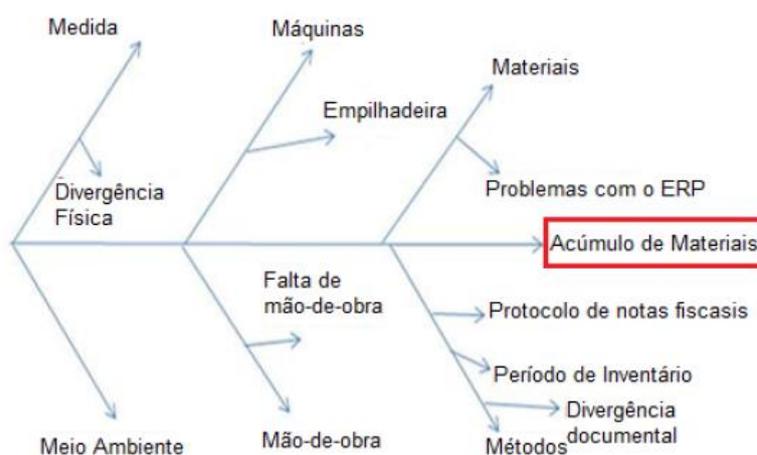
- Materiais: Matérias-primas que não foram previamente inspecionadas podem apresentar alguns defeitos, pois são resultantes de outros processos de fabricação. Resistência a tração, durabilidade, composição química e porosidade são algumas características de diferentes materiais que podem afetar a especificação do produto acabado;

- Meio ambiente: Luminosidade, temperatura, umidade e radiação são capazes de influenciar na característica do produto produzido;

- Medidas: Imperfeições nos equipamentos de medição, equipamento mau utilizado ou inadequado afetam na leitura correta das características do produto e, desta forma, contribuem diretamente nas variações dos produtos finais. Este tipo de causa representa cerca de dez por cento do total das variações.

Desta forma, segue na Figura 7 um exemplo de Diagrama de Ishikawa para acúmulo de materiais de um processo produtivo.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Megna et al., 2016.

2.4.9 Matriz de Priorização

Conforme Megna et al. (2016), a Matriz de Priorização interrelaciona dados em relação a sua prioridade, sendo um meio de apresentar anormalidades com intuito de priorizá-los. Normalmente, utiliza-se parâmetros de 1 a 5, ou 1 a 10. A matriz Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) é uma das mais usadas, pois quantifica as causas de acordo com gravidade, urgência e tendência.

De acordo com Holanda et al. (2013), estas matrizes auxiliam na tomada de decisões para as companhias e preferencialmente devem estar indicadas de acordo com seu efeito e vigor.

Desta forma, segue a Figura 8 um exemplo de matriz de priorização GUT, bem como a quantidade total das causas mais influentes para priorização.

Figura 8 – Matriz de Priorização

Causa Influyente	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Protocolo de notas fiscais	5	5	3	75
Falta de mão-de-obra	3	5	1	15
Problemas com empilhadeira	3	1	1	3
Periodo de Inventário nos galpões de estoque	1	3	3	9
Falha nos sistemas ERP da empresa	3	3	1	9
Divergência física de materiais	3	1	3	9
Divergência documental	3	1	3	9

Fonte: Megna et al., 2016.

2.4.10 Brainstorming

O *Brainstorming*, conhecido também como “tempestade de ideias”, é formado por uma reunião de indivíduos expondo suas experiências para solucionar uma incompatibilidade. Ele é um estudo prévio e rápido, que dura cerca de dez a quinze minutos, com a finalidade de não torná-lo desgastante e auxiliar na identificação do problema em estudo (MONTEIRO et al., 2013).

Segundo Meireles (2001), é uma ferramenta relacionada com a criatividade, pois ela é usada para se ter o maior número de ideias possíveis dentro de um grupo sobre um assunto pré-definido. De outra forma, Daychoum (2010) afirma que esta ferramenta é utilizada para agrupar a maior parte de ideias do grupo participante, até encerrar todas as possibilidades possíveis.

Neste mesmo conceito, Miguel (2006) afirma que o *Brainstorming* tem como finalidade ultrapassar as pressões de reuniões convencionais, transformando o ambiente mais agradável, para que possibilidades criativas apareçam.

2.4.11 Sistema *Poka Yoke*

Segundo Nogueira (2010), a palavra *Poka-Yoke* é de origem japonesa e significa “prevenção de defeitos”. Este sistema foi implantado e desenvolvido por Shingo, em 1961, na Toyota. Este sistema, também conhecido como “mecanismo a prova de falhas”, possui recurso que indica ao empregado a forma correta de realizar determinada operação, não deixando que ela seja executada de forma incorreta, obstruindo interferências – principalmente humanas – na operação da

função. Este sistema tem característica de inspeção cem por cento, não necessitar a atenção contínua do trabalhador ao produto produzido, reduzir/eliminar falhas por meio de correções imediatas e, por fim, ser de baixo custo e de simples utilização.

Além disso, este tipo de sistema pode sinalizar, com avisos sonoros ou visuais, a presença de anomalias no processo, sem ter que suspender a produção. Resumidamente, este tipo de sistema evita que algo fora do padrão aconteça na linha ou permite que esta anomalia seja prontamente identificada. Para Shingo (1996), a oportunidade de localizar anomalias rapidamente é de suma importância, já que a maioria destes problemas são ocasionados por erros não intencionais, causados pela falta de atenção, ocorrendo de forma aleatória. Assim, os erros não reverterão em defeitos (produtos fora dos limites de especificação) caso forem retirados antecipadamente.

O sistema à prova de erros - *Poka Yoke* – pode desempenhar três atribuições básicas: aviso, controle, paragem. Conforme Shimbun (2008) e Sissonen (2008), estas atribuições são desempenhadas da seguinte forma:

- O erro está prestes a ocorrer – sistema *Poka-Yoke* informa o acontecimento da falha;
- O erro aconteceu, mas não ocasionou anomalia – *Poka-Yoke* controla;
- O erro ocasionou em uma falha – o sistema interrompe o processo, proibindo a passagem de produtos com problemas.

De acordo com Nogueira (2010), o método de aviso é o menos eficaz se for comparado às outras, o qual necessita alerta do trabalhador. As luzes e avisos sonoros são geralmente utilizados quando o impacto dos defeitos é pequeno ou por motivos técnicos e econômicos serem inviáveis para aplicação de outro método.

Em contrapartida, os métodos de controle e paragem são mais eficientes para proteção contra anomalias e defeitos no processo. Quando uma anomalia é detectada, o processo é interrompido, impossibilitando a ocorrência de defeitos; este é o sistema de produção japonês que designa que o trabalhador interrompa imediatamente a produção da linha quando for encontrado anomalias, a fim de corrigí-las mais rapidamente possível.

2.4.12 Plano de ação 5W2H

Conforme Hanacleto et al. (2016), o 5W2H opera em dois objetivos: investigar um problema e propor um plano de ação. Este instrumento traduz-se em apresentar um obstáculo da forma como ele acontece em um determinado momento, exibindo como ele pode abalar o processo e as partes interessadas dele. Além disso, ele pode ser usado como plano de ação para procedimentos que precisam ser guiados e realizados com clareza.

Para Hanacleto et al. (2016) e Megna et al. (2016), esta ferramenta traz sete perguntas básicas, apresentadas na figura abaixo:

Figura 9 – Estrutura da ferramenta 5W2H

Método 5W2H			
5W	What?	O quê?	O que aconteceu?
	Who?	Quem?	Quem era o responsável?
	Where?	Onde?	Onde aconteceu?
	When?	Quando?	Quando aconteceu?
	Why?	Por quê?	Por quê aconteceu?
2H	How?	Como?	Como aconteceu?
	How much?	Quanto custa?	Quanto custou?

Fonte: Hanacleto et al. (2016).

Após realizar o levantamento das respostas deste formulário composto por estas perguntas, é possível identificar as causas potenciais e, conseqüentemente, precisar respostas para o mesmo (HANACLETO et al., 2016).

2.4.13 Análise dos 5 Porquês

É um instrumento que auxilia no reconhecimento da causa raiz de uma não-conformidade por meio de perguntas que conduzem aos porquês de algum problema. Ele consiste em perguntar, em no mínimo cinco vezes, porquê determinado acontecimento ocorre sobre o problema em questão. Para cada resposta apresentada, deve-se novamente realizar uma nova pergunta,

sucessivamente. É uma forma simples de encontrar a causa do problema e que apresenta resultados importantes e atrativos (DOS SANTOS et al., 2017).

Conforme Vilela e Chiroli (2017), esta ferramenta ajuda no mapeamento de processos, contribuindo na correção das anomalias apresentadas, possibilitando constatar a causa raiz do problema.

Conforme foram apresentadas algumas das ferramentas de qualidade mais utilizadas, que servem de auxílio e de apoio para o objetivo principal do trabalho, abaixo segue outra ferramenta operacional de grande importância, o Controle Estatístico de Processo (CEP), sendo apresentado seus conceitos, suas fórmulas e as diversas formas de aplicação no processo produtivo das empresas.

2.5 Controle Estatístico de Processo (CEP)

A utilização da estatística para avaliação da qualidade em um processo começou a ser introduzida no século XX, com o desenvolvimento de gráficos de controle por Walter A. Shewhart (1924), conhecido como pai do Controle Estatístico da Qualidade. Além disso, o intuito deste controle estatístico aplicado aos processos produtivos é entender como funciona o processo.

Com isso, este instrumento deriva-se de técnicas que examinam as alterações no processo produtivo, com objetivo de precisar a sua origem e a periodicidade que elas ocorrem. Esta análise é realizada por mensuração de variáveis importantes no processo ou do número de anomalias por itens, ou ainda por número de itens com defeitos por amostra, mostrado em termos absolutos ou relativos. O CEP trouxe o conceito de capacidade, que é o comportamento normal de um processo, já atuando com um controle estatístico. Esta configuração seria a exemplar, onde o processo opera com resultados previstos. Também vale salientar que isto só ocorre se forem retiradas todas as influências sobre o processo de causas externas a ele (PALADINI, 2012).

De acordo com Montgomery e Runger (2009), o CEP surge como um instrumento importante para controlar e verificar a qualidade de produto, por meio de aplicação de métodos que possibilitam estabilizar e diminuir a variabilidade existente no processo produtivo. Para Samohyl (2009), esta ferramenta tem por finalidade estabilizar e tornar capazes os processos, sem ser refém apenas da inspeção para confirmar se o produto está de acordo com as especificações determinadas.

Para a implementação e aplicação do CEP, algumas peculiaridades devem ser observadas, as quais são (PALADINI, 2012):

- Para determinar capacidade de um processo e avaliar se o processo está ou não controlado, são utilizados conceitos que não aceitam métodos baseados em improvisações ou ensaio-erro. Assim, é necessário ter grande conhecimento técnico em estatística quem lidará com o instrumento;

- Há várias decisões técnicas na implantação do CEP: tipo de controle a ser utilizado, como determinar o gráfico mais adequado para o problema, como desenvolver estudos de capacidade ou que ações compõem o controle do processo. Estas decisões precisam ser vistas com cuidado, pois alguma decisão errônea pode comprometer todo o processo de análise;

- A implantação do CEP segue um roteiro bem definido, as quais são desde a listagem dos padrões de qualidade, de desvios e defeitos a eles associados, até a definição de experimentos, análise do processo e toda sistematização do processo de controle.

Por fim, Galuch (2002) afirma que a finalidade do Controle Estatístico de Processo é evitar que sejam produzidos itens fora das especificações. Com isso, é possível garantir as particularidades do produto, diminuindo os custos de retrabalho e perda, amplificando o rendimento da empresa.

2.5.1 O conceito de variabilidade

Segundo Siqueira (1997), o conceito de variabilidade afirma que não existem duas coisas exatamente iguais. Assim, pode-se notar que nunca teremos dois objetos produzidos exatamente iguais. Estas variações podem ser naturalmente percebidas, como diferença entre tamanho dos produtos, ou muito pequena, podendo ter variação no peso de um determinado produto. Quando as variações são bem minúsculas, os produtos são aparentemente iguais. Isto acontece devido os instrumentos de medida utilizados, podendo ser percebidas tais variações com ferramentas mais precisas e adequadas.

As principais causas das variações em itens produzidos são divididas em dois grupos, que seguem abaixo (MARTINS; LAUGENI, 2005):

- **Causas comuns:** são definidas como aleatórias e inevitáveis, onde a variação do processo segue em distribuição uniforme. Tendo como exemplo, o peso

de um produto qualquer seguirá em uma distribuição uniforme se o processo manifestar causas comuns que apresentem seus valores entre os limites de controle;

- **Causas especiais:** são os motivos os quais deve ser estudado o processo. Estas variações acontecem por motivos identificáveis e que podem ser abolidos. Este tipo de variação altera o curso normal do processo, sua média e desvio padrão, por apresentarem seus atributos fora dos limites de controle.

Desta maneira, existem seis elementos que colaboram para essas oscilações no processo, que são: Máquinas, Métodos, Materiais, Meio ambiente, Mão de Obra e Medida (SIQUEIRA, 1997). Segundo Dantas et al. (2014), estes fatores são derivados de uma ferramenta conhecida como Diagrama de Ishikawa, a qual é utilizada para determinar todas as causas possíveis do problema.

Assim, quando estes fatores estão presentes de forma normal, diz-se que o processamento está sob controle, uma vez que variações deste tipo são geralmente de pequeno valor e difícil de serem distinguidas. Porém, quando causas não-comuns estão no processo, a variação se torna grande e o processo é classificado como fora dos limites de controle, sendo o momento adequado para estudo de melhorias no processo (SIQUEIRA, 1997).

2.5.2 Cartas de Controle

Segundo Costa et al. (2005), o Controle Estatístico do Processo tem como objetivo reduzir as variabilidades em qualidade presentes no processo, pois aplicando-o se tem melhoria de produtividade, confiabilidade e custo do produto estudado. Assim, um dos procedimentos usados no CEP são as cartas de *Shewart*, que tem como finalidade verificar o equilíbrio do processo, investigando se elas estão sob causas comuns ou se estão sendo afetadas por causas especiais. As cartas de controle são empregadas com intuito de exibir as ocorrências de causas especiais que não estão entre os limites de controle previstos.

Para Galuch (2002), a carta ou gráfico de controle é o instrumento mais considerável do CEP, pois permite visualizar e estudar as variações do processo produtivo, proporcionando fazer ações de correção diretamente quando acontece os desvios. Desta forma, mantém-se o processo dentro das especificações exigidas, além de garantir conformidade no item.

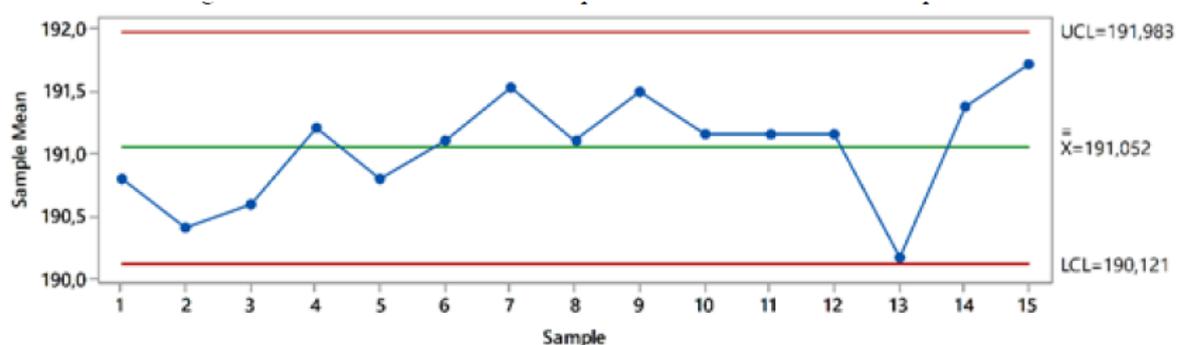
As cartas do CEP estão divididas em duas categorias: Cartas de controle por variáveis ou cartas de controle por atributos. A primeira é utilizada quando a variável estudada tem uma medida, sendo a mais utilizada. A segunda apresenta apenas característica de identificar os itens em conformes ou não-conformes (COSTA et al., 2005).

2.5.2.1 Cartas de Controle por variáveis

Estes tipos de cartas são empregadas para supervisionar elementos de diversas variáveis ao mesmo tempo, podem ser duas ou mais de um determinado processo. Este tipo de carta se baseia em relações significativas entre as variáveis que se analisa. Desta forma, estas cartas são recomendadas para um acompanhamento das variáveis com maior precisão, uma vez que as cartas de controle por atributos causam muitos alarmes negativos no processo, proporcionando uma análise errônea do produto ou processo (MONTGOMERY, 2004).

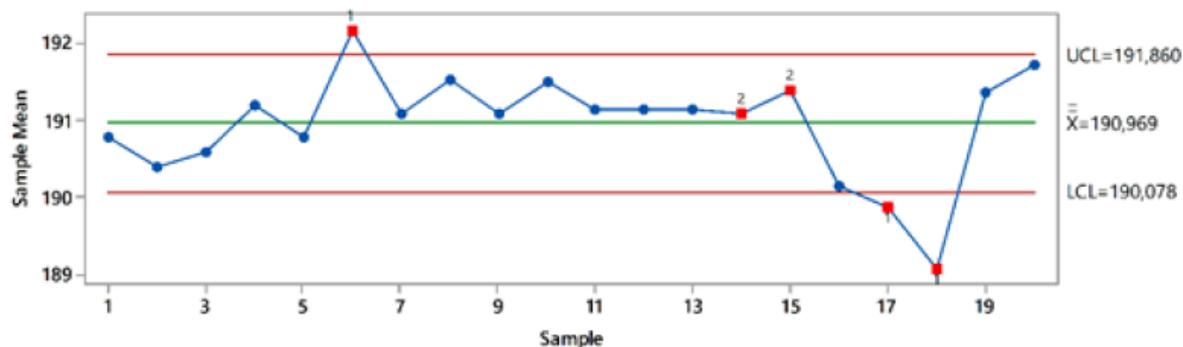
Assim, conforme Siqueira (1997) e Silva et al. (2016), uma carta de controle é um documento gráfico da qualidade de uma particularidade de um determinado produto. Dentre os tipos de cartas de controle, a carta \bar{X} é empregada para detectar a oscilação do valor médio das características determinadas das amostras coletadas.

Figura 10 – Gráfico sob controle para média \bar{X}



Fonte: Silva et al. (2016).

Figura 11 – Gráfico fora de controle para média X



Fonte: Silva et al. (2016).

Conforme observados nas Figuras 10 e 11, a figura 10 apresenta um processo controlado, o qual está sob ação de causas comuns.

Para a figura 11, percebe-se que o gráfico apresenta pontos além dos limites de controle. O eixo horizontal é conhecido como número do subgrupo, o qual identifica uma amostra composta de um número fixo de peças. Estes subgrupos estão em ordem crescente, sendo todos inspecionados, começando pelo número um e indo até o número vinte. Já o eixo vertical do gráfico é a variável controlada, ou seja, o atributo a qual está sendo estudado, podendo ser peso, volume, etc.

A utilização das médias em lugar das individuais é feita pelo fato de que os valores médios apresentam mais rapidamente as mudanças nos processo. Além disso, subgrupos com duas ou mais medidas apresentam valores para cálculo de dispersão dentro de cada subgrupo.

Ainda sobre a imagem, a linha representada pela cor verde pode ter três funções diferentes: pode ser a média dos dados coletados, pode ser um valor de referência evidenciando dados históricos ou ainda pode ser a média da população, $\bar{\mu}$, quando este valor for conhecido. As duas linhas vermelhas são os limites de controle do gráfico, onde UCL (limite superior de controle) e LCL (limite inferior de controle), os quais são utilizados para definir a significância da variação da qualidade do item estudado. Geralmente, limites de controle e limites de especificação são confundidos, sendo o segundo a tolerância permitida por item estipulado pelo órgão regulador e o primeiro limite é calculado.

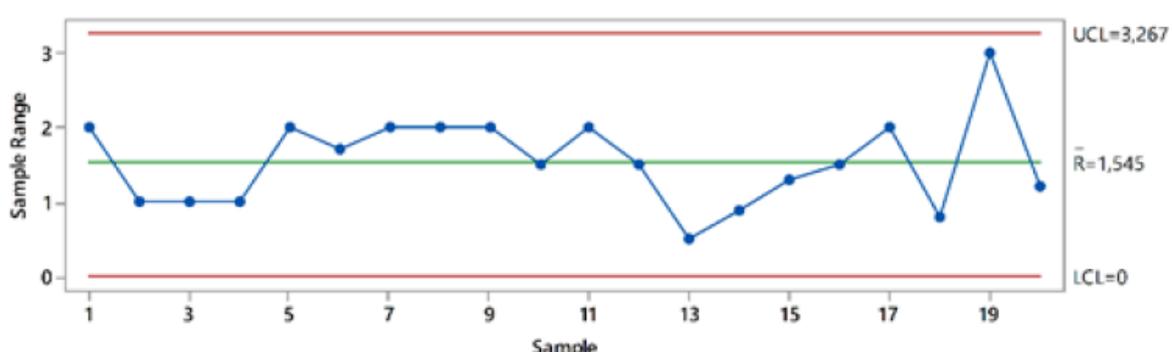
Desta forma, limites de controle são utilizados para verificar as variações de qualidade entre os subgrupos. Deste modo, para a Carta \bar{X} , os limites são estabelecidos pelo tamanho e pela média dos subgrupos estudados.

Desta maneira, para calcularmos gráficos de controle e termos um melhor estudo e entendimento dele, necessitamos utilizar a carta \bar{X} de média com um outra carta de controle que proporcione estudar a variabilidade deste processo. Estas cartas se diferenciam conforme o tamanho de amostras do subgrupo estudado.

Para Vieira (1999), Rebelato et al. (2006), Duarte et al. (2016), Silva et al. (2016), Menezes et al. (2016), Montgomery (2012) os principais gráficos de controle são:

- Gráfico de Controle \bar{X} e R (média e amplitude) com tamanho de amostra (n): este tipo de gráfico de controle é interessante usá-lo quando o tamanho do subgrupo das amostras for entre dois e dez e sempre apresentarem mesmo tamanho. A variabilidade do processo é analisada através da diferença entre o maior e o menor número dos dados, o qual será calculada a amplitude. Embora os cálculos para este tipo de gráfico sejam de fácil resolução, a denominação da oscilação no processo é feita com pouca exatidão; por isso é interessante apenas utilizá-lo para cálculo com amostras pequenas. Abaixo segue exemplo de um gráfico de controle R (amplitude):

Figura 12 – Gráfico de Controle para Amplitude R



Fonte: Silva et al. (2016).

- Gráfico de Controle \bar{X} e S (média e desvio padrão) com tamanho de amostra (n) fixo: neste tipo de gráfico, a variabilidade é indicada de acordo com o desvio padrão, apresentando maior precisão em comparação ao gráfico \bar{X} e R, pois são manipulados todos os valores do subgrupo, e não exclusivamente o maior e o

menor valor do cálculo da amplitude do cálculo \bar{X} -R. Em contrapartida, este tipo de gráfico deve ser mais cauteloso quando for utilizado, por ser mais difícil de aplicação. Este gráfico se mostra interessante utilizá-lo em amostras grandes, com subgrupos de tamanho maior que dez amostras;

- Gráfico de Controle \tilde{X} méd e R (mediana e amplitude): com o gráfico \tilde{X} méd e R há uma maior clareza no controle do processo, por não haver um compromisso de cálculo numérico. Todavia, a mediana é um estimador com menor relevância se comparado com a média;

- Gráfico Xi e MR (valor individual e amplitude móvel): Neste tipo de gráfico são usados valores individuais nas medições e não valores médios usados pelos gráficos anteriores. Para este tipo de gráfico são destinados em casos pontuais com pequena produção e com baixa variabilidade, quando o tamanho do subgrupo for igual a um, isto é, exibir somente um componente para estudo. Para utilizar o gráfico ideal, usa-se X como valor individual e R a amplitude do processo com valor total entre a diferença entre os dois valores pessoais consecutivos de cada amostra.

Para calcular e descobrir os limites dos gráficos de controle da média e da amplitude, Rebelato et al. (2006) propôs a utilização das seguintes fórmulas:

Figura 13 – Fórmulas para cálculos de limites de controle em relação ao tipo de gráfico

Tipo de Gráfico	Limites de Controle	
	Gráfico	Fórmulas
\bar{X} e R	Média	LSC = $\bar{X} + (A_2 * \bar{R})$ (1)
		LIC = $\bar{X} - (A_2 * \bar{R})$ (2)
	Amplitude	LSC = $D_4 * \bar{R}$ (3)
		LIC = $D_3 * \bar{R}$ (4)
\bar{X} e s	Média	LSC = $\bar{X} + (A_3 * \bar{s})$ (5)
		LIC = $\bar{X} - (A_3 * \bar{s})$ (6)
	Desvio-padrão	LSC = $B_4 * \bar{s}$ (7)
		LIC = $B_3 * \bar{s}$ (8)
\bar{X}_{med} e R	Mediana	LSC = $\bar{X}_{med} + (A_2 * \bar{R})$ (9)
		LIC = $\bar{X}_{med} - (A_2 * \bar{R})$ (10)
	Amplitude	LSC = $D_4 * \bar{R}$ (11)
		LIC = $D_3 * \bar{R}$ (12)
X_i e R	Valor individual	LSC = $X + (2,66 * \bar{R})$ (13)
		LIC = $X - (2,66 * \bar{R})$ (14)
	Amplitude	LSC = $3,267 * \bar{R}$ (15)
		LIC = 0 (16)

Fonte: Rebelato et al. (2006).

Para calcular os valores das medidas de dispersão \bar{x} , \bar{R} , \bar{s} e S_b , são utilizadas as fórmulas que seguem (Duarte et al., 2016):

Figura 14 – Fórmulas para cálculos de medidas de dispersão usados

MEDIDAS DE DISPERSÃO	FÓRMULAS
$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i \quad (17)$
\bar{R}	$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (18)$
\bar{S}	$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i \quad (19)$
S_i	$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (20)$

Fonte: Duarte et al. (2016).

Onde:

- $\bar{\bar{X}}$ é a média das médias das amostras dos subgrupos;
- \bar{X} méd é a mediana das amostras;
- X_i é o valor individual da amostra;
- \bar{R} é a amplitude média das amostras;
- \bar{S} é a média do desvio padrão das amostras;
- LSC é o limite superior de controle;
- LIC é o limite inferior de controle.

As constantes A2, A3, B3, B4, D3 e D4 procedem através do tamanho do subgrupo amostral e encontram-se tabuladas para vários valores de n (ANEXO A).

2.5.2.2 Cartas de Controle por atributos

Conforme Duarte et al. (2016) e Vieira (1999), muitas informações de qualidade não são passíveis de mensuração numérica, ou seja, não podem ser representadas numericamente. Assim, nestes casos os itens são verificados conforme suas especificações e são classificados como conforme ou não-conforme.

Assim, os gráficos de controle por atributos são decompostos em dois grupos distintos, quais são divididos em outras duas classificações (MONTGOMERY, 2012; VIEIRA, 1999):

- Gráficos de controle não-conforme (p) e para números de não-conformes (np): O gráfico p é a divisão entre a quantidade de itens não-conforme da amostra pelo tamanho total da amostra. Desta forma, este gráfico é usado quando se pretende controlar a fração ou parte de produtos com anomalias em uma amostra, podendo ser utilizado para amostras constantes e variáveis. Já o gráfico np é utilizado apenas para monitorar os itens não-conformes em amostras de tamanho constante.

- Gráficos de controle para número de não-conformes por unidade (u) e para número de não-conformidades (c): O primeiro é utilizado para mostrar o número de defeitos por unidade, quando o tamanho amostral é variável. Já o segundo é usado para monitorar a quantidade de não-conformidades em amostras de tamanho constante.

Assim, Duarte et al. (2016) apresenta as fórmulas necessárias para cálculo dos limites de controle dos gráficos por atributo, que seguem abaixo:

Figura 15 – Fórmulas para cálculo dos limites de controle em gráficos por atributos

GRÁFICO	LIMITES DE CONTROLE
p	$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$ (21)
	$LC = \bar{p}$ (22)
	$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n}$ (23)
np	$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$ (24)
	$LC = n\bar{p}$ (25)
	$LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$ (26)
u	$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$ (27)
	$LC = \bar{u}$ (28)
	$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$ (29)
c	$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$ (30)
	$LC = \bar{c}$ (31)
	$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ (32)

Para calcular os valores das medidas de dispersão \bar{p} , \bar{u} e \bar{c} são utilizadas as fórmulas abaixo (Duarte et al., 2016):

Figura 16 - Fórmulas para cálculo das medidas de dispersão em gráficos por atributos

MEDIDAS DE DISPERSÃO	FÓRMULAS
\bar{p}	$\bar{p} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m D_i \quad (33)$
\bar{u}	$\bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i \quad (34)$
\bar{c}	$\bar{c} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (35)$

Fonte: Duarte et al. (2006).

Onde:

- \bar{p} é a média de itens não-conformes divida pelo número total amostral;
- \bar{np} é a média de itens não-conformes;
- \bar{u} é média da variação dos números de defeitos por unidade;
- \bar{c} é a média de não-conformidades;
- m é o número de amostragens;
- n é o número de amostras;
- LSC é o limite superior de controle;
- LC é a linha central;
- LIC é o limite inferior de controle.

De acordo com a NBR 5426/1985 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos – os defeitos ou não-conformidades podem ser categorizados conforme sua gravidade. Dentre as classificações, eles podem ser descritos como defeitos críticos, graves ou toleráveis. Os primeiros podem produzir ameaças ou condições inseguras para quem for utilizar o produto, além de ser capaz de impedir o funcionamento de alguma função importante de um produto complexo;

os graves são defeitos que não são críticos, porém pode ocasionar uma falha ao produto destinado; e, por fim, os defeitos toleráveis são aquelas que não diminuem significativamente a funcionalidade de um produto e não ocasionam sérios problemas em suas aplicações.

Ainda de acordo com a NBR 5426, para podermos definir o plano de amostragem a utilizar, devemos definir o nível de qualidade aceitável (NQA) do produto, ou seja, a máxima porcentagem defeituosa que pode ser determinada satisfatória como média de um processo. Deste modo, o NQA, em companhia com o código literal do tamanho da amostra, é utilizado para classificar o plano de amostragem. Vale ressaltar que a delimitação de um NQA não configura que o fornecedor pode enviar unidades de produtos defeituosos para a empresa estudada.

Desta forma, o plano de amostragem é o projeto que define o número de produtos de cada lote que devem ser inspecionados e os critérios para aceitação do lote. Como possibilidade de aceitação ou negação do lote, a resposta deve ser fixada junta com o plano de amostragem, em companhia de seu NQA.

2.5.3 Método e tamanho da amostragem

Conforme já foi citado anteriormente, os dados adquiridos serão transferidos a cartas de controles as quais serão responsáveis em realizar o estudo das amostras coletadas. Desta forma, Siqueira (1997) esclarece que há dois procedimentos para coleta das amostras: o método instantâneo e o método periódico.

O primeiro limita-se na retirada das amostras da produção simultaneamente, ou seja, a coletada realizada consecutivamente. Já o segundo método compreende a retirada das amostras aleatoriamente, em um determinado período do tempo, ou seja, a cada intervalo de tempo é retirado o mesmo tamanho da amostra, de forma periódica.

Comparando os dois métodos acima, observa-se que o método instantâneo apresenta variação dos itens do subgrupo menor do que o método periódico. Por outro lado, o periódico apresenta variação entre os subgrupos menor que o método instantâneo. Apesar disso, normalmente se utiliza o método de coleta instantâneo, pois nele é capaz de se ter referência com o tempo e identificar as possíveis causas especiais das oscilações. Além disso, para um estudo confiável, a retirada das

amostras deve sempre ser efetuada pela mesma máquina, mesmo operador, mesmo molde, etc., a fim de se obter dados homogêneos e sem vícios.

Segundo Siqueira (1997) e Rebelato et al. (2006), para definir o tamanho dos subgrupo de amostragem, deve-se considerar algumas situações, tais como:

- Na proporção que o subgrupo cresce, os limites de controle vão ficando cada vez mais próximos, tornando a carta cada vez mais sensíveis às mudanças das médias das amostras;

- Com o aumento do subgrupo, aumenta-se o custo para a inspeção das amostras. É interessante verificar se o aumento da verificação do subgrupo justifica o aumento do custo da verificação;

- Quando as amostras coletadas são destruídas ou ficam impróprias para utilização após as análises, deve-se reduzir o tamanho do subgrupo, para o estudo não ser de alto custo para a companhia;

- Quando a variável apresentar comportamentos fora do normal, deve-se utilizar subgrupos maiores, para que os dados da média móvel tenham um desempenho normal.

Observa-se que não existe nenhuma regra específica para determinar o tamanho do subgrupo e o número de subgrupos que devem ser analisados para a elaboração de uma carta de controle. Esta escolha deve ser de acordo com o volume da produção da empresa, o custo de verificação destas amostras e a significância do dado obtido, permitindo uma resposta rápida e eficaz para o responsável, para o mesmo poder verificar o processo e realizar providências necessárias no processo. Para auxiliar na escolha da correta quantidade amostral, a NBR 5429/1985 apresenta uma tabela que evidencia o tamanho do amostra de acordo com o tamanho do lote produzido, a qual segue:

Figura 17 – Tamanho da Amostra conforme NBR 5429/1985

TAMANHO DO LOTE	TAMANHO DA AMOSTRA
66 - 110	10
111 - 180	15
181 - 300	25
301 - 500	30
501 - 800	35
801 - 1.300	40
1301 - 3.200	50
3201 - 8.000	60
8001 - 22.000	85

Fonte: SIQUEIRA, 1997, p. 14.

2.5.4 Controle do Processo

Nesta etapa, estão descritos como se apresentam os processo sob controle e fora de controle, bem como as peculiaridades de cada um.

2.5.4.1 Processo sob controle

Quando não se tem mais causas especiais em um processo produtivo e os pontos da carta estão entre os limites de controle, enuncia-se que este está sob controle, ou seja, que o processo está estável. Dentre as características do processo sob controle, o gráfico deve apresentar os seguintes aspectos (SIQUEIRA, 1997; HRADESKY, 1989):

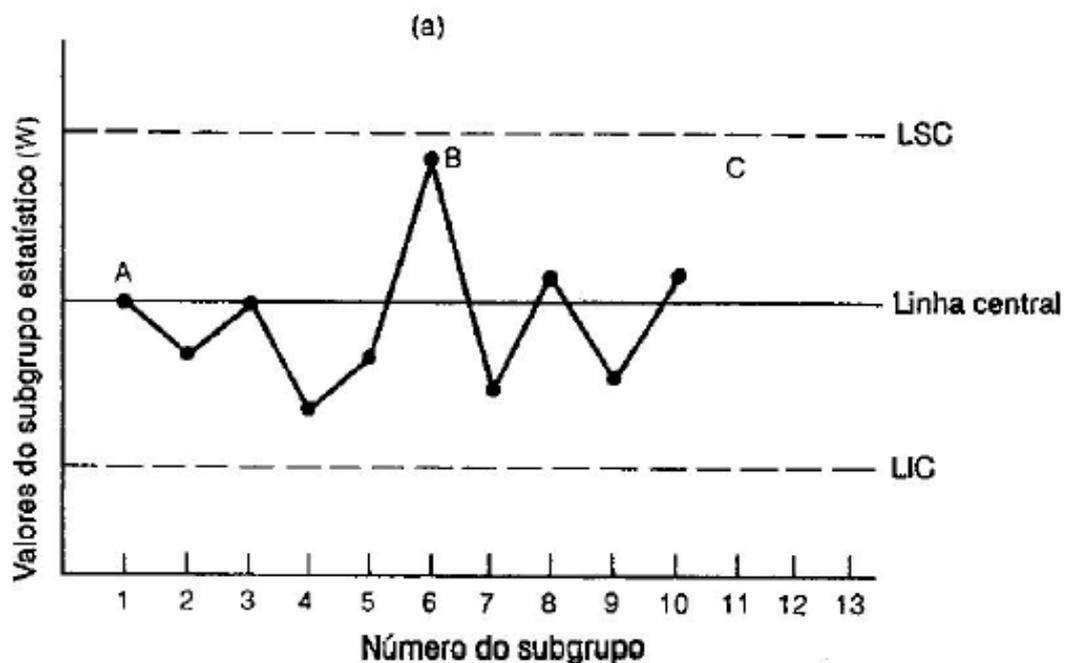
- Dois terços dos pontos ficam perto da linha central;
- Os pontos ficam distribuídos balanceadamente, entre os limites de controle;
- Pouco ou nenhum ponto fica no limite da linha de controle;
- Os pontos estão todos dentro dos limites de controle, sem nenhum ultrapassar tais demarcações.

Para Siqueira (1997), os limites de controle devem ser fixados mais ou menos três sigmas, ou seja, três desvios padrões da linha média. Esta opção de limites considera questões econômicas e erros de categoria I e II. O primeiro erro é quando se pretende encontrar causas especiais de variação que não está presente no

processo, sendo presente cerca de 0,27% de erro (cerca de três em mil) para estes limites três sigmas. Já o erro de categoria II ocorre quando acha-se que o erro que ocorre no processo é de causa comum de variação, porém, na realidade, sua ocorrência apresenta uma causa especial. Com isto, é possível afirmar que os limites de controle três sigma oferecem um ótimo custo em relação a estes tipos de erros e a seus custos de verificação do processo.

Desta forma, pequenas alterações nos operadores, nas máquinas e nos materiais são consideradas causas comuns de variação e estarão presentes no processo produtivo, confirmando que o processo assegura-se sob controle.

Figura 18 – Gráfico de controle para processo sob controle



Fonte: HRADESKY, 1989, p. 174.

O processo sob controle apresenta diversos benefícios para a companhia e para o consumidor, tais como (HRADESKY, 1989; SIQUEIRA, 1997):

- Produtos que foram processados singularmente terão atributos de acordo com as especificações, ou seja, serão uniformes;
- Com os produtos uniformes, não será necessário uma grande coleta de amostras para averiguar às conformidades;

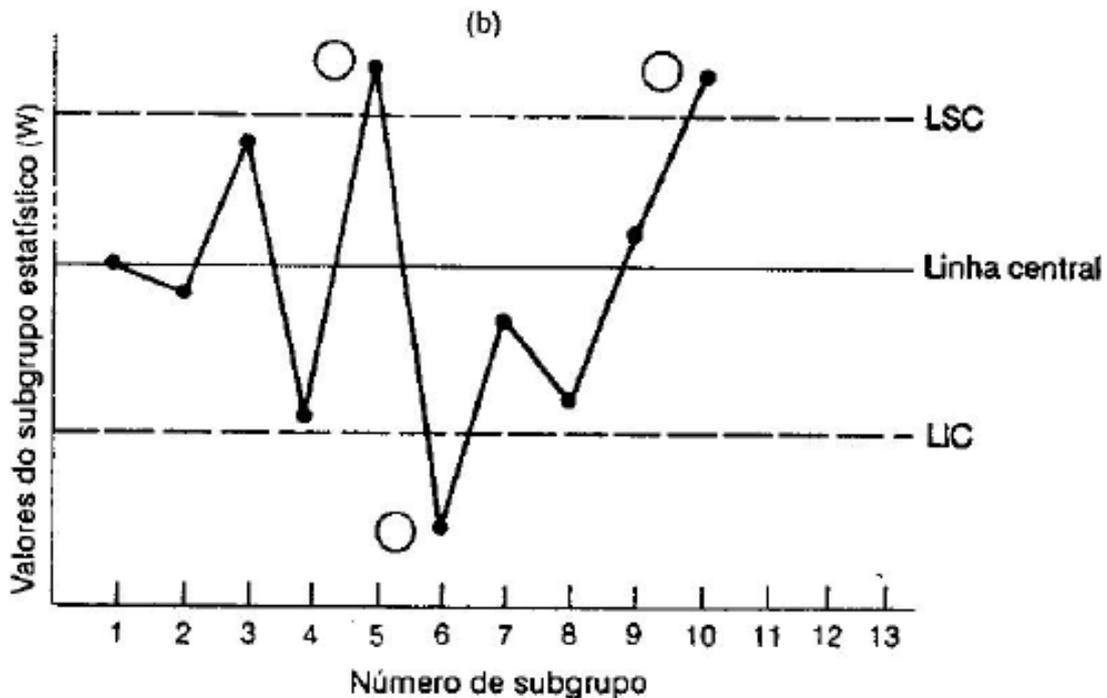
- A empresa trabalha com performance adequada, em relação à qualidade dos produtos;
- É possível descobrir facilmente a variabilidade do processo, auxiliando na tomada de decisões sobre as especificações do produto estudado.

2.5.4.2 Processo fora de controle

Este tipo de processo é evidenciado quando um ou mais pontos estão além dos limites de controle, categorizando-o como instável. Ou seja, uma causa especial de variação está ocorrendo no processo (HRADESKY, 1989; SIQUEIRA, 1997).

Desta forma, abaixo segue uma imagem que evidencia um gráfico de um processo fora de controle (HRADESEKY, 1989):

Figura 19 – Gráfico de controle para processo fora de controle

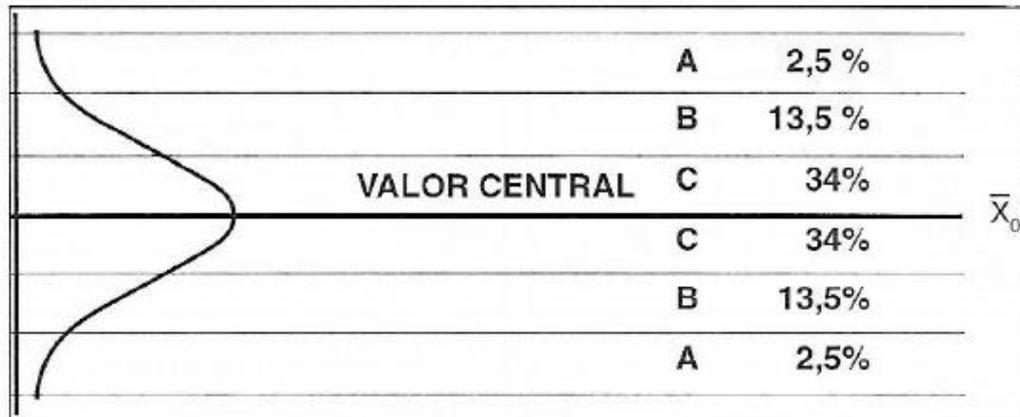


Fonte: HRADESKY, 1989, p. 174.

Porém, conforme Hradesky (1989) e Siqueira 1997, um processo também pode ser considerado fora de controle até quando todos seus pontos estão inseridos dentro dos limites de controle. Isto acontece quando existe uma padrão de variação fora do normal no processo. Dessa maneira, segue abaixo uma imagem que

evidencia uma regra prática para verificar se um processo apresenta-se ou não sob controle:

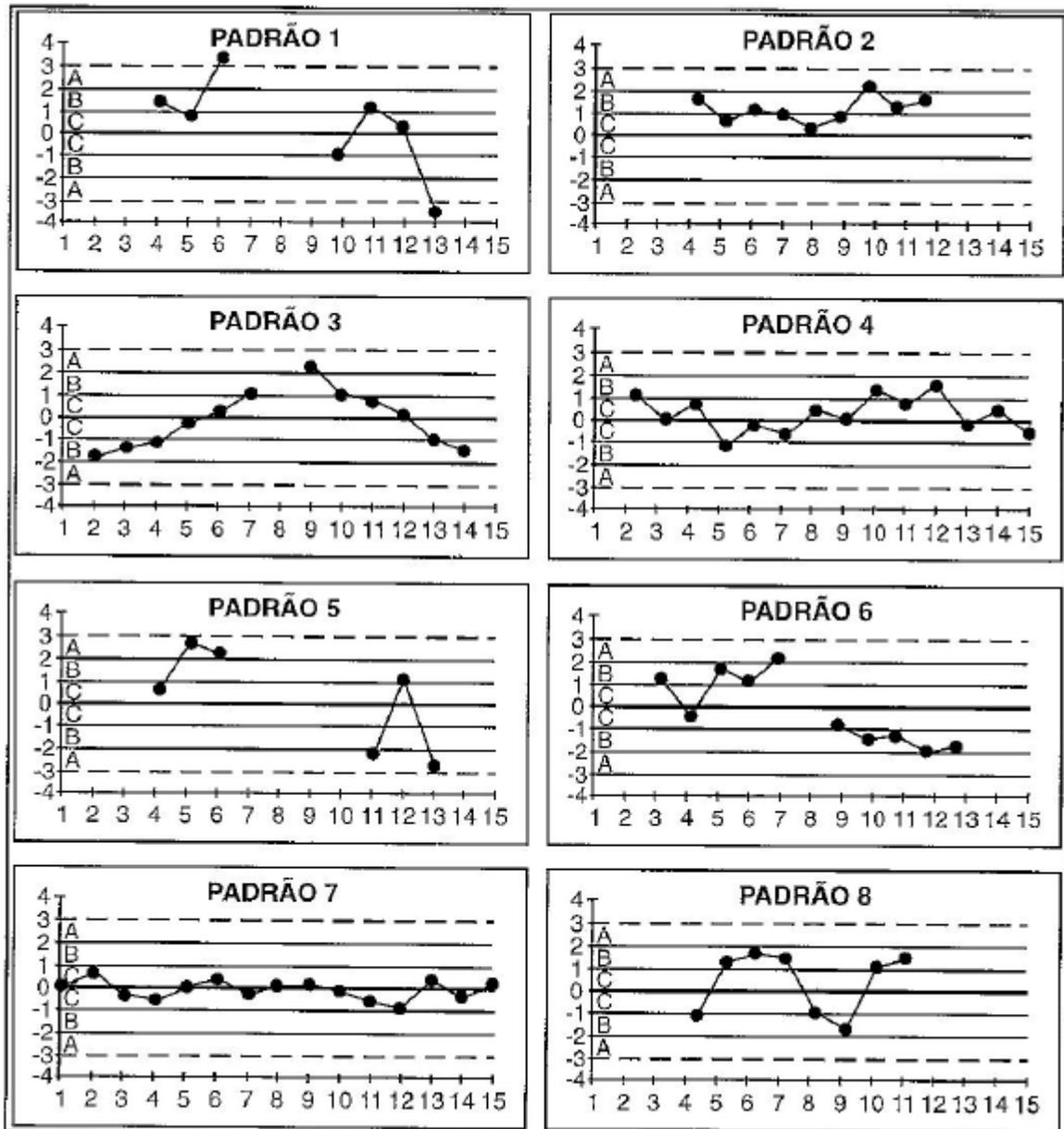
Figura 20 – Distribuição dos pontos em uma variação normal



Fonte: SIQUEIRA, 1997, p. 49.

Para o autor, a probabilidade de acontecer algo anormal no processo é exatamente igual de ter um ponto além dos limites de especificação. Desta forma, o autor destaca oito padrões não normais, que apresentam seus pontos dentro dos limites de especificação, porém são processos fora de controle, que estão mostrados na figura que segue e descritos para melhor entendimento:

Figura 21 – Padrão anormais de variação de um processo



Fonte: SIQUEIRA, 1997, p. 50.

- Padrão 1: Um único ponto acima ou abaixo do limite de controle;
- Padrão 2: Nove pontos subsequentes de um mesmo lado da linha média;
- Padrão 3: Seis pontos subsequentes subindo ou descendo na carta;
- Padrão 4: Quatorze pontos sequentes em alternância de baixo para cima;
- Padrão 5: Dois ou três pontos sucessivos distribuídos na mesma faixa do gráfico;

- Padrão 6: Quatro em cinco pontos do gráfico localizados na mesma faixa do mesmo lado do gráfico;
- Padrão 7: Quinze pontos sequenciados na mesma zona, estão abaixo ou acima da linha média;
- Padrão 8: Oito pontos subsequentes localizados abaixo ou acima da linha média, porém nenhum na faixa C, a qual é próxima a linha média.

2.5.5 Análise da variabilidade de processo e especificações

As especificações dos produtos são realizadas pela área de engenharia do produto, sem depender das variâncias do processo. Assim, para Siqueira (1997) e Hradesky (1989), existem três casos que podem acontecer quando se é confrontado as especificações dos produtos em relação a variabilidade do processo.

Para o primeiro caso, que a variância do processo é menor que a subtração das especificações ($6\sigma < LSE - LIE$), não há nenhuma dificuldade em produzir o item proposto. Além disso, este caso é o mais conveniente financeiramente pois, quando o processo sai de controle, não são gerados produtos com anomalias. Outro importante benefício é que não é necessário que se tenha um controle seguido por cartas de controle e que a periodicidade de averiguação pode ser menor.

O segundo caso, o qual a variabilidade do processo é igual a subtração das especificações ($6\sigma = LSE - LIE$), ocorrerá valores individuais dos itens fora das especificações devido a mudança na média do processo, ocasionando reprocesso de itens ou descartes. Porém, caso o processo for sustentado sob controle, não existirá produtos com anomalias. Para este tipo de caso, é importante ter aplicação de cartas de controle seguidamente, para poder identificar as causas especiais de variação e retirá-las.

Por fim, o terceiro caso, que é quando a variabilidade do processo é maior que a subtração das especificações ($6\sigma > LSE - LIE$), acontece uma condição não pretendida. Neste tipo de caso, embora o processo esteja sob controle, alguns itens que serão produzidos estarão fora das especificações. Resumidamente, o processo será incapaz de atender as especificações. Somente para este caso, sugere-se alterar as especificações do produto; ou realizar inspeção cem por cento dos itens; ou reduzir a dispersão do processo, mudando o material, alterar treinamento; ou melhorar a máquina trabalhada.

2.5.6 Capacidade do processo

Para calcular a capacidade do processo, necessita-se que o mesmo esteja normalizado. Conforme Leiva et al. (2014), é importante que o processo esteja estável para cálculo de Cp e Cpk (índices de capacidade), para que se tenha uma análise correta de que o processo é ou não é capaz de atender as especificações prescritas ao produto.

Assim, Silva et al. (2016) afirmam que a capacidade do processo é igual a seis desvios padrões, ou seja, onde o desvio padrão é estável e apresenta-se sob controle. Para isto, é necessário estudar a capacidade do processo, que nada mais é que a subtração dos limites de especificação do produto, dividido por seis desvios padrões, a qual é representada pela seguinte equação (36):

$$Cp = \frac{LSE - LSI}{6\left(\frac{\bar{R}}{d2}\right)} \quad (36)$$

Onde:

- LSE é igual ao limite superior de especificação;
- LIE é igual ao limite inferior de especificação;
- R é a amplitude média do processo;
- d2 é o coeficiente tabelado relacionado ao tamanho do subgrupo, apresentado no anexo A.

Porém, para a equação acima exposta, apenas considera-se que o processo esteja centrado na média. Sabe-se que isto não ocorre seguidamente na prática e, portanto, pode-se ter resultados errôneos e inconclusivos. Assim, Santos e Baptista (2005) demonstraram como verificar se o processo pode atender as especificações exigidas pelo cliente com a equação 37.

$$Cpk = \text{Min}\left[\frac{\bar{X} - LIE}{3\left(\frac{\bar{R}}{d2}\right)}; \frac{LSE - \bar{X}}{3\left(\frac{\bar{R}}{d2}\right)}\right] \quad (37)$$

Onde:

- \bar{X} é a média das amostras;

- \bar{R} é a amplitude média das amostras;
- LSE é o limite superior de especificação;
- LIE é o limite inferior de especificação;
- d_2 é um coeficiente tabelado que varia de acordo com o tamanho do subgrupo amostral.

Este índice de performance confere a diferença da média do processo em comparação aos limites de especificação, aplicando qual for o menor valor, ou seja, qual for o mais crítico em atender as especificações do produto estudado.

Esta análise é de extrema importância para tomar decisões corretas em relação ao processo ser capaz de atender ou não às especificações dos produtos. Assim, Siqueira (1997) e Silva et al. (2016) propõem uma regra de fácil entendimento, para que se possa concluir o resultado obtido da fórmula acima descrita:

- 1) Para resultados de C_p ou $C_{pk} < 0,75$, o processo é totalmente incapaz, não tendo como atender as especificações impostas. Desta forma, é fundamental o controle, a reavaliação e a inspeção de 100% dos produtos resultantes do processo;
- 2) Para resultados de C_p ou $C_{pk} < 1$, chamado também de processo vermelho, é visto que o processo é incapaz de atender as especificações do produto. Desta forma, é necessário realizar o processo de outra forma, ou mudar o processo, ou até mesmo, se possível, alterar as especificações do produto;
- 3) Para $1 \leq C_p$ ou $C_{pk} \leq 1,33$, também conhecido de processo amarelo, a configuração torna o processo capaz, porém deve-se controlar o processo por meio de cartas de controle, para evitar que sejam produzidos itens fora das especificações, pois a capacidade do processo está em volta da diferença das especificações.
- 4) Para C_p ou $C_{pk} > 1,33$, o processo está apto a atender as especificações do produto. Caso o processo esteja entre três quartos e dois terços da tolerância é prudente realizar coleta de amostras para verificar o comportamento do processo; porém se a performance do processo for menor que a metade da especificação, não é necessário ter grandes cuidados para com o processo, apenas se há o desejo reduzir as especificações para elevar a qualidade do item.

Conforme foram apresentadas nesta seção as diversas aplicabilidades e funcionalidades da ferramenta de qualidade CEP, abaixo seguem os conceitos da ferramenta DMAIC, que serve como apoio às utilidades do CEP, otimizando o processo produtivo e tornando-o mais enxuto.

2.6 DMAIC

Conforme Bressan et al. (2016), a ferramenta DMAIC tem como função identificar, quantificar e diminuir as variâncias de um processo produtivo e também aumentar a performance do processo após sua otimização. Assim, a abreviatura DMAIC significa *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*, que seria Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

Segundo Duarte (2011), este método é encarregado de assegurar uma sequência organizada e eficiente no gerenciamento da função. Desta forma, esta ferramenta sustenta o Seis Sigma mantendo as tarefas no caminho da direção elaborada. Abaixo segue figura que exemplica o ciclo DMAIC:

À vista disso, Carpinetti (2012), Donadel (2008) e Holanda et al. (2013) apontaram as cinco etapas do DMAIC da seguinte forma:

- *Define* (Definir): Nesta primeira parte é quando se define qual projeto Seis Sigma será elaborado. Assim, é necessário que se saiba qual parte do projeto será estudado e qual a anomalia que se deseja melhoria;

- *Measure* (Medir): Nesta parte é onde será feita a coleta de dados para auxiliar na solução da anomalia. É importante ter um roteiro para esta coleta, para não perturbar o andamento da produção. Também é essencial realizar inspeção no sistema de medição, para verificar se o mesmo está funcionando perfeitamente;

- *Analyse* (Analisar): Após ter as amostras coletadas, é necessário realizar a análise destes dados para identificar as causas potenciais do problema em questão, por meio de ferramentas/*softwares* estatísticos (CEREZEL; GEREZ, 2008). Conforme Carpinetti (2012), Donadel (2008) e Holanda et al. (2013), nesta etapa deve ser realizada uma investigação para desvendar a não-conformidade e indicar o caminho da melhoria, sendo fundamental ter um estudo técnico da equipe de trabalho, para que haja um desfecho plausível para a adversidade;

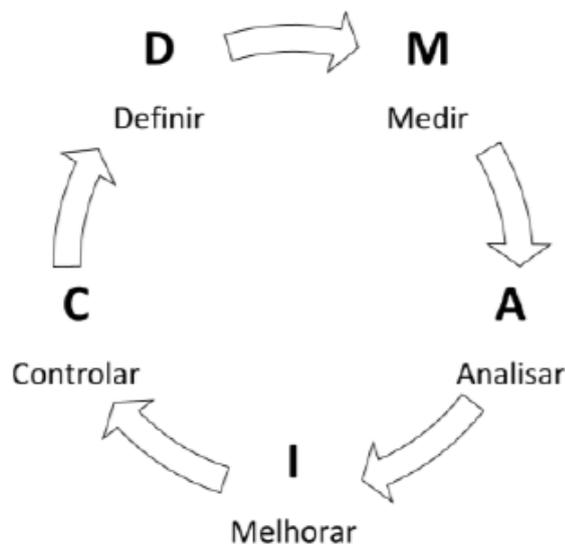
- *Improve* (Melhorar): Após realizada a análise das amostras, nesta seção será realizada a melhoria, ou seja, será realizado experimentos para testar a

veracidade das mudanças. Cerezal e Gerez (2008) também confirmam que nesta etapa serão realizadas as melhorias, de forma a diminuir as causas potenciais e delimitar especificações;

- *Control* (Controle): Por fim, esta parte será para confirmar que as melhorias realizadas anteriormente sejam preservadas com o tempo. Assim, é importante reavaliar os métodos, adicionando novas maneiras de controlar o processo (CARPINETTI, 2012; DONADEL, 2008; HOLANDA et al., 2013).

Para melhor entendimento, segue Figura 22 onde é mostrado o ciclo DMAIC.

Figura 22 – Ciclo DMAIC



Fonte: Leite; Montesco, 2016.

Com isso, percebe-se que o DMAIC tem enfoque no planejamento, proporcionando grande pesquisa antes da fase de implementação, trazendo resultados positivos. (LEITE; MONTESCO, 2016).

Conforme foram expostas as peculiaridades da ferramenta DMAIC e sua cronologia de utilização, abaixo segue a ferramenta QFD, com suas formas de aplicação e como ela pode auxiliar no desenvolvimento do processo produtivo.

2.7 QFD

O *Quality Function Deployment* (QFD), ou Desdobramento da Função Qualidade, é uma sistemática que procura descobrir as necessidades dos clientes, a

fim de traduzi-las para desenvolver um novo produto (MOREIRA et al., 2016). De acordo com Brustolin et al. (2016), esta ferramenta é uma maneira de conhecer as verdadeiras necessidades dos clientes, elencando-as e desenvolvendo-as em condições que possibilitam a melhora dos produtos e serviços.

Para isso, é necessário que se desenvolva um desdobramento da necessidade, por meio de definição da voz do cliente e as condições para desenvolvimento do produto ou serviço. Com isso, existem seis perguntas-chave que estruturam a Casa da Qualidade – dado este nome por ter formato similar a uma casa – que aparecem na tabela abaixo (MARTINS; LAUGENI, 2005):

Tabela 2 – Perguntas-chave na estrutura da Casa da Qualidade

Atributo	Questão
Voz do Cliente	Quais as características importantes para o cliente em relação ao produto ou serviço?
Análise da Concorrência	Como o produto está em relação à concorrência?
Voz da Engenharia	Quais os aspectos da engenharia interferem nas peculiaridades encontradas pelos clientes?
Correlação	Entre o que o cliente deseja em relação ao que a engenharia pretende, há sintonia?
Comparação Técnica	Comparando com produto do concorrente, como o produto estudado se apresenta?
Inter-relações	Quais são as harmonizações com potencial no projeto estudado?

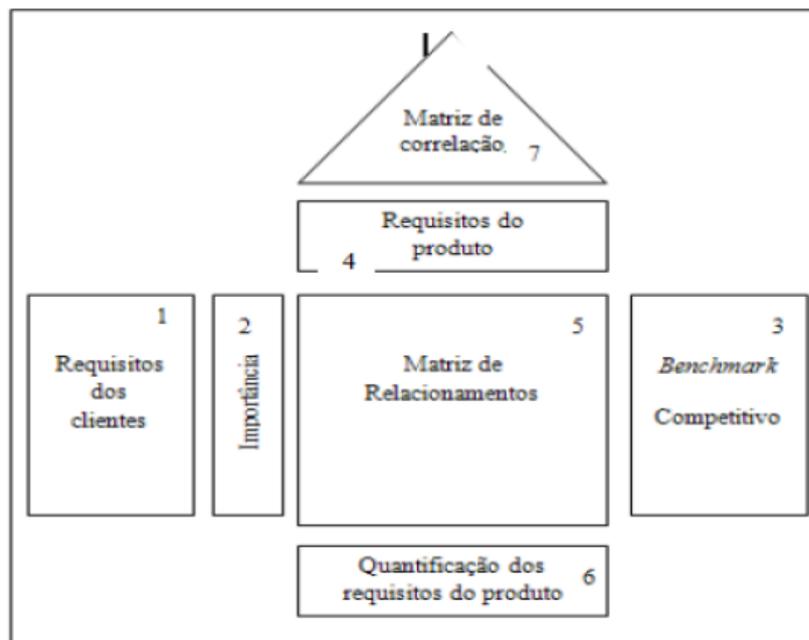
Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2005).

Conforme Loos e Miguel (2014), o QFD é constituído por quatro matrizes principais, que são: matriz da qualidade, matriz do produto, matriz de processos e matriz de recursos. Desta forma, o desdobramento da função qualidade auxilia as equipes de trabalho a produzirem seus produtos. Isto acontece pois estas quatro matrizes confrontam as vozes do cliente com os aspectos do produto, propiciando o desenvolvimento do projeto e a definição das características técnicas do produto.

Desta forma, é provado que o método QFD é formado por interações de diversas matrizes de correlação, sendo a matriz da qualidade a principal. Esta matriz

tem como intuito ajudar no diagrama da qualidade, relacionando a qualidade esperada pelos clientes (voz do cliente) e os atributos da qualidade (condições técnicas), as quais aparecem na figura abaixo (PESTANA et al.; ROZENFELD et al., 2016):

Figura 23 - Casa da Qualidade



Fonte: Rozenfeld et al., 2006.

De acordo com a Figura 23, os números significam: 1) requisitos desejados pelo cliente; 2) desejos dos clientes analisados conforme a significância; 3) conferência e comparação com os produtos concorrentes; 4) qualidade identificada de acordo com os desejos dos clientes; 5) relação entre condições dos produtos para com os desejos dos clientes; 6) quantificação das condições do produto, ou seja, identificando a relevância de cada um; 7) telhado da casa que se relaciona com os requisitos dos produtos.

Desta forma, é visto que o QFD é uma ferramenta importante que auxilia na tomada de decisão. Pode-se afirmar que um dos pontos principais que garantem a performance da ferramenta é a delimitação das características que devem ser aperfeiçoadas e autenticadas pelos diretores (AKAO, 1990).

2.7.1 Implementação de um projeto QFD

O projeto QFD é guiado por uma equipe multidisciplinar, que é composta pela Engenharia de Manufatura, Marketing, Desenvolvimento, Distribuição, entre outros, os quais realizam sua análise de acordo com seu conhecimento, compreendendo e traduzindo as necessidades dos seus clientes. Desta forma, segue as etapas de implementação da ferramenta (UJIHARA; CARDOSO; CHAVES, 2006):

- Definir qual produto será criado e os objetivos quanto ao projeto;
- Definir a equipe que utilizará o QFD e realizar o treinamento da ferramenta;
- Realizar o desdobramento do trabalho e organizá-lo, estruturando as matrizes e tabelas do QFD de acordo com as necessidades dos clientes;
- Eleger os itens de qualidade pretendida e desenvolver a matriz da qualidade;
- Relacionar as tabelas de qualidade pretendida com a de atributos de qualidade, transformando a importância dos itens de qualidade esperados para características de qualidade;
- Classificar as características de qualidade preferenciais, o valor nominal do produto atual e dos concorrentes, bem como estes atributos interatuam entre si;
- Elaborar as matrizes de acordo com o modelo conceitual, garantindo a produção de produtos ou serviços com a qualidade pré-exigida.

2.7.2 Benefícios desejados

Conforme Ujihara, Cardoso e Chaves (2006), os principais benefícios do sucesso da implementação do QFD são:

- Melhor desempenho em qualidade dos produtos e/ou serviços;
- Ciclos menores de manufatura e desenvolvimento;
- Melhor conhecimento de mercado;
- Cooperação e percepção entre diferentes áreas;
- Melhora na comunicação entre setores;
- Melhora no nível de contentamento dos clientes;
- Descrescimento de mudanças na engenharia e de seu custo;
- Amplicação de vantagem competitiva.

2.7.3 Critérios para aplicação

Apesar de grandes melhorias realizadas pelas companhias ocidentais nos últimos anos em qualidade e eficiência, o mercado continuou a se expandir e se tornar cada vez mais competitivo, onde diferenciais como custo, qualidade do produto e eficiência na entrega já foram altamente desenvolvidos pela maioria das empresas.

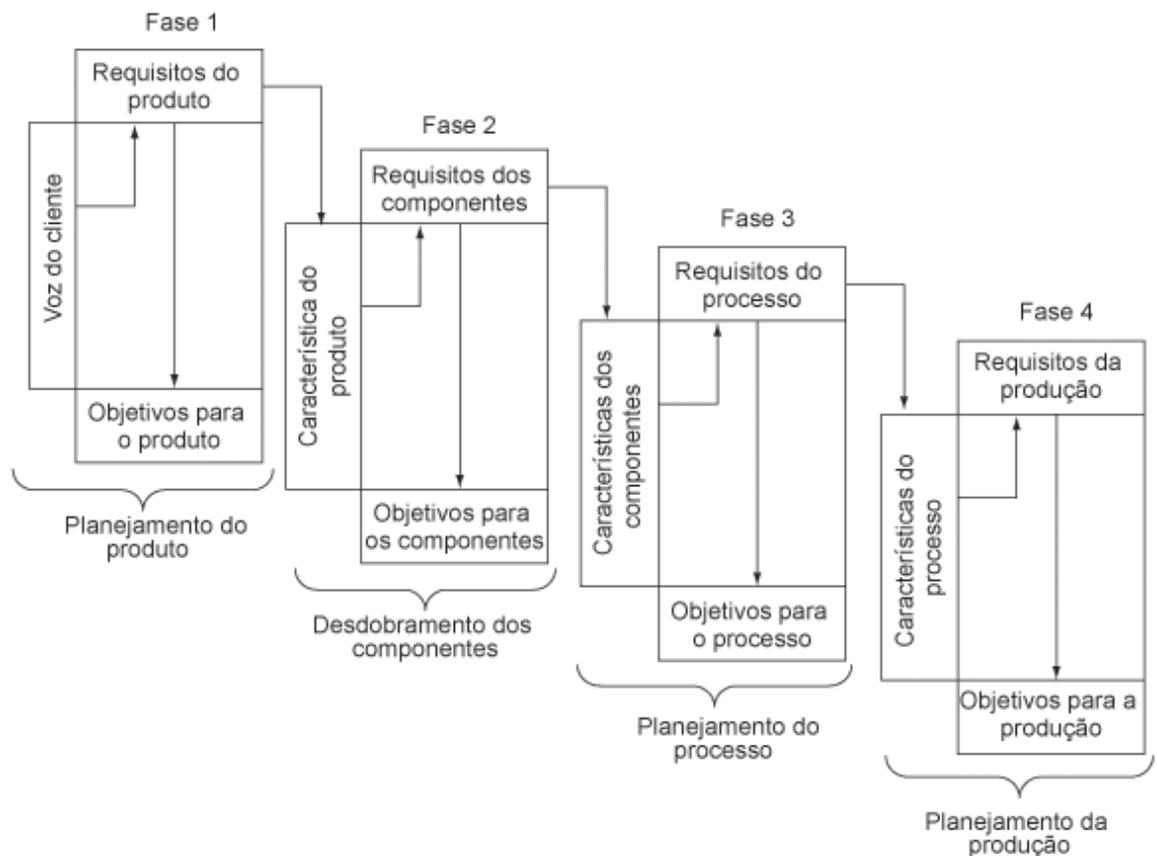
Desta forma, é fundamental compreender os conceitos de qualidade ativa (positiva) e passiva (negativa). O primeiro apresenta as qualidades percebidas pelo cliente que o fazem escolher este produto em relação ao concorrente; já a segunda demonstra os defeitos percebidos pelo cliente em relação ao produto, normalmente descritos em canais de reclamação da empresa. Contudo, mesmo que a empresa apresente um conceito de “zero defeito”, ou seja, que todas as qualidades negativas foram aperfeiçoadas, não quer dizer que a companhia apresente êxito total no produto/serviço, pois ainda há necessidades não descritas e/ou latentes nos clientes, as quais são complexas de quantificar por serem apresentadas de forma instável e carente (ABREU, 1997).

Assim, Fernandes e Rebelato (2006) apresentam várias abordagens para o desdobramento da ferramenta QFD e como suas particularidades apenas derivam de sua aplicação e da utilização de mecanismos de apoio. Normalmente, estas abordagens são divididas em quatro fases, que são:

- 1) Planejamento do produto;
- 2) Desdobramento das partes;
- 3) Planejamento do processo;
- 4) Planejamento da produção.

Para melhor exemplificar, segue Figura 24 que evidencia os quatro ciclos propostos para o QFD (FERNANDES; REBEATO, 2006):

Figura 24 – Quatro ciclos propostos para o QFD



Fonte: Fernandes e Rebelato (2006, p.7).

2.7.4 Métricas para implantação

Para a organização da matriz QFD é importante definir os clientes ainda na fase de projeto, apresentando os seus interesses ao produto final (PINTO; FONTENELLE, 2013):

1) Necessidades dos consumidores – NC

Nesta fase é realizado um levantamento das necessidades genéricas desejadas pelos consumidores. Estas necessidades (NC) são divididas em três classes: funcionalidade, aparência e resistência. Estas NC são exemplificadas na tabela a seguir:

Tabela 3 – Necessidades dos consumidores (NC)

Necessidades dos Consumidores (NC)	Funcionalidade	Característica de Funcionalidade
		Característica de Funcionalidade
		Característica de Funcionalidade
		Característica de Funcionalidade
	Aparência	Característica de Aparência
		Característica de Aparência
		Característica de Aparência
		Característica de Aparência
	Resistência	Característica de Resistência
		Característica de Resistência
		Característica de Resistência
		Característica de Resistência

Fonte: Adaptado de Pinto e Fontelle (2013).

2) Características da Qualidade – CQ

Esta segunda fase refere-se às circunstâncias técnicas e mensuráveis que o produto/serviço deve apresentar para conseguir atender às necessidades dos clientes. Para melhor entendimento, segue abaixo tabela 4 que representa tais atributos (PINTO; FONTENELLE, 2013):

Tabela 4 – Características da Qualidade

Necessidades dos Consumidores – (NC)	Funcionalidade	Característica de Funcionalidade	Característica de Qualidade (CQ)	Características da qualidade
		Característica de Funcionalidade		Características da qualidade
		Característica de Funcionalidade		Características da qualidade
		Característica de Funcionalidade		Características da qualidade
	Aparência	Característica de Aparência		Características da qualidade
		Característica de Aparência		Características da qualidade
		Característica de Aparência		Características da qualidade
		Característica de Aparência		Características da qualidade
	Resistência	Característica de Resistência		Características da qualidade
		Característica de Resistência		Características da qualidade
		Característica de Resistência		Características da qualidade
		Característica de Resistência		Características da qualidade

Fonte: Adaptado de Pinto e Fontenelle (2013).

3) Relação entre NC e CQ

Nesta terceira etapa é realizado o corpo da matriz, apresentando as relações entre necessidades dos consumidores X características da qualidade. Desta forma, é possível elaborar uma matriz de relacionamento por meio da simbologia da tabela 5. A partir desta simbologia é possível averiguar qualitativamente quanto cada CQ atinge cada NC.

Tabela 5 – Simbologia usada na construção da matriz

Nível de Relacionamento – NR Necessidade do cliente X Requisitos da qualidade	Peso	Símbolo
Relacionamento Forte	5	⊕
Relacionamento Médio	3	○
Relacionamento Fraco	1	△
Relacionamento Nulo	0	✕

Fonte: Pinto e Fontelle (2013, p. 9).

Da mesma maneira, a tabela 6 apresenta o interrelacionamento entre as variáveis em questão:

Tabela 6 – Corpo da Matriz

Necessidades dos Consumidores			Características da qualidade							Valor do Consumidor
			Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	
Necessidades dos Consumidores	Funcionalidade	Característica de Funcionalidade								
		Característica de Funcionalidade								
		Característica de Funcionalidade								
		Característica de Funcionalidade								
	Aparência	Característica de Aparência								
		Característica de Aparência								
		Característica de Aparência								
		Característica de Aparência								
	Resistência	Característica de Resistência								
		Característica de Resistência								
		Característica de Resistência								
		Característica de Resistência								

Fonte: Pinto e Fontelle (2013).

4) Valor do consumidor

Nesta fase o consumidor identifica o valor para cada NC. Ele irá adotar como valor máximo o numeral 5 e mínimo 1, podendo elencar o numeral 0 como nulo (PINTO; FONTENELLE, 2013).

5) Avaliação de mercado

Para examinar o mercado, é necessário que os clientes dêem notas de 1 a 5 para os produtos afins ou concorrentes conforme as NC's determinadas. Da mesma forma, é fundamental que sejam atribuídas notas para o produto em questão, para identificar quais características que são percebidas pelos clientes em relação a seus adversários. Após isto, é possível elencar os pontos positivos e negativos do produto e as ações que devem ser realizadas para melhoria ou manutenção.

Tabela 7 – Avaliação de mercado

Necessidades dos Consumidores	Funcionalidade	Característica de Funcionalidade	Características da qualidade							Valor do Consumidor	Análise do mercado								
			Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade	Característica da qualidade		Pior	Melhor	←	→					
			Característica de Qualidade (CQ)												1	2	3	4	5

Fonte: Pinto e Fontelle (2013).

6) Telhado da Casa da Qualidade

Nesta etapa é representado a interrelação entre as características da qualidade e o grau de vinculação convergente. Esta interligação tem intenção de exibir como uma alteração em um atributo do produto pode influenciar em outra, representado pela figura 25. A tabela abaixo apresenta a simbologia utilizada para exemplificar a interligação entre os CQ's (PINTO; FONTENELLE, 2013):

Tabela 8 – Simbologia da matriz do telhado

Símbolos da Matriz telhado	
	Fortemente positivo
	Positivo
	Negativo
	Fortemente negativo

Fonte: Pinto e Fontelle (2013, p. 13).

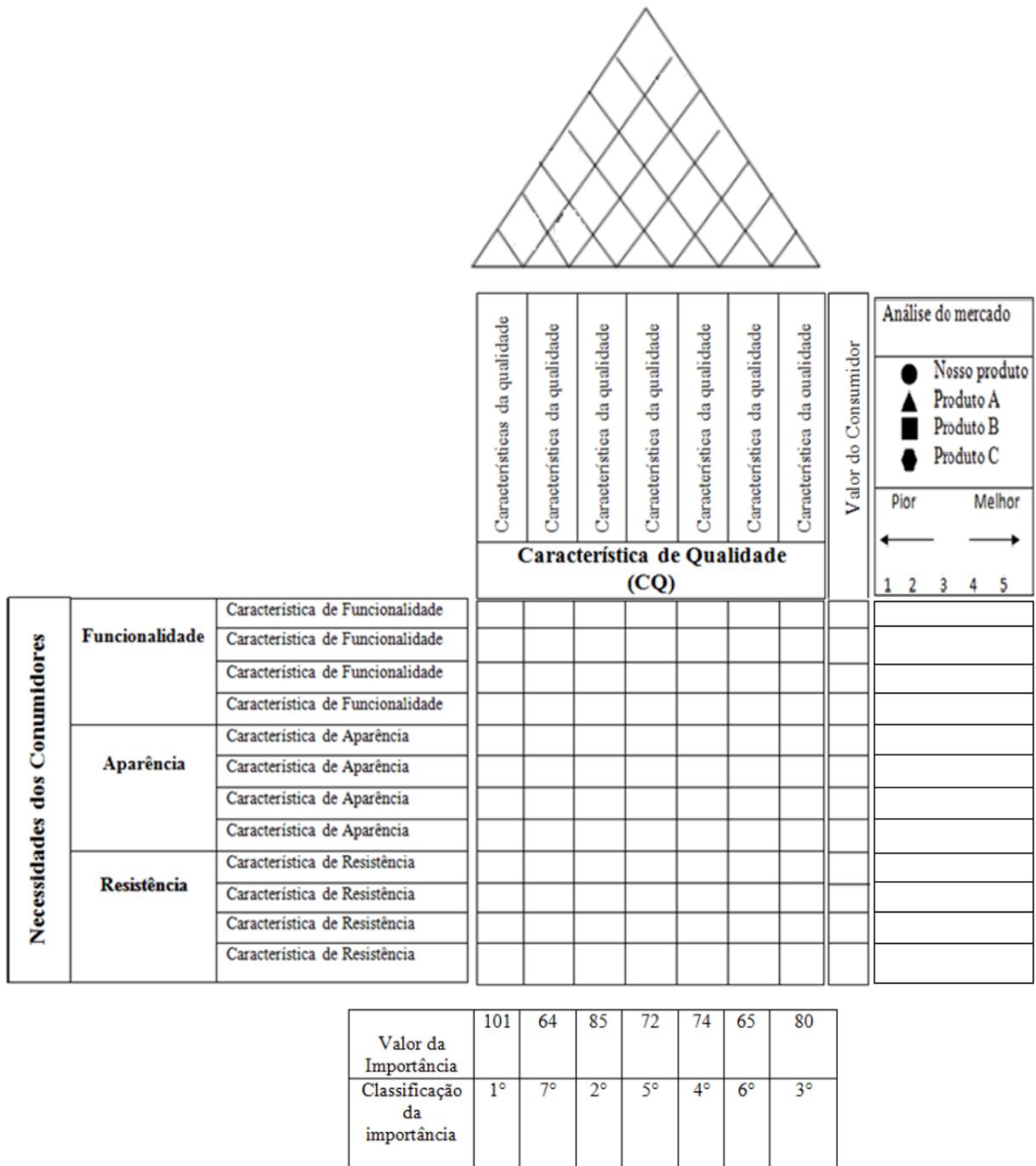
7) Valor de importância das CQ's

Conforme Pinto e Fontenelle (2013), nesta última etapa é realizado o cálculo do valor da importância da CQ, expressa pela equação (38):

$$\text{Valor da importância} = \sum(\text{valor do consumidor} * \text{Grau de relacionamento entre NC's e CQ's}) \quad (38)$$

Desta forma, é possível identificar uma posição para cada CQ e executar melhorias, privilegiando os itens de maior valor.

Figura 25 – Casa da Qualidade



Fonte: Adaptado de Pinto e Fontenelle (2013).

Pinto e Fontenelle (2013) expõem que com a elaboração da casa da qualidade é possível investigar informações básicas, porém de grande importância na tomada de decisões e utilização no processo produtivo. Assim a equipe de

projeto trabalhará com dados válidos, tendo em vista que poderão priorizar as informações que têm maior necessidade.

De acordo com os aspectos vistos sobre a ferramenta QFD, percebe-se que a mesma evidencia a necessidade do cliente traduzida no melhoramento ou na criação de um novo produto. Seguindo esta linha de pensamento, segue na próxima seção a ferramenta Seis Sigma, a qual vindo sendo utilizado fortemente nas organizações que buscam ter um diferencial competitivo em seus produtos e serviços.

2.8 SIX SIGMA

O *Six Sigma* ou Seis Sigma, refere-se a uma estratégia organizacional quantitativa que tem como finalidade aumentar o lucro e o desempenho das organizações, através de melhorias nos produtos e processos, além de ampliar a satisfação e bem estar dos clientes (WERKEMA, 2012). Para Lin et al. (2013), o Seis Sigma tem como foco o cliente e usa dados e informações coletadas, com intuito de realizar estudos para verificar e aumentar o desempenho do processo. Seu ideal é manter o processo dentro dos limites de controle, diminuindo as anomalias. Para Sodhi e Sodhi (2005), além de reduzir custos de processos de manufatura, o Seis Sigma também pode ser utilizado para diminuir os erros nas decisões negociais, aumentando as receitas e trazendo resultados positivos para a companhia.

Segundo Harry (1998), um dos desenvolvedores do programa Seis Sigma, o classifica como uma estratégia que não deve ficar restrita apenas à área da qualidade, porém se espalhar para todas as áreas da empresa, desde a área fabril até a área de serviços. Todavia, para isto acontecer, é necessário que se tenha uma equipe bem formado e ordenada.

Se valendo da parte literária do Six Sigma, nota-se que o tema mudou, se adaptou e melhorou com o passar dos anos, principalmente na identificação das principais condições que afetariam no sucesso do programa nas companhias (CAMPOS, 2011). Assim, Santos e Martins (2008) apresentam duas formas de abordagens que são classificadas na literatura, que é a abordagem estatística e a abordagem estratégica.

Na primeira, a essência está na quantificação da variação, ou seja, uma avaliação quantitativa de certas quantidades de desvio padrão em relação a variável

do estudo de um processo. Esta forma de estudo está vigorosamente associada as premissas do controle estatístico de processo (CEP). A aplicação destas ferramentas estatísticas tem por finalidade diminuir a variabilidade, chegando em 3,4 defeitos por milhão ou praticamente 99,99% de perfeição.

Para isso, é importante que a organização adote procedimentos e técnicas do controle estatístico de processo, com finalidade de identificar se o processo mantém-se sob controle e monitorar suas variabilidades ao longo do tempo. Da mesma forma, também é necessário calcular e identificar índices de capacidade ou capacidade do processo, que se verifica, após o processo estar estável, se o mesmo está apto a produzir itens para as especificações exigidas pelo cliente (CAMPOS, 2011).

Por outro lado, a abordagem estratégica está relacionado com o auxílio da alta direção da empresa e no enquadramento do projeto Seis Sigma para com as estratégias da organização (SANTOS; MARTINS, 2008). Para Antony (2004), um dos principais proveitos e peculiaridades do Six Sigma em relação a outras ferramentas de qualidade é a estratégia. Para o autor, elementos como liderança no processo, foco em resultados, foco no cliente e agregação de componentes humanos na procura de melhorias mostram uma grande visão estratégica, fazendo com que a ferramenta Six Sigma seja um importante desenvolvimento para a gestão estratégica da qualidade.

Para tais atribuições, Moraes et al. (2006) apresenta um tabela que relaciona o nível Sigma da empresa em relação a quantidade de defeitos, por milhão de oportunidades, bem como sua competitividade no cenário e seu custo de não qualidade. Desta forma, segue tabela 09 com tais atribuições:

Tabela 9 – Referências para o nível Sigma

Nível Sigma	DPMO (defeitos por milhão de oportunidades)	Custo da não qualidade	Categoria
6	3,4	< 10 % das vendas	Empresa de classe mundial
5	233	10-15 % das vendas	Empresa comum
4	6.210	15-20 % das vendas	
3	66.807	20-30 % das vendas	Empresa não competitiva
2	308.537	30-40 % das vendas	
1	690.000	-	

Fonte: Moraes et al. (2006).

Conforme visto, o Seis Sigma é uma ferramenta estratégica na organização, visando aumentar o lucro por meio da diminuição da variabilidade produtiva, com conceitos muito similares à ferramenta CEP. Assim, na próxima seção segue a ferramenta de análise e solução de problemas (MASP), também de grande valor para a empresa, que busca reduzir perdas no processo produtivo.

2.9 MASP

O Método de Análise e Solução de Problemas, ou MSP (Método de Solução de Problemas) é a ferramenta que auxilia na resolução de problemas, a partir da escolha de um problema, análise do seu motivo, definição e organização de ações para encontrar solução da não conformidade (CAMPOS, 2004). Este método vem sendo muito utilizado por empresas que procuram diminuir não conformidades de seus produtos e serviços, melhorando sua qualidade e reduzindo perdas (CUPERTINO et al., 2016).

Conforme Campos (2004), os três propósitos fundamentais são:

- 1) Planejar a qualidade: determinar padrões de qualidade de acordo com os desejos dos clientes;
- 2) Manter a qualidade: manter os padrões de qualidade, com intuito de obter uma qualidade, custo e atendimento padrão;
- 3) Melhorar a qualidade: apresentar novos padrões de qualidade, com objetivo de melhorar o produto ou serviço, diminuir seu custo, sua entrega ser mais ágil, etc.

Desta forma, toda decisão gerencial, em todos os níveis, deve ser precedida por análise do processo, guiada em função do método de soluções de problemas. Para o autor, esta análise do processo tem como objetivo identificar a principal causa do problema e reconhecer as causas principais do item que se deseja verificar.

Para Rocha (2011), é por meio do MASP que é possível encontrar as causas dos problemas da companhia, por intermédio de aplicação de suas ferramentas. Com isso, será possível que a anomalia seja resolvida no menor tempo, mostrando o que deve ser realizado com antecedência, quais os motivos dos problemas e como é possível identificá-los por meio de análise dos processos, possibilitando que as decisões que serão tomadas sejam eficazes.

De acordo com Campos (2004), o Método de Análise e Solução de Problemas é dividido em oito passos, que são:

- Primeiro passo - Identificação do problema: Se determina nitidamente o problema e sua relevância;
- Segundo passo - Observação: Estudo dos aspectos particulares do problema, estudando-o amplamente e observando todas as possíveis causas;
- Terceiro passo – Análise: Exploração dos motivos principais que podem acarretar a anomalia;
- Quarto passo – Plano de Ação: Nesta parte é criado um plano de ações para impedir o problema, por meio de intervenções nas causas potenciais do problema;
- Quinto passo – Ação: São realizadas as ações do plano criado anteriormente para impedir o problema;
- Sexto passo – Verificação: Nesta fase verifica-se se o passo anterior foi realizado eficazmente e trouxe resultados positivos;
- Sétimo passo – Padronização: Nesta etapa ocorre o cuidado para o problema não ocorrer novamente;
- Oitavo passo – Conclusão: Por fim, é sintetizado todas as etapas realizadas anteriormente com intuito de projetar novas intervenções.

O método MASP usa várias ferramentas em todas as etapas com intenção de detectar as anomalias, estudar as causas potenciais e propor soluções. Se todas as fases, conceitos e ferramentas deste método forem seguidas perfeitamente e sobrepostos corretamente, as respostas certamente serão positivas e serão rapidamente descobertas (CRUZ e BARROS, 2016). Conforme Cupertino et al. (2016), o MASP determina rápido controle das ocorrências e programa o trabalho que será desempenhado, mostrando soluções que auxiliam na resolução dos problemas.

Por fim, segundo Arioli (1998), o método MASP apresenta características muito similares ao método PDCA, porém de forma mais completa, tendo como diferencial uma fase de investigação do problema antes da elaboração da ação e outra fase de prevenção de novas anomalias, depois de ter sido realizado uma ação para conter o problema.

Desta forma, segue na próxima seção a ferramenta de qualidade PDCA, com suas características, atributos e como ela pode auxiliar no desenvolvimento das companhias, bem como pode ser integrado ao MASP.

2.10 PDCA

Conforme Fagundes e Guidorizzi (2016), o controle de processos é imprescindível para o Gerenciamento da Qualidade Total, sendo o ciclo PDCA (*plan, do, check, act*) uma forma para assegurar este comando. Para Campos (2004), este método é o componente mais significativo e expandido.

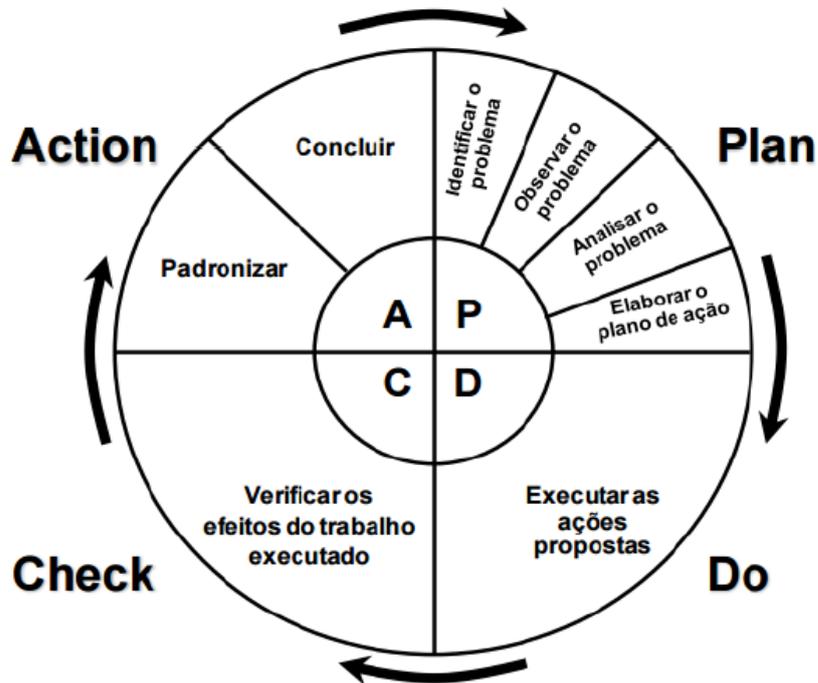
Segundo Fornari Júnior (2010), o ciclo PDCA é um instrumento para controlar processos que tem como objetivo a melhoria contínua. Esta sistemática tem como intuito auxiliar na análise, estudo e na solução das não-conformidades das organizações, podendo ser incrementada em todos os processos da companhia, sendo de grande valia para resolução de problemas.

Este ciclo é dividido em quatro etapas, que são descritas abaixo (CAMPOS, 2004; CURY e ANDION, 2016):

- *Plan* (planejar): Delimitação dos propósitos e da sistemática para cumpri-los;
- *Do* (executar): Realização das tarefas descritas de acordo com a etapa anterior. Nesta fase realiza-se treinamentos essenciais;
- *Check* (verificar): Checagem se os resultados das mudanças foram positivas, em relação ao que foi planejado na primeira etapa;
- *Act* (agir): Nesta etapa são realizadas as ações de melhorias através dos resultados adquiridos, com intuito de atingir o objetivo destacado.

Para melhor entendimento, observa-se na sequência uma imagem do ciclo PDCA:

Figura 26 - Ciclo PDCA



Fonte: Cury e Andion (2016).

Desta forma, observa-se que o ciclo está em constante movimento, ou seja, sempre estará planejando ou definindo metas, executando tarefas, verificando se as tarefas foram executadas de maneira correta e se trouxeram resultados positivos e, por fim, realiza-se as melhorias através dos resultados adquiridos pelo ciclo. Com isso, este método é definido como a busca pela melhoria contínua, pois caso as metas não tenham sido atingidas, o ciclo se reinicia, com novos objetivos e novas metas a serem atingidas (JURAN e GODFREY, 1998).

De acordo com Campos (2004), este ciclo pode ser usado para manutenção ou para criação de um nível de controle. Para o primeiro, o intuito é de cumprir os mecanismos padrões, normalmente realizado pelos operadores; para o segundo, a finalidade é para geração de melhorias, usados geralmente pelo alto nível hierárquico da empresa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo são abordados os procedimentos metodológicos da pesquisa, sendo retratados os métodos de pesquisa, o modo de abordagem, a metodologia quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos, bem como o planejamento do estudo, com elaboração de um fluxograma das etapas de execução do método científico.

3.1 Método de Pesquisa

Nesta seção, são demonstrados os comportamentos metodológicos que foram utilizados para descrição do trabalho. A técnica de investigação utilizada no trabalho foi o dialético, o dedutivo e o indutivo.

Conforme Politzer (1979), o método dialético é o modo de analisar os fatos da realidade a partir da confrontação de teses, teorias ou hipóteses, tendo sua origem na Grécia Antiga, por meio de filósofos como Sócrates, Platão e Aristóteles. Desta forma, a dialética é uma apuração entre componentes conflitantes e o entendimento deles em um determinado caso. O pesquisador necessita equiparar qualquer conceito visto como “verdadeiro” com outras realidades e hipóteses, a fim de obter uma nova conclusão, ou seja, um novo princípio. Dessa maneira, a dialética não examina o conceito estático, mas o contextualiza na dinâmica social, histórica e cultural.

Conforme Gil (2008), o método dedutivo é o modo racionalista, isto é, o que declara que a razão é o caminho para o conhecimento verdadeiro. Ela se utiliza de raciocínio descendente, de avaliação geral para individual, até a conclusão; como

por exemplo: “Todo homem é mortal (premissa maior); Pedro é homem (premissa menor); Logo, Pedro é mortal (conclusão)”. Este método também apresenta aplicações para áreas da Física e da Matemática. Para a lei da gravitação universal, afirma que “matéria atrai matéria na razão proporcional às massas e ao quadrado da distância”, havendo inúmeras conclusões a respeito; para a matemática, o modelo dedutivo é tautológico, que nada mais é que poder concluir a mesma coisa de maneira distinta, ou seja, quando se reconhece que todo homem é mortal, complementar o caso de Pedro não reforça nada, pois esse atributo já foi elencado na frase anterior.

Já para o método indutivo, Gil (2008) explica que esta técnica é inversa ao dedutivo: inicia no particular e depois generaliza os dados da coleta particular. De acordo com o método, a generalização dos dados deve ser alcançada em função da análise dos dados concretos comprovados. Assim, o conhecimento é embasado apenas na experiência, sem se valer de concepções já existentes. Assim, apresenta-se o exemplo: “Antônio é mortal. Benedito é mortal. Carlos é mortal. [...] Zózimo é mortal. Ora, Antônio, Benedito, Carlos [...] e Zózimo são homens. Logo, (todos) os homens são mortais.” Com isso, percebe-se que o método indutivo não se baseia de fatos pré-existentes, distinto ao método dedutivo. Desta forma, com o método dedutivo obtêm-se respostas verdadeiras e para o método indutivo alcança-se resultados que são prováveis.

3.2 Metodologia quanto ao Modo de Abordagem

Quanto ao modo de abordagem, a metodologia de pesquisa usada foi a qualitativa e quantitativa.

3.2.1 Abordagem qualitativa

Conforme Gerhardt e Silveira (2009), este tipo de abordagem não está relacionado com a reprodução numérica, mas com o entendimento de um grupo, uma companhia, etc. Assim, esta técnica de abordagem pretende esclarecer o porquê dos fatos, apresentando o que deve ser feito, sem quantificar os dados, pois os dados não são calculáveis e se recorrem a diferentes comportamentos. Dentre os principais atributos para este tipo de abordagem, estão o descrever, explicar,

relacionar o global com o local, notar as diferenças entre o mundo natural e o social, recusar-se a premissa que existe apenas um método de abordagem para todos os tipos de estudos.

Para Gil (2008), este método de abordagem não há como definir procedimentos antecipadamente, ou seja, não existem fórmulas para realizar o estudo. Assim, a observação dos dados se valerá do conhecimento e experiência do pesquisador.

3.2.2 Abordagem quantitativa

Segundo Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa pode ser quantificada, ou seja, os resultados centram na objetividade. Voltada para o positivismo, afirma que a realidade apenas pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, coletados por meio de instrumentos neutros e padronizados. Esta forma de pesquisa é focada para o sistema matemático para relatar e anunciar as razões de um episódio.

Figueiredo e Souza (2011) corroboraram com Fonseca (2002), pois afirmam que a abordagem quantitativa exalta a objetividade, abordando fatos e dados concretos tangíveis.

3.3 Metodologia quanto aos Objetivos

Quanto aos objetivos, a metodologia de pesquisa é classificada como pesquisa exploratória.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória tem como finalidade trazer mais informações sobre o tema que vai ser estudado, proporcionando sua definição e sua delimitação do tema da pesquisa, bem como guiar a fixação dos alvos da pesquisa e a definição de hipóteses.

Para Gil (2008), as pesquisas exploratórias têm função de desenvolver e alterar ideologias e conceitos, com intuito de garantir uma percepção maior de determinado fato.

3.4 Metodologia quanto aos Procedimentos Técnicos

Conforme Gil (2002), existem diversos tipos de procedimentos técnicos, que seguem:

- 1) Bibliográfica;
- 2) Documental;
- 3) Experimental;
- 4) *Ex-Post Facto*;
- 5) Estudo de *Coorte*;
- 6) Levantamento;
- 7) Estudo de campo;
- 8) Estudo de caso;
- 9) Pesquisa-ação;
- 10) Pesquisa participante.

O presente estudo utilizou três dos procedimentos técnicos relatados, os quais são a pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e o estudo de caso.

3.4.1 Pesquisa Bibliográfica

Conforme Prodanov e Freitas (2013), este tipo de pesquisa é baseada em material já publicado, ou seja, formada por livros, jornais, revistas, publicações científicas, monografias, teses, entre outros. Portanto, na pesquisa bibliográfica é interessante que o pesquisador esteja atento a genuinidade dos dados obtidos, analisando possíveis incompatibilidades que as obras podem apontar.

Em harmonia com o Prodanov e Freitas (2013), Gil (2008) afirma que as pesquisas bibliográficas são realizadas a partir de matérias já executados, baseando-se de livros, revistas e artigos científicos. Ele ainda certifica que a principal diferenciação da pesquisa bibliográfica é que ela possibilita que o autor tenha um conjunto de resultados muito grande em relação ao que ele poderia apurar diretamente.

3.4.2 Pesquisa Documental

A pesquisa documental é muito próxima da pesquisa bibliográfica, como a principal divergência a natureza da fonte das pesquisas. No mesmo momento em que a pesquisa bibliográfica se orienta dos estudos de diversos autores sobre o tema estudado, a pesquisa documental recorre-se de informações que ainda não passaram por um estudo criterioso ou ainda podem ser reproduzidos conforme as finalidades definidas pela pesquisa (GIL, 2008).

Para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa documental pode integral uma lista de pesquisas usadas de um mesmo projeto ou ser a única delimitação para isso. A pesquisa documental é importante quando conseguimos unir vários dados e informações que se encontram desordenados, dando uma nova relevância para consulta.

3.4.3 Estudo de caso

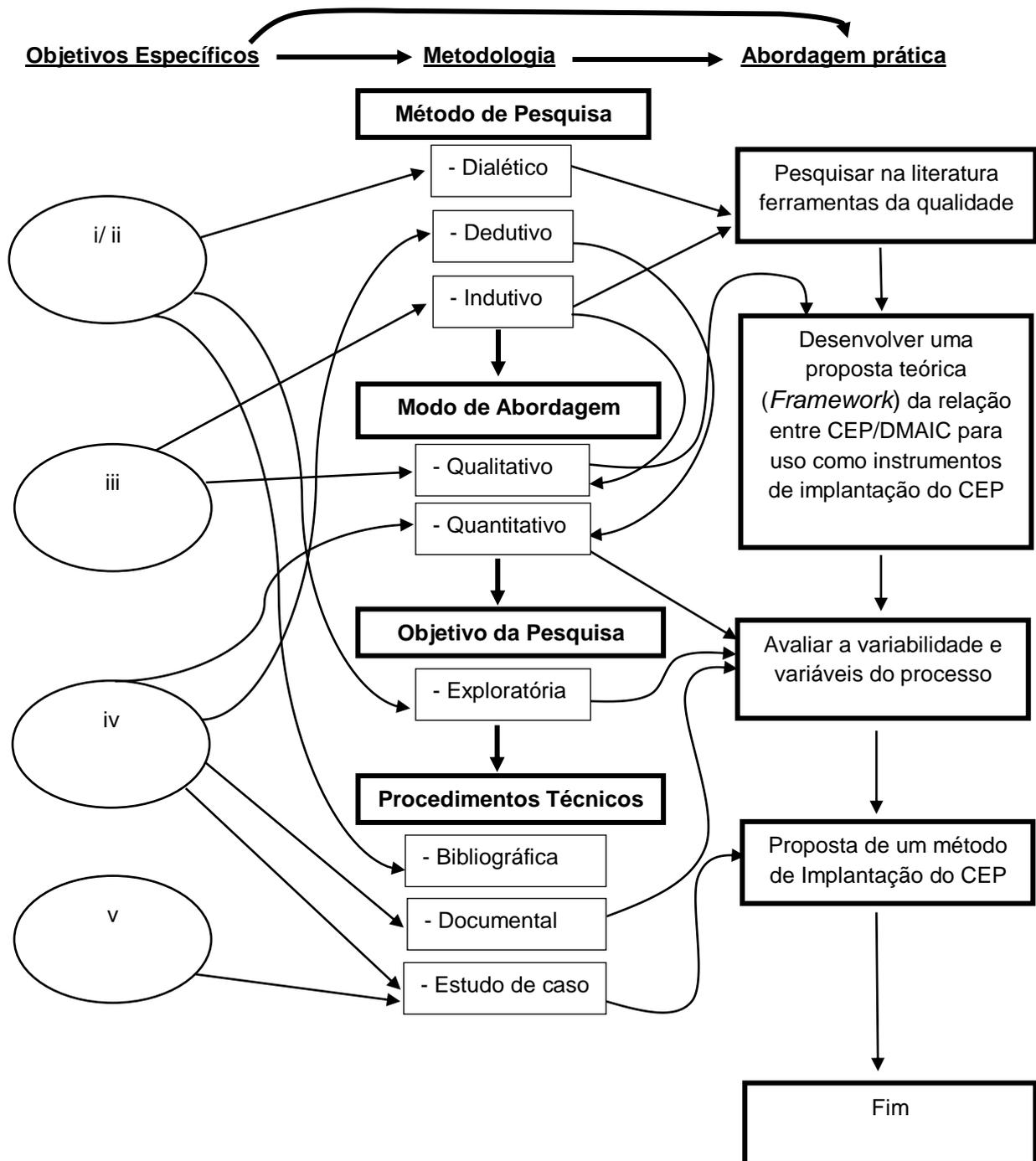
Para Prodanov e Freitas (2013), o estudo de caso dispõe-se de recolher dados e explorar informações sobre algum indivíduo, objeto ou família, com finalidade de tabular estes dados e estudá-los, em conformidade com o conteúdo da pesquisa, podendo ser de caráter qualitativo ou quantitativo.

Da mesma forma, Yin (2001) declara que o estudo de caso é uma técnica que analisa algum acontecimento dentro da realidade, quando a distância entre o acontecimento e o tema não estão bem determinados e também quando são usadas inúmeras fontes de manifestações do caso.

3.5 Planejamento do estudo

O método científico desenvolvido para o estudo consiste em algumas etapas descritas na Figura 27 que segue.

Figura 27 – Fluxograma das etapas de execução do método científico



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Sobre a Figura 27 estão descritos os objetivos específicos da pesquisa relacionados com a metodologia utilizada, que está relacionada com a abordagem prática do estudo.

Para os objetivos específicos I e II, que são a pesquisa na literatura sobre CEP, DMAIC e ferramentas de qualidade, foi utilizado o método de pesquisa dialético, onde foi analisado os fatos a partir de teorias e teses, confrontando ideias de diversos autores imponentes do assunto. Para tal, foi realizada pesquisa na literatura para conseguir descrever tais objetivos. Quanto ao objetivo de pesquisa, está proposta a pesquisa exploratória, onde são levantados dados e informações sobre o tema, para conseguir avaliar as variáveis e variabilidades do processo descritos na abordagem prática. E, por fim, o procedimento técnico usado será o bibliográfico, que é a utilização de dados de revistas, publicações e artigos para comprovar a veracidade e importância da pesquisa.

Para o objetivo específico III, que é a análise da relação teórica entre os CEP e o DMAIC, o método de pesquisa utilizado foi o indutivo, que é análise de dados concretos já comprovados, baseados na experiência, ou seja, em concepções já existentes, buscando na literatura tais afirmações. Para este objetivo, foi utilizada a abordagem qualitativa, onde é esclarecido o porquê dos fatos, sem quantificá-los.

Já para o quarto objetivo específico, que é a análise das variáveis e da variabilidade do processo com objetivo de implementação do CEP, foi utilizado o método dedutivo quanto ao método de pesquisa, onde foram avaliados e relacionados os dados encontrados no processo, avaliando as variabilidades a variáveis do processo. Para isto, foram utilizados os procedimentos técnicos documental e estudo de caso, com um método de implementação do CEP para o estudo.

Por fim, o último objetivo específico do trabalho, que é desenvolver um método de implantação do CEP na empresa estudada, foi disposto o estudo de caso, onde foram recolhidos dados e informações para análise, com intuito de auxiliar o objetivo da pesquisa, que é desenvolver um método de implementação da ferramenta CEP por meio da integração com o método DMAIC e outras ferramentas da qualidade em uma indústria de alimentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados todas as etapas de execução do estudo de caso, desde a elaboração do *framework* teórico entre CEP/DMAIC até o estudo de caso, este último sendo norteado e organizado sob a ótica da metodologia DMAIC. Por fim, foi elaborado um fluxograma com um método de implementação do CEP comprovado e validado pelo estudo de caso.

4.1 *Framework* teórico entre CEP e DMAIC

Para apresentar melhor as etapas que foram desenvolvidas, segue abaixo a sequência do desenvolvimento de uma proposta teórica da relação entre CEP e DMAIC para uso como instrumentos de implantação do CEP, suas técnicas e ferramentas utilizadas:

Tabela 10 – *Framework* teórico entre CEP/DMAIC

AUTORES (DMAIC)	ETAPAS DMAIC	TÉCNICAS / FERRAMENTAS DE QUALIDADE / CEP	AUTORES
Bressan et al. (2016); Carpinetti (2012); Cerezei;	<i>Define</i> - Definir	Escopo do projeto (o quê, meta, quando), Coleta de Dados, Diagrama de Pareto, QFD. Fluxograma do processo / etapas de produção com apontamento das variáveis alinhadas com o VOC (<i>Voice of the</i>	Carpinetti (2012); Donadel (2008); Holanda et al. (2013).

		<i>Customer</i>).	
	<i>Measure - Medir</i>	DOE. Diagram de Dispersão. Coleta de Dados. Amostragem. Folha de Verificação. Cartas de Controle. Capacidade do processo. Histograma.	Carpinetti (2012); Donadel (2008); Holanda et al. (2013).
	<i>Analyse - Analisar</i>	Brainstorming. Diagrama de Ishikawa.	Carpinetti (2012); Cerezel, Gerez (2008); Donadel (2008); Holanda et al. (2013).
	<i>Improve - Melhorar</i>	5 Porquês. 5W2H. Matriz de priorização. Brainstorming.	Carpinetti (2012); Cerezel, Gerez (2008); Donadel (2008); Holanda et al. (2013).
	<i>Controle - Controlar</i>	Cartas de Controle. Controle do Processo. Variabilidade do Processo. Capacidade do processo. Relatório de anomalias. Reuniões. Fluxograma da proposta do método de implantação do CEP.	Carpinetti (2012); Donadel (2008); Holanda et al. (2013); Leite; Montesco (2016).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2 Desdobramento do *Framework*

4.2.1 *Define - Definir*

Nesta primeira etapa, conforme já fora previsto, é apresentado o escopo do projeto, onde foram coletados dados para análise, sendo realizada a construção do diagrama de pareto e da matriz QFD (voz do cliente), juntamente com o fluxograma do processo e as etapas de produção do caso estudado. O quê, meta, quando, foi definido ao aplicar o QFD junto ao gestor da qualidade da empresa estudada.

Por questões de disponibilidade, foi verificado com o gestor da qualidade as não-conformidades em relação ao produto e alocado às necessidades do cliente. O QFD foi desenvolvido com base no número de reclamações e elencado as três principais não-conformidades. Com base nisso, foi desenvolvido um fluxograma do processo.

4.2.2 Measure – Medição

Na segunda etapa, foi desenvolvido o DOE com as três principais não-conformidades. No DOE, foi realizada a construção de um diagrama de dispersão, com a finalidade de verificar o comportamento dos dados e suas interligações. A partir disto, foi realizado a coleta de dados, por meio de folha de verificação. Depois de coletado os dados, foram elaboradas cartas de controle. Também nesta seção foi realizado o cálculo de Cp e Cpk, que é o cálculo da capacidade do processo, onde há possibilidade de verificar se o processo é capaz ou não de atender as especificações do produto. Por fim, foi construído um histograma dos dados analisados.

4.2.3 Analyse – Análise

Em relação ao que foi desenvolvido na etapa anterior, nesta terceira fase foi realizado *brainstorming* com os responsáveis, para elencar as possíveis causas das não-conformidades. Foi criado um diagrama de Ishikawa para elencar as possíveis causas destas anomalias.

4.2.4 Improve – Melhorar

Nesta quarta fase foi elaborada o plano de ação da ferramenta 5 porquês, onde é identificado o problema e proposto um plano de ação adequado. Também foi elaborada uma matriz de priorização, trazendo soluções que trazem benefícios para a empresa, juntamente com um novo *brainstorming*.

4.2.5 Control – Controle

Na quinta e última fase, foram elaboradas, em uma planilha do *excel*, cartas de controle, para verificar as variabilidades e controlar o andamento do processo, juntamente com os cálculos de capacidade (Cp e Cpk). Foram propostas reuniões quinzenais para apresentar relatórios de anomalias e propor melhorias. Por fim, foi elaborado um fluxograma de um método de implementação do CEP.

4.3 Empresa estudada

Para ser possível descrever o estudo de caso, é necessário descrever a empresa estudada, seu mercado atuante e os produtos os quais trabalha. Desta forma, segue abaixo um breve resumo da empresa e o local que será realizada a pesquisa.

4.4 Descrição da empresa e mercado atuante

A empresa do estudo iniciou suas atividades em outubro de 2011, com a construção de um prédio de três mil metros quadrados. Em seu portfólio de produtos, a companhia apresenta os seguintes:

- Drágeas;
- Barras (23, 130 e 1000 gramas);
- Coberturas de sorvete;
- Bombons;
- Forneáveis;
- Produção de ovos, coelhos e demais itens para lojas especializadas.

O setor estudado da empresa foi a linha de produção de chocolates em barra, a qual apresenta maior capacidade de produção e maior volume de vendas pelo setor comercial. A empresa atua no ramo alimentício, credenciada pelo Órgão Regulador ANVISA, sendo conduzida as regras impostas por ele e pelo Ministério do Trabalho, no intuito de assegurar a qualidade dos produtos, processos e bem-estar dos colaboradores.

A distribuição de vendas dos produtos é dividida aproximadamente em 65% para mercado gaúcho e 35% para fora do estado (SC, PR, SP e RJ), sendo uma das maiores empresas de chocolate do estado.

Na próxima etapa, serão descritos cada subitem da etapa DMAIC referente ao problema de pesquisa. Em cada uma delas serão utilizadas as técnicas e ferramentas de qualidade previstas na Tabela 10 para auxiliar na resolução do objetivo geral do estudo.

4.5 Estudo de caso

Na presente seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do estudo de campo realizado na empresa descrita. São subdivididas nas cinco etapas do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) conforme detalhado no desdobramento do *framework*.

4.5.1 Etapa Definir

Conforme visto anteriormente no framework, nesta primeira etapa foi realizado a descrição do escopo do projeto (o quê, meta e quando). Desta forma, seguem tais atribuições:

- Descrição do estudo (o quê);

No presente estudo pretende-se realizar uma proposta de aplicação do CEP na indústria descrita sob a ótica da metodologia DMAIC.

- Meta (quanto);

Não existe uma meta pré-estabelecida quantitativamente, por ser uma proposta de aplicação da ferramenta CEP. Assim, o estudo se baseará na medição dos dados disponíveis com intuito de propor melhorias no processo produtivo.

- Quando (desenvolvimento);

O prazo do desenvolvimento é previsto para ser até a data final de entrega do trabalho de conclusão de curso.

Para ser possível desenvolver o trabalho, foi realizado o levantamento das principais reclamações dos clientes, juntamente com o gestor da qualidade, as quais estão apresentadas na tabela 11:

Tabela 11 – Reclamações dos clientes

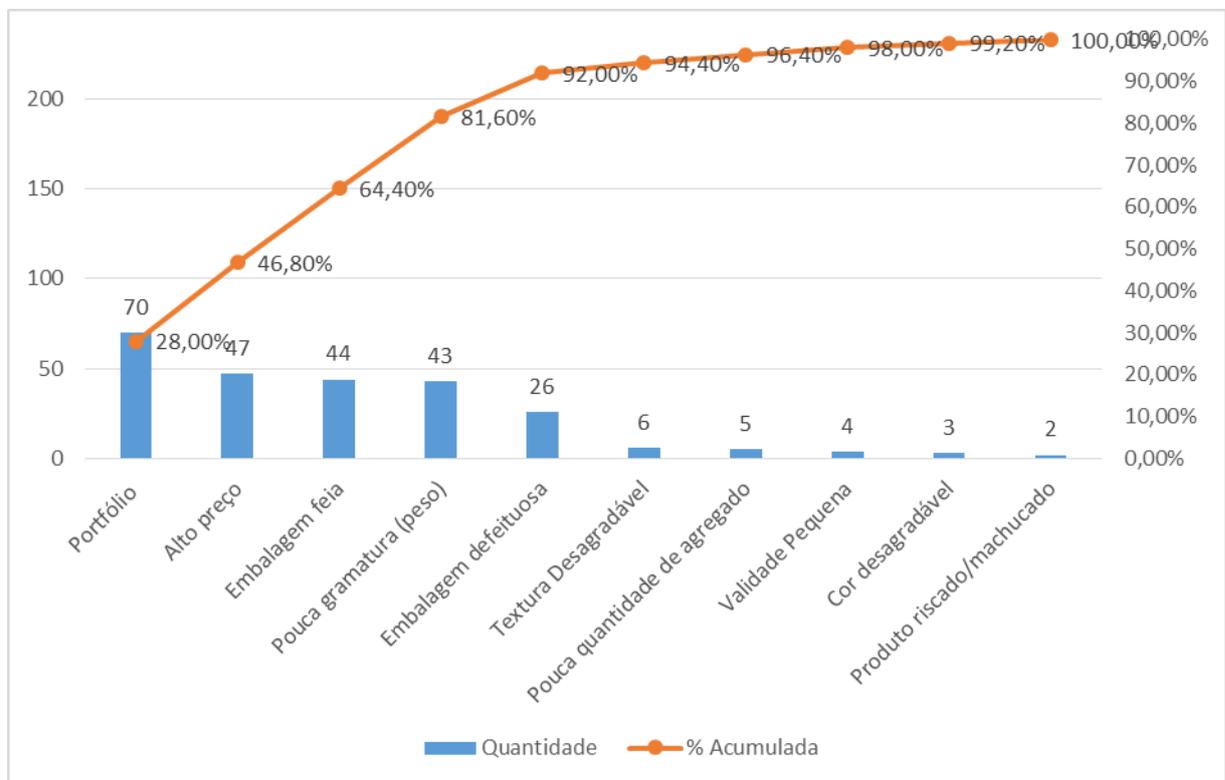
Reclamações	Quantidade	% Acumulada	% Simples
Portfólio	70	28,00%	28,00%
Alto preço	47	46,80%	18,80%
Embalagem feia	44	64,40%	17,60%
Pouca gramatura (peso)	43	81,60%	17,20%
Embalagem defeituosa	26	92,00%	10,40%

Textura Desagradável	6	94,40%	2,40%
Pouca quantidade de agregado	5	96,40%	2,00%
Validade Pequena	4	98,00%	1,60%
Cor desagradável	3	99,20%	1,20%
Produto riscado/machucado	2	100,00%	0,80%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após de verificadas as reclamações, as mesmas foram dispostas em um diagrama de pareto, para que seja possível avaliá-las de acordo com seu grau de ocorrência, a qual segue na Figura 28:

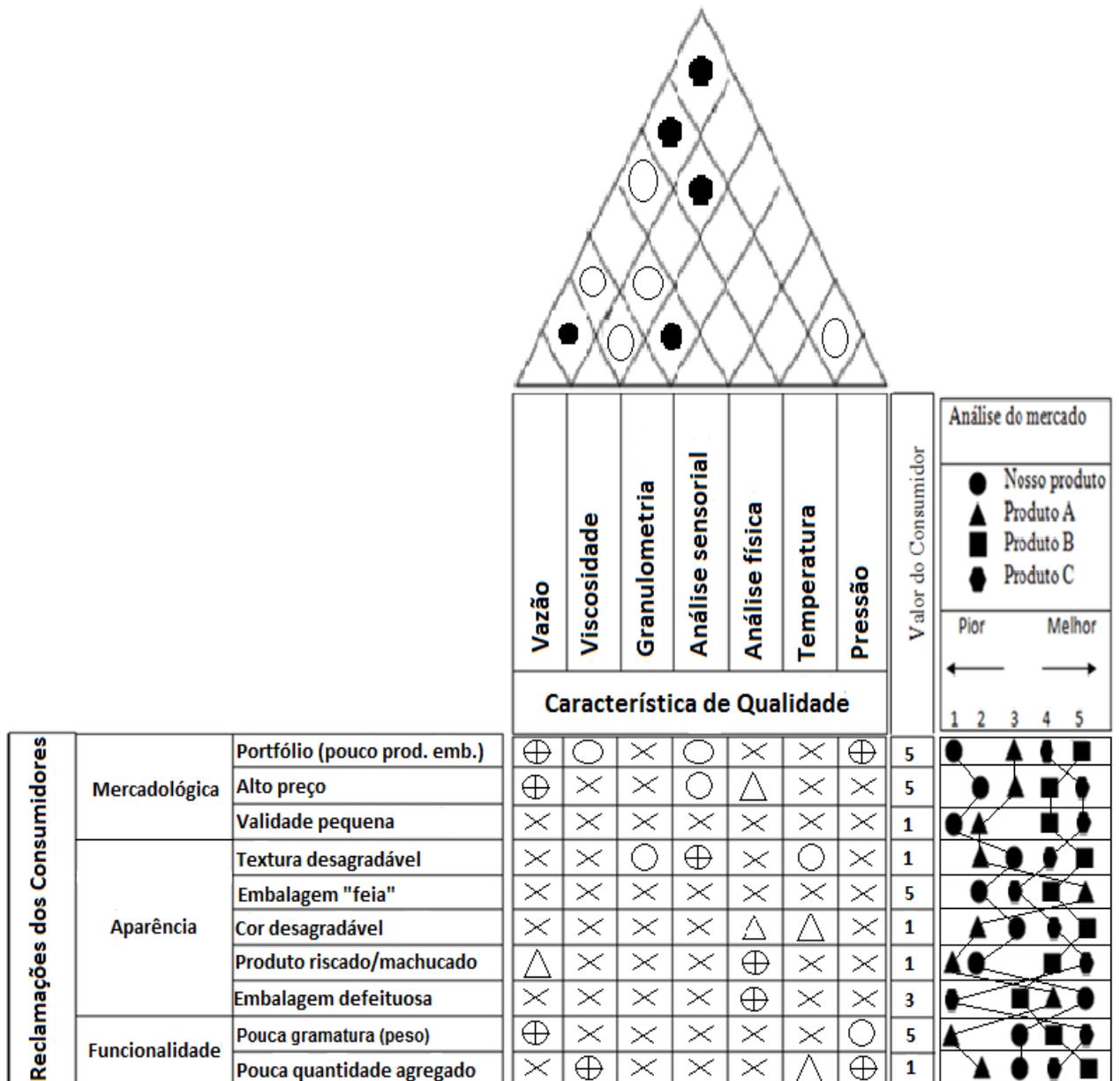
Figura 28 – Diagrama de pareto para reclamações dos clientes



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após isto, foi realizada a construção de uma matriz QFD, confrontando estas principais reclamações em relação as características da qualidade que a empresa detém, onde o valor do consumidor foi mensurado em relação a quantidade de reclamações que a empresa apresentava, os quais estão expressos na tabela 10.

Figura 29 – Matriz QFD



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Por fim, foi realizado o cálculo do valor da importância das características da qualidade, conforme descrito pela equação 38, sendo possível verificar uma posição para cada uma delas. Desta forma, segue Tabela 12 com valor da importância e a posição correspondente para cada CQ:

Tabela 12 – Valor da importância das CQ's e seu percentual de importância

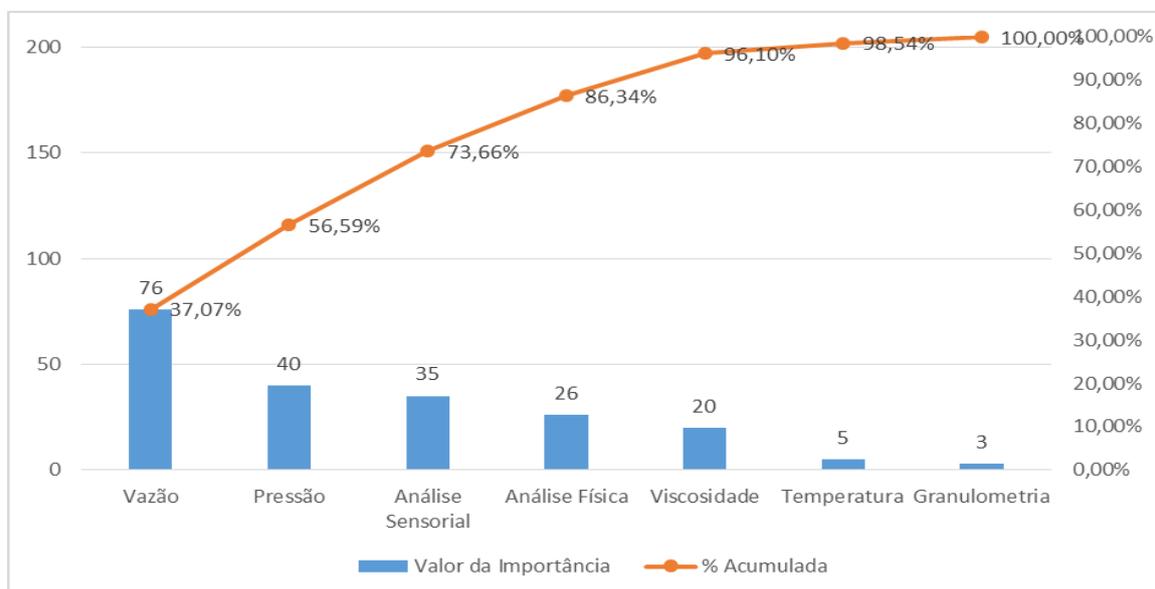
CQ	Vazão	Pressão	Análise Sensorial	Análise Física	Viscosidade	Temperatura	Granulometria
Valor da Importância	76	40	35	26	20	5	3
Classificação da Importância	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Percentual	37,07%	19,51%	17,07%	12,68%	9,76%	2,44%	1,46%
Cum %	37,07%	56,59%	73,66%	86,34%	96,10%	98,54%	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com a construção da matriz QFD e do cálculo do valor da importância, é possível precisar informações básicas e de grande relevância para serem utilizadas nas tomadas de decisões. Com isto, a área da qualidade consegue priorizar as principais reclamações dos clientes por meio de dados confiáveis, estabelecendo metas para as melhorias em questão.

Desta forma, para o presente trabalho serão utilizadas as três principais características da qualidade (CQ) em relação ao seu valor de importância (VI). Portanto, segue diagrama de Pareto abaixo:

Figura 30 – Diagrama de Pareto do valor da importância das CQ's e seu percentual



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme visto no diagrama de pareto na figura 30, as três principais características da qualidade que refletem as reclamações dos clientes são a vazão, a pressão e a análise sensorial, as quais correspondem 73,66%. Conforme Hanacleto et al. (2016), é necessário que se tenha em torno de 70% a 80% para ser realizado um estudo com grande aplicabilidade.

Porém, como a análise sensorial não é mensurável e ela é realizada no processo de têmpera, o qual antecede o processo do estudo (envase), ela não será objeto de análise neste trabalho.

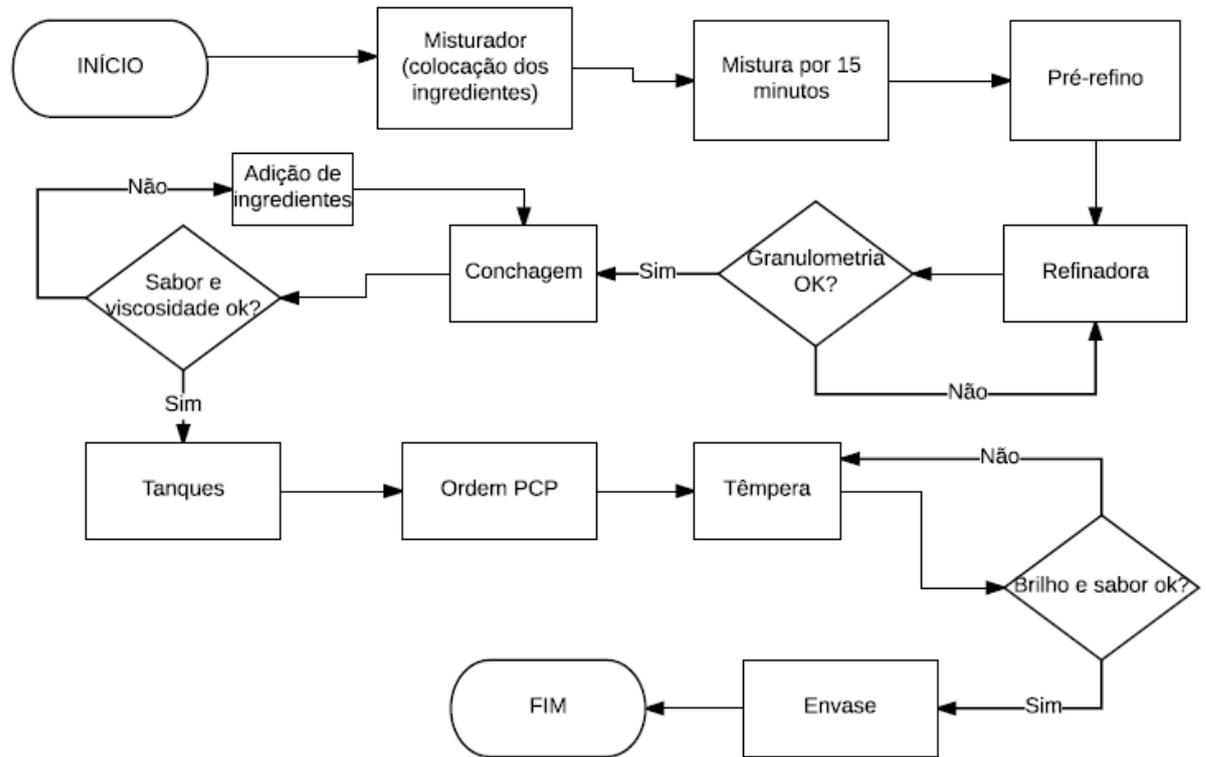
Para isso, é de grande importância apresentar como processo de envase é realizado, para melhor entender as variáveis do processo.

4.5.1.1 Etapas do processo de fabricação

O processo de fabricação do chocolate começa com adição das matérias-primas (açúcar, cacau, leite em pó, gorduras, manteiga de cacau e liquor de cacau) em tanques de armazenagem temporária, para que depois sejam pesadas e acrescentadas a receita. Após isso, todos seus próximos passos são automáticos por tubulações, realizados por bombas à vácuo. Quando é necessário elevar a temperatura, estas tubulações são envolvidas em água quente em aproximadamente 40°C – para que a gordura fique derretida.

Desta forma, para melhor exemplificar, segue fluxograma do processo produtivo descrito na figura 31:

Figura 31 – Fluxograma do processo produtivo

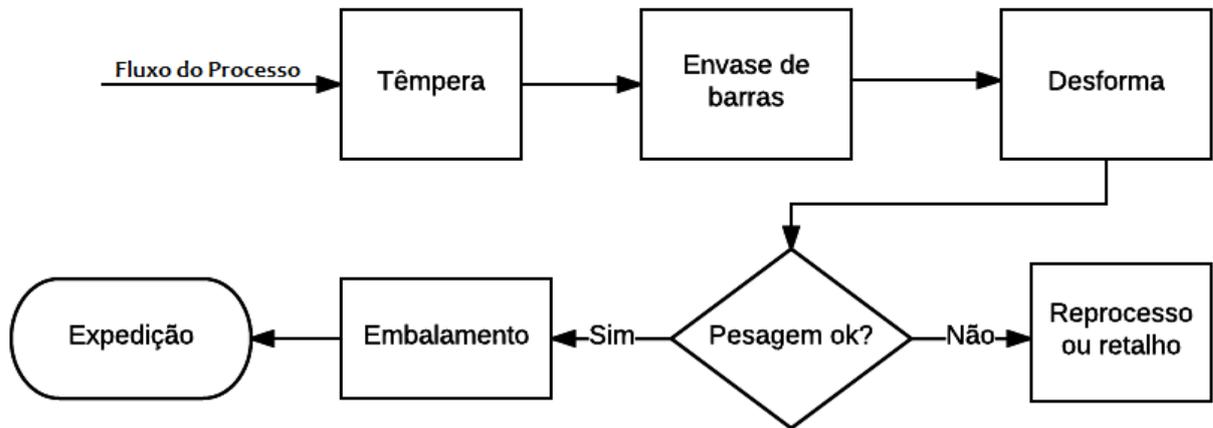


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para o estudo em questão, foram aplicados os conhecimentos na seção de envase, mais precisamente na linha de produção de barras da empresa, produto qual representa maior participação de mercado e que apresenta maior índice de problemas na variável resposta peso.

Desta forma, após todo o processo descrito acima, o chocolate, após o processo de têmpera, é encaminhado para o envase na linha de barras. Para que o produto esteja na forma de barras, o envase é feito através de uma dosadora, que despeja o produto nas formas de 1 kg, 140g e 130g em formas específicas para cada produto. A dosadora é volumétrica e as características do produto envasado, como vazão e pressão, podem gerar variação no peso do produto final.

Figura 32 – Fluxograma do processo de envase



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Seguindo o processo, após o envase do chocolate nas formas, o chocolate que está ainda na forma líquida necessita ser cristalizado para ser embalado. Assim, as formas atravessam um túnel de resfriamento, com objetivo de cristalizar o chocolate. Após o túnel, o produto é encaminhado automaticamente para a desforma, que é realizada manualmente.

Como as barras de 130 gramas têm uma representatividade de aproximadamente 80% da produção da linha, foi concluído que a mesma seria objeto do estudo - a qual apresenta especificação mínima e máxima de 128 a 132 gramas, respectivamente - por entender que melhorias neste produto trariam um grande impacto para a empresa.

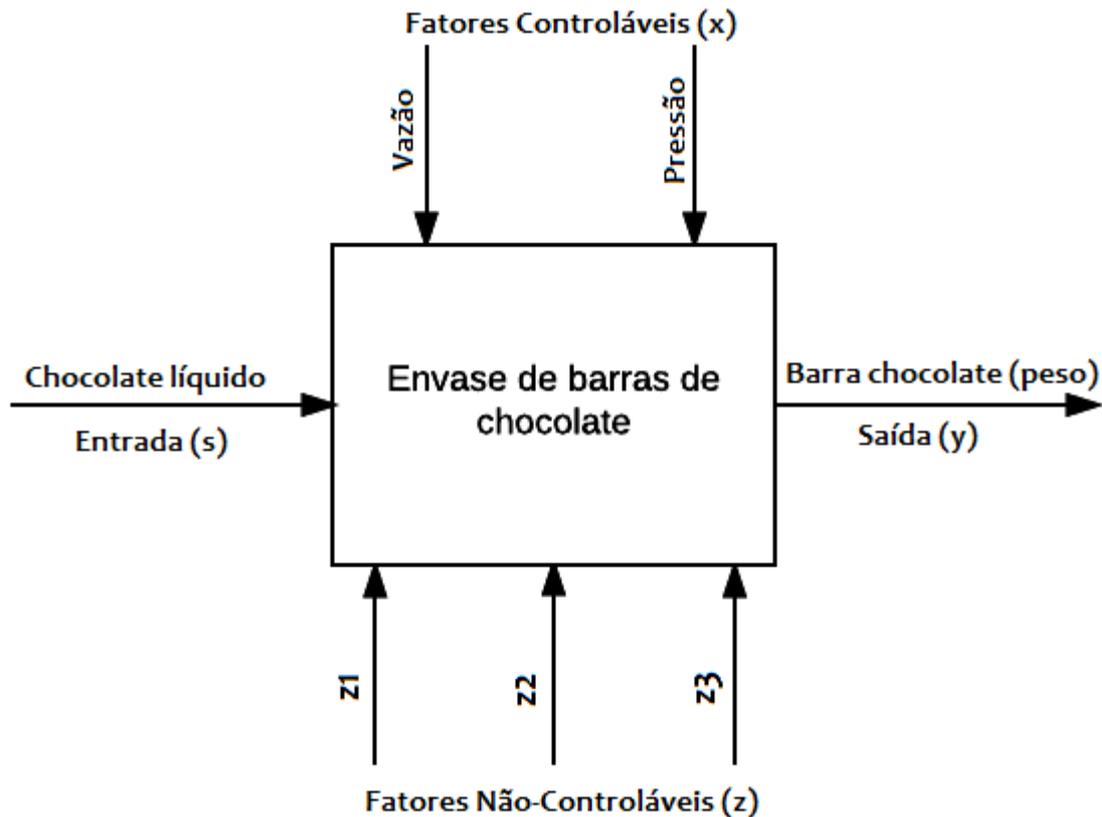
Para que seja possível realizar tais melhorias, é necessário realizar um planejamento de experimentos no local específico, no caso do estudo na seção de envase, pois é único lugar que é possível controlar a saída da variável peso por meio dos fatores controláveis (vazão e pressão). Após esta fase, se o produto não atingir as especificações determinadas pela empresa, ele irá a reprocesso ou para retalho.

4.5.2 Etapa Medir

O objetivo desta etapa do trabalho é realizar um Delineamento de Experimentos para investigar quais são as variações na matéria prima que influenciam no aumento do peso. Como já é comprovado na empresa que as barras

de chocolate resultam em maiores problemas para o controle de peso, optou-se por utilizá-las nesse estudo. Abaixo segue modelo do processo DOE:

Figura 33 – Processo DOE



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme evidenciado na figura 33, os fatores controláveis estudados são a vazão e a pressão, com variável resposta o peso do produto (gramas). Sabendo qual é a característica da variável resposta, optou-se por considerar peso dos produtos com ótima qualidade antes da fase de embalagem, como variável resposta para o Planejamento de Experimentos. Desta forma, produtos que apresentaram peso com qualidade aceitável, ou seja, dentro das especificações propostas pela empresa, foram medidos com balança de precisão em gramas, calibrada e aferida com precisão adequada.

Para que a realização do planejamento de experimentos tenha sucesso, é necessário que todos os fatores não-controláveis ou externos que possam influenciar na realização do procedimento fossem controlados. O primeiro fator não controlável (z_1) é a marcação errada da variável resposta, mas, como esta variável

foi medida com uma balança de precisão aferida e calibrada, foi reduzido os erros de medição durante o experimento. Como segundo fator a ser controlado (z2), a máquina poderia apenas ser manipulada por funcionários autorizados e treinados, para que não ocorra nenhuma alteração nas respostas e/ou acidentes de trabalho. Por fim, o fator não controlado (z3), é de que a matéria-prima que provêm do processo de têmpera e que chega para a seção do envase fosse controlada e verificada antes de entrar no processo.

4.5.2.1 Planejamento de Experimentos

Desta forma, com os fatores externos controlados, é possível iniciar o projeto de experimentos. Portanto, para cada um dos fatores controláveis existem fatores de controle máximo e mínimo para que a máquina possa operar, de acordo com a formulação do produto. Estes valores dos fatores de controle variam dentro dos limites de especificação do produto. Na tabela 13 estão apresentados estes limites citados.

Tabela 13 – Limites de especificação máximo e mínimo

Fator de Controle	Limite de Especificação Mínimo	Limite de Especificação Máximo
Vazão	414 cm ³ /s	417 cm ³ /s
Pressão	8 bar	10 bar

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com isto, os objetivos específicos do experimento são:

- Determinar qual ou se ambos os fator (es) de controle é (são) significativo (s) no peso do produto atendível;
- Determinar qual ou se ambos os fator (es) de controle tem (têm) influência no peso do produto com qualidade atendível;
- Determinar como ajustar os fatores de controle para que o peso não apresente variação significativa.

Para tal, optou-se por realizar o planejamento de experimentos com fator 2², gerando 4 tratamentos, onde todos eles podem ser aplicados na prática, sem prejuízo ao processo. Desta forma, foi possível trabalhar com 5 réplicas de cada

tratamento, totalizando 20 observações dos pesos do produto final barra com qualidade atendível, coletados em um dia de trabalho da linha de barras 130 gramas do processo de fabricação em questão. Para isto, as análises dos resultados dos experimentos foram realizadas pelo software Minitab16.

4.5.2.2 Realização e Análise do Experimento

Após planejado, é nesta fase que ocorre a realização do experimento. Assim, o experimento foi feito pelo experimentador, acompanhado pelo gestor da qualidade e pelo operador da máquina.

As barras pesadas com qualidade aceitável em cada tratamento foram anotadas em uma folha de verificação de acompanhamento, de acordo com cada nível de cada fator de controle que foram modificados na máquina intencionalmente (tabela 13). Do mesmo modo, a ordem que os experimentos foram colocados em prática foi aleatória, respeitando o tempo de alteração da pressão e vazão para cada fator. Após isto, as informações obtidas foram organizadas, digitalizadas para o software para análise do efeito resposta peso para cada variável.

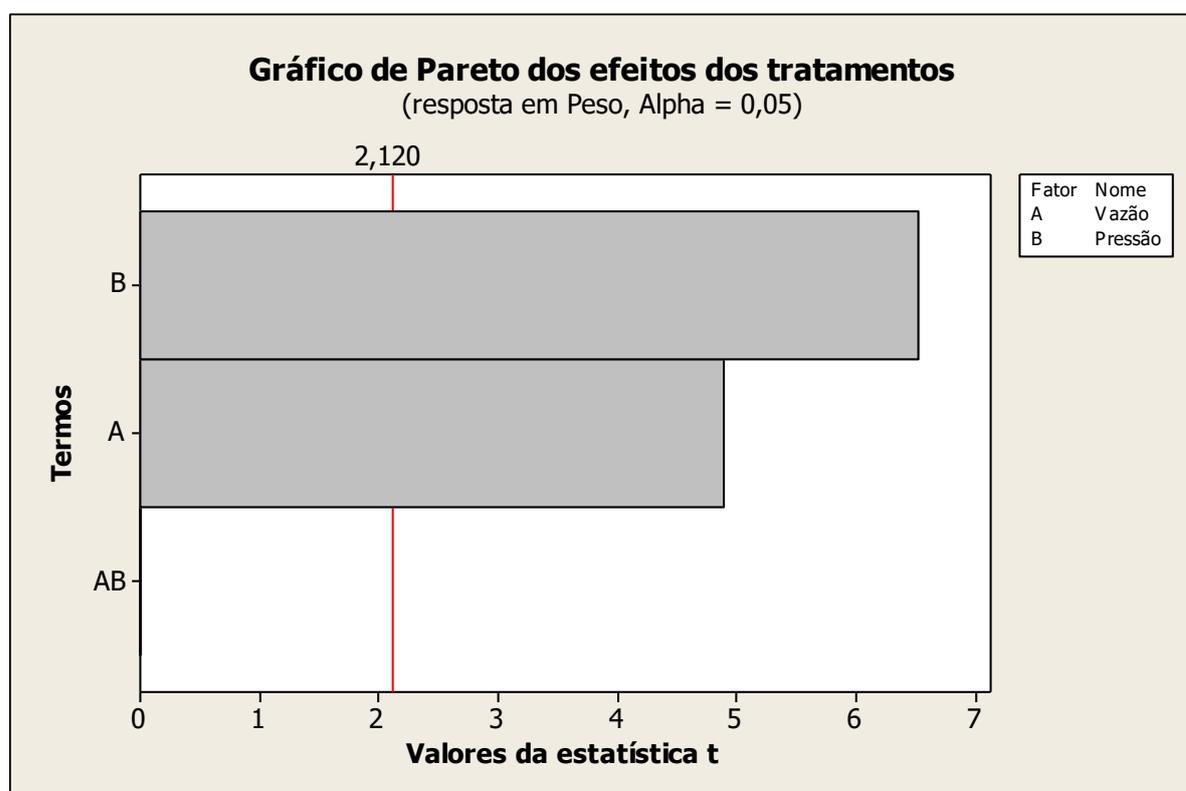
Tabela 14 – Variáveis controladas e suas respostas

Ordem sorteada	Ordem normal	Vazão	Pressão	Peso
20	1	417	10	132
1	2	414	8	128
15	3	414	10	129
5	4	414	8	128
11	5	414	10	130
19	6	414	10	129
10	7	417	8	129
13	8	414	8	128
12	9	417	10	131
3	10	414	10	130
9	11	414	8	128
17	12	414	8	128
4	13	417	10	130
8	14	417	10	131
7	15	414	10	130
18	16	417	8	130
6	17	417	8	129
16	18	417	10	130
2	19	417	8	129
14	20	417	8	129

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Mediante o que foi apresentado na tabela 14, foi realizado a construção de um gráfico de Pareto para verificação de qual (is) variável (is) controlada (s) apresentam maior influência na resposta peso, que segue:

Figura 34 – Gráfico de Pareto



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com o Pareto, é possível verificar que as variáveis de controle pressão e vazão (variáveis que ultrapassam a linha de referência na cor vermelha) são estatisticamente significativas sobre o peso das barras com qualidade atendível, como já era previsto acontecer, por meio da experiência diária do operador da máquina. Porém, é possível perceber que não existe relação entre ambas as variáveis, mostrando que as mesmas são independentes entre si para a variável resposta peso.

Desta forma, foi apresentado os valores dos efeitos significativos individualmente, como também a estatística t e os *p_valores*.

Tabela 15 – Coeficientes e estatísticas de significância do modelo

Fatores de Controle	Coeficiente do Modelo	Estatística T	P_Valor	Significância do modelo
Constante	-44,00	-1,34	0,199	Não
Vazão	0,40	5,05	0,000	Sim
Pressão	0,80	6,73	0,000	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Como o valor de $P < 0,001$, há evidência para rejeitarmos a hipótese nula, para um nível de significância $\alpha = 5\%$. Também é possível afirmar que há uma correlação linear positiva entre o peso e as variáveis controladas (vazão e pressão) das barras amostradas. Assim, observa-se na tabela que os termos vazão e pressão são significativos e fazem parte final da reta ajustada apresentada na equação (38).

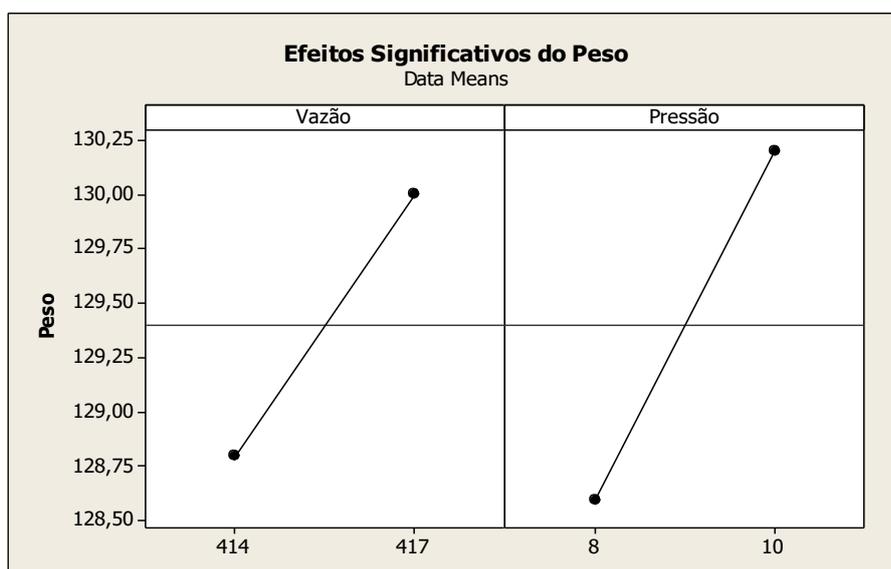
Calculou-se também a medida da qualidade do modelo de regressão (R^2), que é a proporção da variação total da variável resposta (y), explicada pela variação das variáveis independentes (x). O valor que foi encontrado para esta variação é de 78,4%, confirmando uma boa proporção de variação, visto que resultados acima dos 50% sejam o ideal, conforme Godoy (2014). Desta forma, segue a equação de regressão linear:

$$\text{Peso} = 0,4 \times \text{Vazão} + 0,8 \times \text{Pressão} \quad (38)$$

Além das análises do gráfico de Pareto e do modelo de regressão, foram construídos os gráficos de efeitos dos termos significativos (Figura 35) e de interação entre as variáveis (Figura 36), para que se tenha uma melhor compreensão e interpretação da influência deles na variável resposta. Os gráficos que são apresentados exibem uma característica em comum: quanto maior for a vazão e maior for a pressão da máquina, maior será o peso do produto; porém, em contrapartida, se a vazão e a pressão estiverem no valor mínimo de especificação, a variável resposta ficará bem próxima a especificação mínima da barra, podendo tender a produzir sem que a especificação do produto seja atendida. Outra particularidade interessante é observada na Figura 36: quando a pressão for mínima (8 bar) e a vazão mínima (414 cm³/s), a variável resposta (peso) será 128 gramas, que é igual ao mínimo da especificação; em contrapartida, quando a pressão for

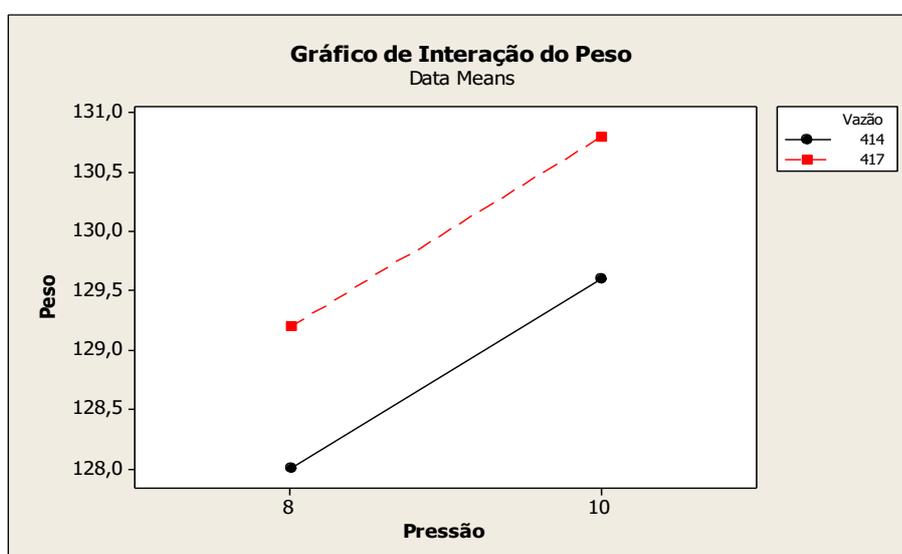
máximo (10 bar) e a vazão também (417 cm³/s), a variável resposta estará bem próxima a meta, com peso aproximadamente de 130,75 gramas. Portanto, é possível verificar que não há interação entre as variáveis, conforme é verificado no gráfico da Figura 36.

Figura 35 – Gráfico dos efeitos significativos



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

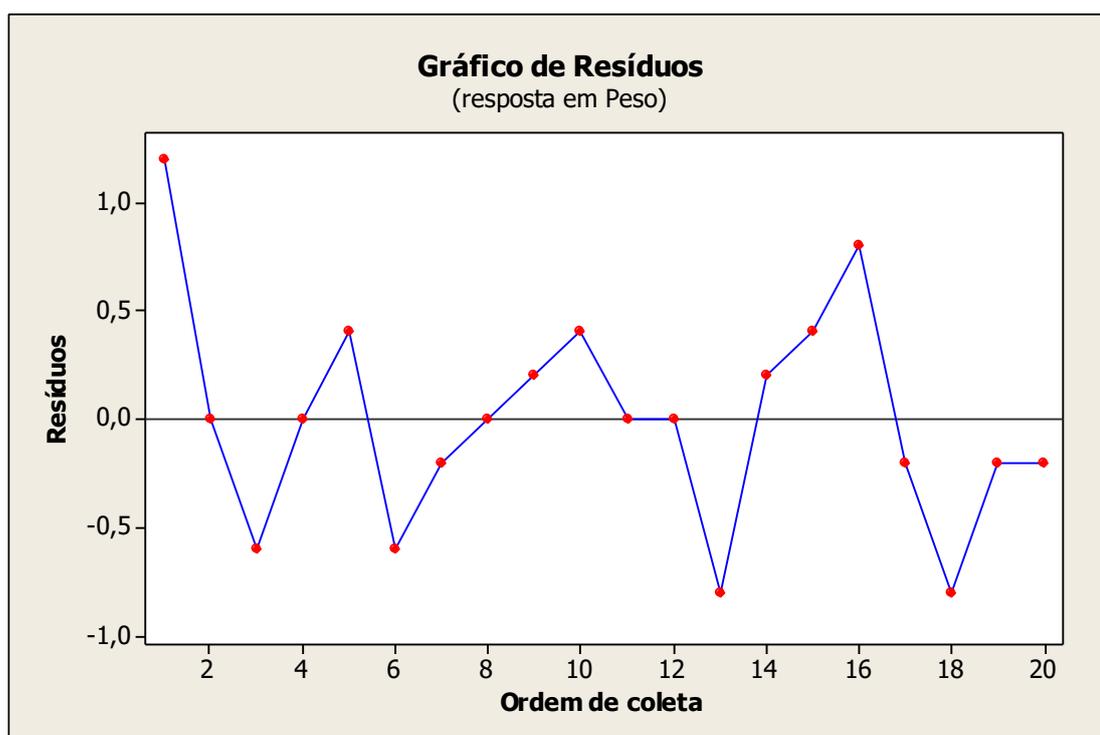
Figura 36 – Gráfico de interação



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na sequência, foi analisada a independência dos resíduos com a realização do teste do gráfico dos resíduos versus ordem de coleta dos dados, onde é possível verificar que não existe nenhuma tendência ou padrão com a ordem da coleta dos dados, afirmando que não há presença de autocorrelação dos resíduos ou independência deles.

Figura 37 – Gráfico de Resíduos vs. Ordem de coleta



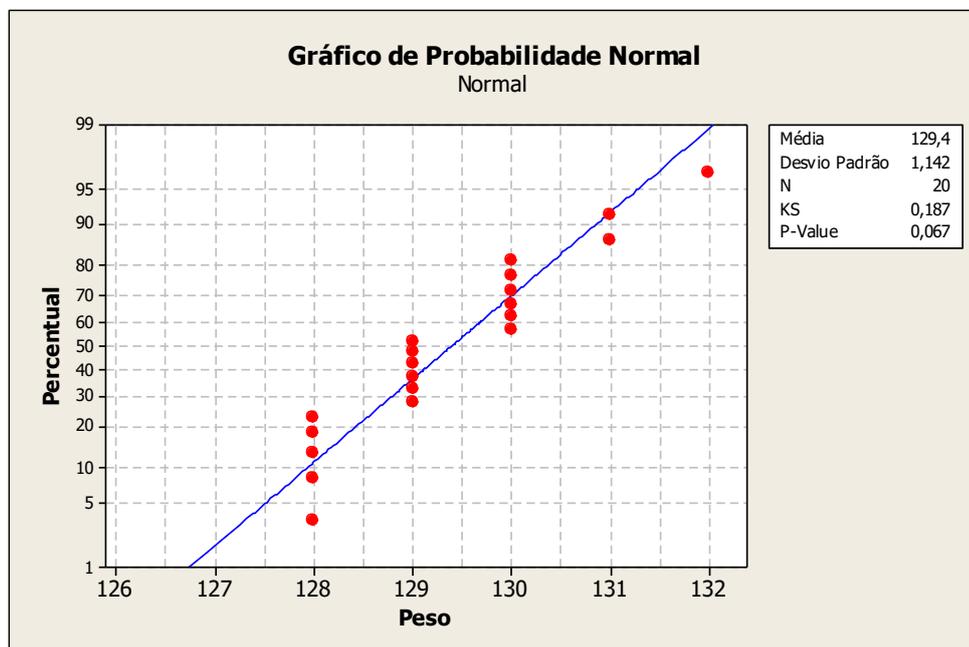
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após isto, foi verificado se os resíduos possuem ou não distribuição Normal. Desta forma, foi realizado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* por meio do Minitab16, com resultado confirmando a normalidade a um nível de significância de 5%. Além disso, foi construído o gráfico Normal-Probabilístico (Figura 38) que apresenta os pontos levemente alinhados com a reta, onde é possível afirmar que os dados possuem distribuição Normal.

Da mesma forma, para verificar a homoscedasticidade, ou seja, para confirmar se as variâncias das repetições do tratamento são iguais entre si, foi elaborado um gráfico de resíduos versus valores ajustados (Figura 39). Nele é possível verificar que não há nenhuma tendência ou padrão, ao ponto que todos os

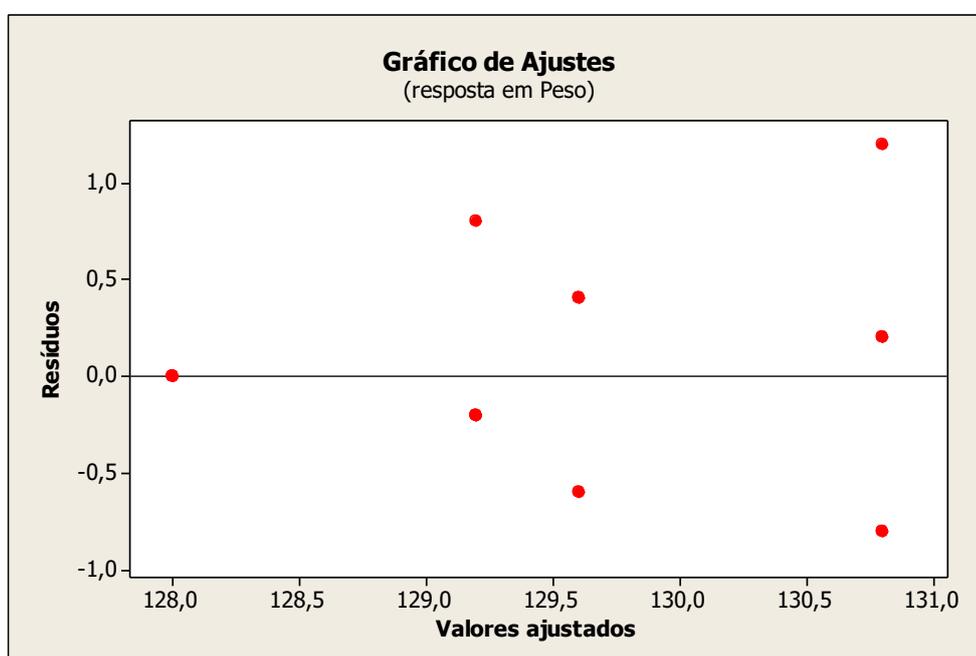
pontos estão em torno de zero, confirmando, portanto, uma média próxima de zero e homoscedasticidade.

Figura 38 – Gráfico de Normal-Probabilístico



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 39 – Gráfico de Resíduos versus Valores Ajustados



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Desta forma, observou-se que os dois fatores de controle – vazão e pressão – apresentam significância para o processo, ou seja, estes fatores influenciam no peso final do produto barra 130 gramas. Quanto a veracidade do modelo, a mesma foi verificada e validada no decorrer do trabalho, podendo ser utilizada no processo. Para tal, é importante acompanhar o processo por meio de cartas de controle e calcular sua capacidade de atender as especificações. A partir dos resultados da aplicação do DOE é possível otimizar o processo, fato que será descrito na próxima etapa.

4.5.2.3 Otimização do processo

A variável peso foi dimensionada teoricamente para que o nível dos produtos atinja excelência em qualidade. Para isto, foi verificado os níveis dos fatores controláveis (vazão e pressão), por meio de otimização dos dados apresentados na Tabela 14, realizada pelo software Minitab16, que tiveram os resultados desejados – atingindo o peso meta de 130 gramas – os quais estão dispostos na Tabela 16 e apresentam os níveis dos fatores estudados.

Tabela 16 – Parâmetros ótimos para os fatores estudados

Fatores	Valor Ideal
Vazão	415 cm ³ /s
Pressão	10 bar

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Assim, estes fatores da Tabela 16 representam os valores específicos necessários para que seja produzidas barras com a meta estipulada (130 gramas).

Após isto, conforme já apresentado no *framework*, foi realizado coleta de dados para analisar se o processamento está ou não sob controle estatístico de processo, sendo o passo seguinte do trabalho.

4.5.2.4 Controle Estatístico de Processo

Portanto, foram coletados dados para análise de capacidade da máquina em atender as especificações do produto. Conforme histórico de produção da máquina, sua capacidade de produção era de aproximadamente 2.500 barras/hora, sendo que em um dia de 8 horas de trabalho eram produzidas cerca de 20.000 barras.

Para tal, conforme figura 18, para um lote entre 8.001 e 22.000 unidades, são necessárias no mínimo 85 amostras para o estudo. Como o envase é realizado uniformemente com disposição para seis barras por forma, verifica-se que o tamanho do subgrupo é igual a seis. Portanto, os fatores de controle utilizados referentes ao tamanho amostral seguem conforme o Anexo A, bem como os cálculos de capacidade C_p e C_{pk} que são apresentados pelas equações 36 e 37, respectivamente.

Com intuito de aumentar a confiabilidade amostral e ter uma melhor organização na coleta, foram verificadas 150 amostras, divididas em 25 grupos de 6 amostras cada, sendo realizada durante dois dias de processamento da empresa. Os dados coletados seguem apresentados na tabela a seguir:

Tabela 17 – Folha de Verificação para análise dos dados

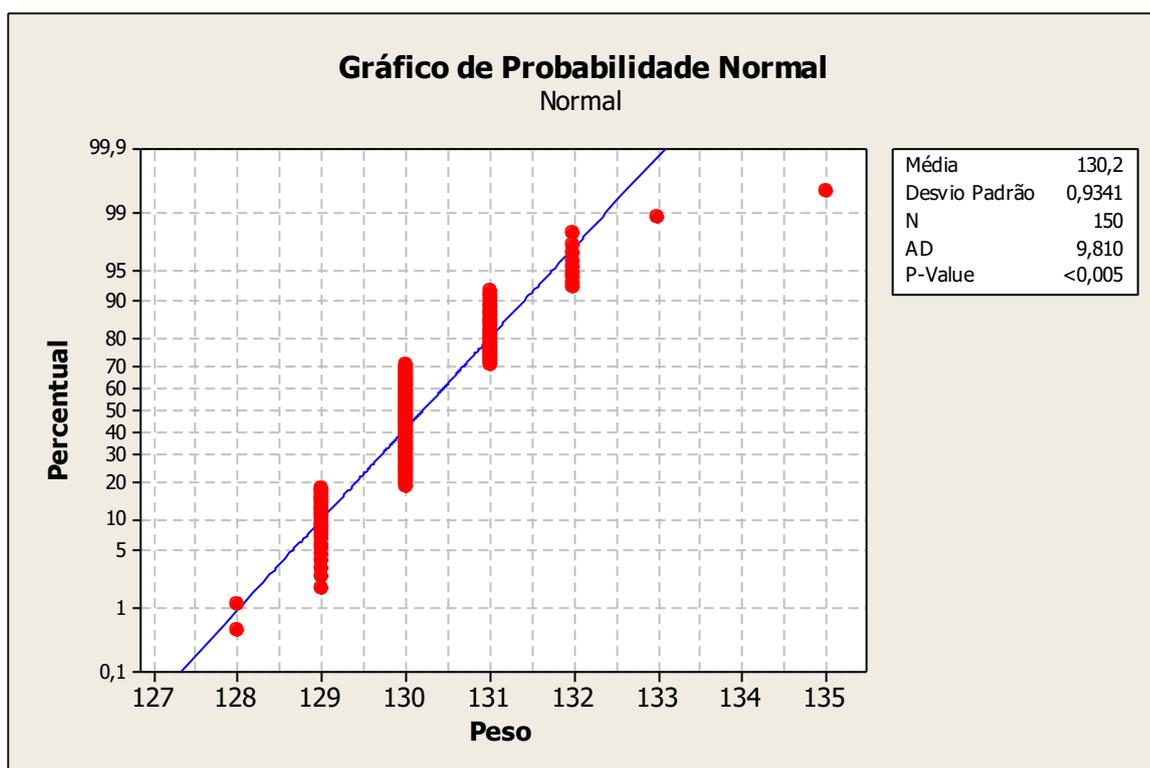
FOLHA DE VERIFICAÇÃO							
Produto: Chocolate ao leite - Barra 130 gramas							
Frequência amostral: 1 amostra a cada 30 minutos							
Amostra	Medidas						Hora
1	131	129	130	130	131	130	08:00
2	131	130	130	130	131	130	08:30
3	131	131	131	130	131	131	09:00
4	130	131	131	130	131	131	09:30
5	130	129	130	129	130	130	10:00
6	130	130	131	130	130	131	10:30
7	132	130	131	131	131	131	11:00
8	131	129	129	130	131	131	11:30
9	130	130	130	131	130	128	14:00
10	132	130	131	132	130	130	14:30
11	130	133	130	130	130	129	15:00
12	130	131	131	130	130	129	15:30

13	131	130	130	128	130	130	08:00
14	130	130	131	130	130	130	08:30
15	129	132	129	130	130	130	09:00
16	131	130	129	129	129	129	09:30
17	130	129	129	129	130	130	10:00
18	130	130	129	129	129	129	10:30
19	130	130	129	130	130	130	11:00
20	130	130	130	132	130	131	11:30
21	132	129	130	129	130	130	14:00
22	130	130	130	130	130	130	14:30
23	135	130	130	132	130	130	15:00
24	131	130	129	130	131	130	15:30
25	132	129	130	131	130	132	16:00

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após isto, os dados coletados foram transcritos para o software Minitab16 com a finalidade de criar cartas de controle para verificar o processo. Porém, antes desta criar cartas de controle, é importante que seja verificada a normalidade das amostras, ou seja, que seu P_value seja superior ao intervalo de confiança, que no caso é de 0,05. Desta forma, segue teste de da probabilidade normal:

Figura 40 – Gráficos de Probabilidade Normal



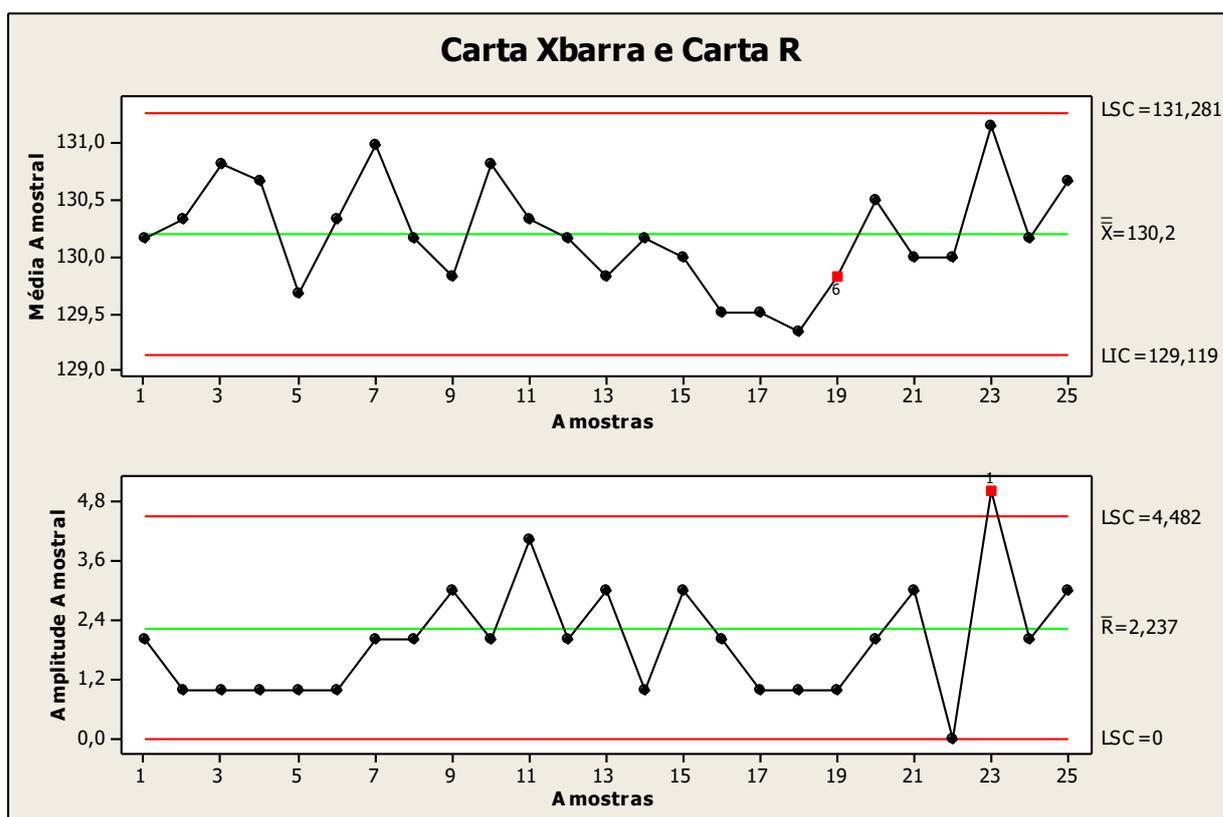
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para o gráfico acima, foi realizado o teste da normalidade de Anderson-Darling. Conforme visto anteriormente, considera-se normal a distribuição os valores que apresentarem *P-Value* superior a 0,05, que significa uma probabilidade maior que 5% em cometer erro, ao rejeitar a hipótese de normalidade da distribuição analisada. Desta forma, o *P-Value* do gráfico da figura 40 é menor que 0,05, concluindo, então, que a distribuição não é normal.

Como um dos objetivos do trabalho é analisar a variabilidade do processo de forma a projetar a implementação do CEP, os parâmetros ótimos encontrados no planejamento de experimentos não foram alterados para realizar a coleta de dados, visto que o desejado é verificar como o processo decorre antes das modificações.

Portanto, após isto, foi realizada a construção de cartas de controle para verificar o andamento do processo. Desta forma, segue Figura 41 que representa a Carta de Controle da Média e da Amplitude, respectivamente:

Figura 41 – Gráficos de Controle



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

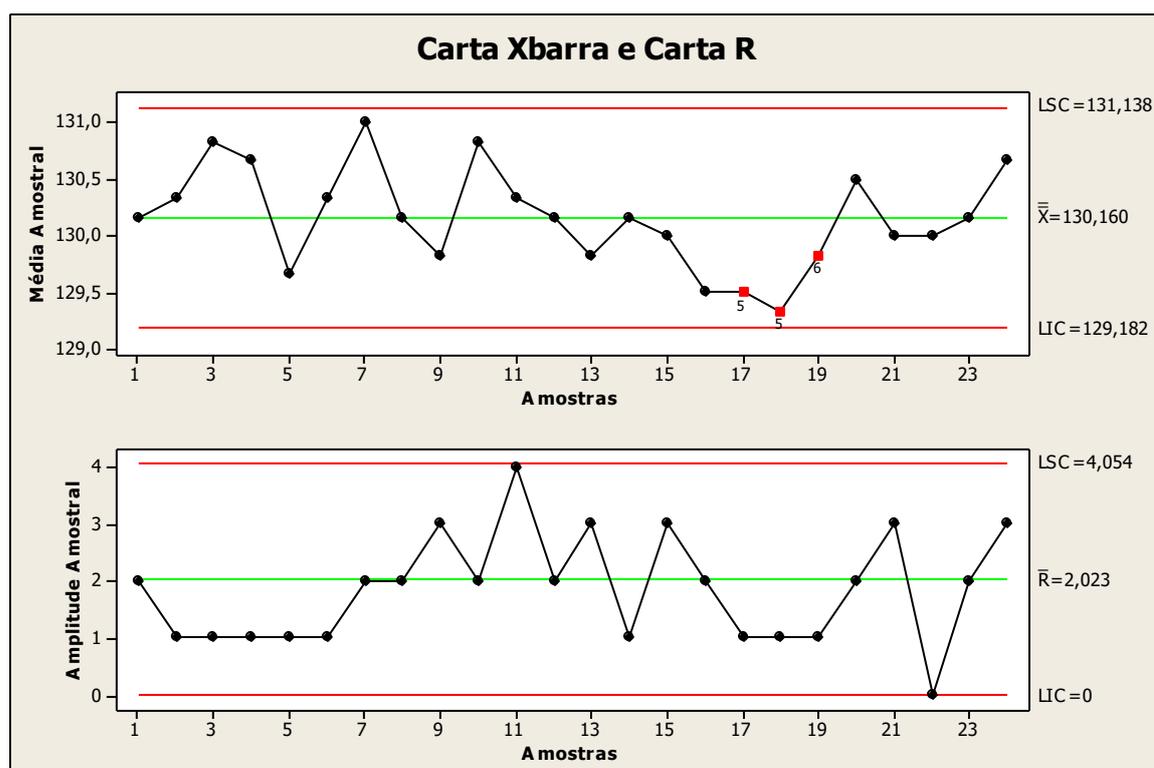
Pode-se observar que a primeira carta de controle possui todos os seus dados dispostos dentro dos limites de controle, sendo o máximo 131,281 e o mínimo 129,119. Porém, vale destacar que, apesar de todas as médias dos dados estarem dentro dos limites de controle, há um dado que representado na cor vermelha, disposto no subgrupo 19. Para tal, verifica-se que quatro em cinco pontos do gráfico estão localizados na mesma faixa do mesmo lado do gráfico, representando uma tendência no processo, conforme confirmado na seção 2.5.4.2, Figura 21 (padrão 6) do referencial teórico.

Para a segunda carta de controle, observa-se que há um ponto em vermelho (subgrupo 23) que, para esta análise, observa-se que ele está fora dos limites de controle do gráfico, ultrapassando os limites de amplitude calculados pelo software Minitab16, onde também pode ser comprovado na seção 2.5.4.2, Figura 21 (padrão 1) do referencial teórico.

Desta forma, para indetificar se o processo é capaz ou não de atender as especificações do produto, é necessário calcular a capacidade de processo. Porém,

como o gráfico da amplitude apresenta um de seus dados fora dos limites de controle, é necessário normalizá-lo antes da análise de capacidade, ou seja, retirar a amostra que faz o gráfico sair de controle – subgrupo amostral 23. Portanto, foi realizado tal atribuição e, para conferência e confirmação, segue abaixo os Gráficos da Média e Amplitude normalizados:

Figura 42 – Gráficos de Controle Normalizados



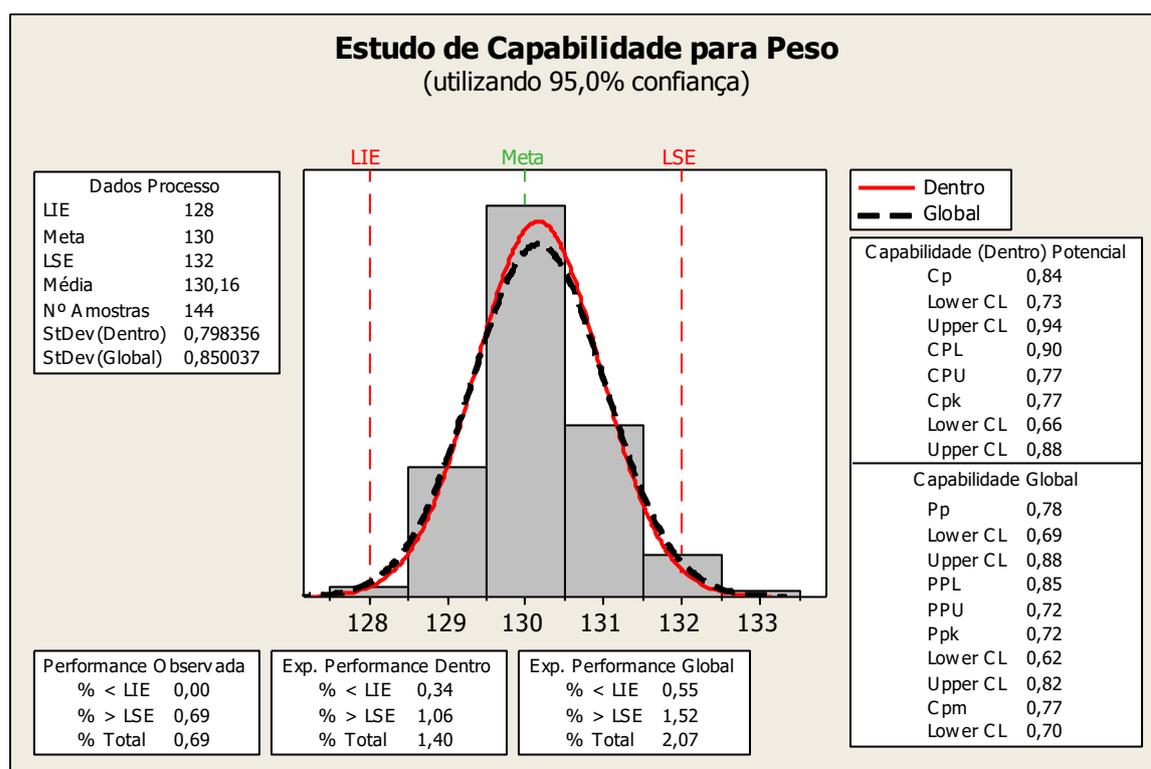
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Apesar de que o primeiro gráfico (média amostral) apresente três subgrupos de itens (17, 18 e 19) em vermelho - representando para os dois primeiros subgrupos que dois pontos sucessivos estão distribuídos na mesma faixa do gráfico e para o subgrupo 19 que quatro em cinco pontos estão localizados na mesma faixa do mesmo lado do gráfico, comprovado na seção 2.5.4.2, na Figura 21 (padrão 5 e 6, respectivamente) - eles se encontram dentro dos limites de controle e, portanto, estão normalizados para cálculo da capacidade do processo.

Em vista disso, agora com o segundo gráfico Amplitude com os itens dentro dos limites de controle, é possível calcular a capacidade de processo. De acordo com a empresa, os valores máximo e mínimo de especificação do produto são 132

gramas e 128 gramas, respectivamente. Desta forma, utilizando o software Minitab16, foram inseridos os dados no programa e analisados. A seguir segue Figura 43 com os dados:

Figura 43 – Gráfico de Capabilidade do Processo



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No gráfico acima é possível observar que o limite inferior e o limite superior de especificação (LIE e LSE) são representados pelos tracejados em vermelho na vertical, enquanto a meta está representada pelo tracejado na cor verde. As duas linhas que percorrem os dados do histograma são chamadas de normal, sendo a vermelha representando dentro do processo e a tracejada na cor preta a normal do processo global.

Também é possível observar na tabela no canto superior esquerdo dados como limite inferior de especificação (LIE), meta, limite superior de especificação (LSE), média amostral, número de amostras estudadas, desvio padrão dentro do processo e desvio padrão global do processo.

Abaixo do histograma, há três tabelas de performance, as quais representam as porcentagens de itens acima ou abaixo dos limites de especificação no geral e

em relação à performance dentro ou global do processo. Como é possível observar na primeira tabela – Performance Observada – há apenas 0,69% dos dados fora dos limites de especificação e todos eles acima dos limites de especificação superior.

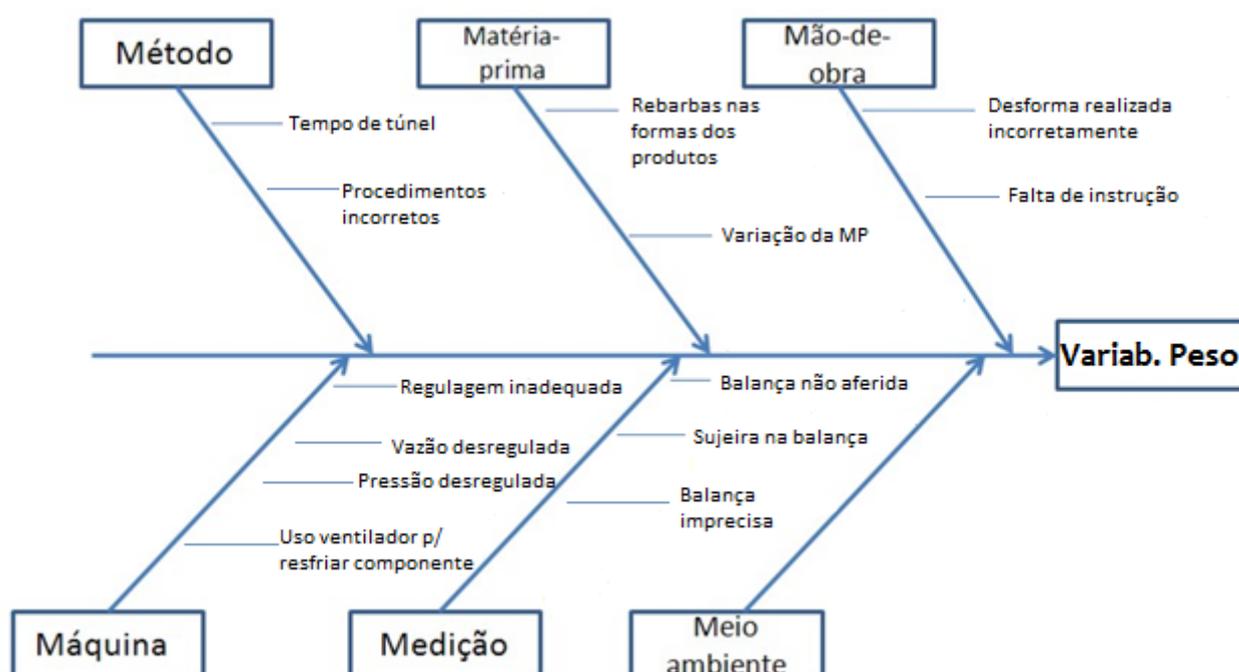
Conforme visto no referencial teórico, os itens Cp e Cpk são os cálculos que indicam se o processo está ou não sob controle. Ao lado direito do histograma, é possível observar as tabelas que indicam os valores destes itens que representam a capacidade do processo. Para Cp e Cpk foram encontrados os valores 0,84 e 0,77, respectivamente. Desta forma, é possível observar que o processo não é capaz de atender as especificações do produto, pois seus valores são inferiores a 1. Conforme Siqueira (1997) e Silva et al. (2016), este processo é também chamado de processo vermelho, ou seja, ele é incapaz de atender as especificações. Portanto, é necessário realizá-lo de outra forma, mudá-lo, ou até mesmo, se possível, alterar as especificações do produto.

Além disto, foi novamente elaborado pelo Minitab16 o Gráfico de Capabilidade, porém com dados Sigma do processo, os quais podem ser observados na Figura 44:

4.5.3 Etapa Analisar

O objetivo desta etapa do trabalho foi realizar um *brainstorming* com o gestor da qualidade da empresa e o operador da linha, para verificar o que está causando a alta variabilidade do peso, fazendo que os produtos processados tenham custo da não qualidade elevado. Após reunião, foram elencados os principais relatos e criado um Diagrama de Ishikawa para verificar tais anormalidades. Abaixo segue diagrama de Ishikawa com as principais causas da não-conformidade:

Figura 45 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Em relação ao Diagrama Espinha de Peixe, a empresa apresenta diversas causas que afetam a variabilidade peso do produto estudado. As principais causas são: tempo de túnel insuficiente; procedimentos incorretos no manuseio do chocolate; algumas rebarbas de chocolate ficam nas formas dos produtos; variação da matéria-prima, devido serem processados outros produtos da linha; desforma das barras realizada incorretamente, devido a falta de treinamento e instrução; vazão,

pressão mal dimensionadas; balança não aferida ou com sujeira; uso de ventilador externo para resolver problema de aquecimento de componente da máquina.

Para que seja possível realizar melhorias no diagrama apresentado e propor soluções, deve-se elaborar uma análise dos 5 Porquês para que seja capaz de indentificar as principais respostas para as causas dos problemas elencados no diagrama de Ishikawa e, a partir disso, criar uma matriz de priorização para elencar as principais necessidades e soluções que tragam benefícios para a empresa, as quais serão apresentadas na próxima fase, etapa Melhorar do ciclo DMAIC.

4.5.4 Etapa Melhorar

Conforme descrito anteriormente, para esta fase foi realizado uma análise dos 5 Porquês, que tem por finalidade apresentar a causa raiz do problema em questão. Para tal, foram priorizadas as causas principais do Diagrama de Ishikawa, sendo possível identificar a raiz do problema ou suas causas mais evidentes.

A partir disso, segue Tabela 18 com Análise dos 5 Porquês:

Tabela 18 – Análise da causa raiz (5 Porquês)

Definição do Problema: Grande Variabilidade do Peso do Produto Barra 130g					
Causas	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
Pressão e vazão desregulada.	O operador não sabia os valores precisos para a operação.	Não havia sido realizado um planejamento de experimentos.	Não havia conhecimento técnico para tal.	Não havia um engenheiro de produção na empresa.	Não sabiam da importância e que havia necessidade deste profissional na organização.
Balança não-aferida ou suja.	Não é aferida ou limpa com frequência.	Funcionários não foram instruídos para tal atribuição.	O gestor da qualidade não teve tempo hábil.	Pois está sobrecarregado de trabalho.	Só existe uma pessoa responsável para o controle da qualidade.
Desforma	Não foram	O gestor da	Pois está	Só existe uma	A empresa é

realizada incorretamente.	devidamente treinados.	qualidade não teve tempo hábil.	sobrecarregado de trabalho.	pessoa responsável para o controle da qualidade.	nova e ainda não apresenta cultura de melhorias em qualidade.
Rebarbas nas formas dos produtos.	Massa não estava bem temperada.	A matéria-prima sofreu variação.	Não foi realizada corretamente no processo de têmpera.	Não foi realizado check-list após esta etapa.	O funcionário acreditou que a massa estava homogênea; empirismo e falta de treinamento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

De acordo com a Tabela 18, é possível verificar que a pressão e vazão desregulada, a balança não aferida ou suja, a desforma realizada incorretamente e as rebarbas nas formas dos produtos são as principais causas para a grande variabilidade do peso no produto estudado.

Para estas causas, é possível concluir que a falta de um profissional de engenharia de produção para realização de planejamento de experimentos e controle de processo; ter apenas uma pessoa responsável para todo controle de qualidade da empresa; não ter conhecimento e cultura para melhorias em qualidade; e funcionários tomarem decisões por meio do empirismo e não terem treinamento adequado para a função são as raízes dos problemas discutidos e elencados pelo Diagrama Espinha de Peixe.

Após estas confirmações, foi elaborado uma matriz de priorização juntamente com o gestor da qualidade, ou seja, foram propostas melhorias para as causas raízes identificadas. Com a matriz, foi possível verificar as maiores necessidades e as soluções que podem trazer vantagens para a organização, as quais seguem na Tabela 19:

Tabela 19 – Matriz de Priorização

Pesos para Priorização						
Peso	Gravidade (G)	Urgência (U)			Tendência (T)	
5	Extremamente grave	Extremamente urgente			Se não for resolvido, piora imediatamente	
4	Muito grave	Muito urgente			Vai piorar em curto prazo	
3	Grave	Urgente			Vai piorar em médio prazo	
2	Gravidade moderada	Urgência moderada			Vai piorar em longo prazo	
1	Sem gravidade	Sem urgência			Não há perspectiva de piorar	
Problema		(G)	(U)	(T)	G+U+T= Grau Crítico	Sequência de prioridade
Não existe controle estatístico de processo para o produto estudado.		4	4	5	13	1º
Apenas uma pessoa responsável para controle da qualidade.		4	3	3	10	4º
Não existe cultura empresarial de melhorias em qualidade.		4	3	4	11	3º
Não existe treinamento específico.		4	3	5	12	2º

Fonte: Adaptado de Holanda et al. (2013).

De acordo com a Tabela 19, a priorização dos problemas necessita acontecer na devida sequência de prioridade: inexistência de controle estatístico de processo para o produto estudado, seguida pela falta de treinamento específico, seguida pela ausência de cultura empresarial de melhorias em qualidade e, por fim, pela presença de apenas uma pessoa responsável para controle da qualidade. A partir destes impasses, foram levantadas soluções, as quais estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Problema e solução proposta

Causa Raiz (Problema)	Solução Proposta
Não existe controle estatístico de processo para o produto estudado.	Criar procedimento para aplicação do controle estatístico de processo na linha estudada.
Não existe treinamento específico.	Treinamento para a correta realização das tarefas.
Não existe cultura empresarial de melhorias em qualidade.	Propor um programa de ciclo de melhoria contínua (PDCA).

Apenas uma pessoa responsável para controle da qualidade.	Alocar ou contratar outro profissional capacitado para auxiliar no controle da qualidade.
---	---

Fonte: Adaptado de Holanda et al. (2013).

Em relação as soluções apresentadas, foi elaborado na tabela 21 um plano de ação, ou seja, o planejamento das ações necessárias para que seja possível realizar tais melhorias. Assim, segue tabela:

Tabela 21 – Plano de Ação

Nº	O que (ação)	Por que (causa)	Como	Onde	Quem	Quando	Quanto custa
1	Criar procedimento para aplicação do controle estatístico de processo na linha estudada.	Não existe controle estatístico de processo para o produto estudado.	Criar planilha para registrar as variabilidades do processo e realizar treinamento dos funcionários.	Empres a Gama.	Gestor da Qualidade.	Jan/2018.	R\$ 0,00.
2	Treinamento para a correta realização das tarefas.	Não existe treinamento específico.	Reunião e treinamento para informar a correta realização e suas consequências.	Empres a Gama.	Líder da produção.	Fev/2018.	R\$ 0,00.
3	Propor um programa de ciclo de melhoria contínua (PDCA).	Não existe cultura empresarial de melhorias em qualidade.	Realizar um plano de melhorias contínuas para cada problema crítico da empresa.	Empres a Gama.	Gestor da Qualidade	Mar/2018.	R\$ 0,00.

4	Alocar ou contratar outro profissional capacitado para auxiliar no controle da qualidade.	Apenas uma pessoa responsável para controle da qualidade.	Alocando um funcionário ou contratando um engenheiro para auxiliar no controle da qualidade.	Empresa Gama.	Engenheiro de Produção, se possível.	Abr/2018.	R\$ 0,00 ou R\$ 3.500,00 (se contratar <i>trainee</i>).
---	---	---	--	---------------	--------------------------------------	-----------	--

Fonte: Adaptado de Holanda et al. (2013).

De acordo com as atribuições da Tabela 21, a solução que trará maiores impactos positivos para a organização é a criação de um procedimento para aplicação do controle estatístico de processo. Num primeiro momento, a organização irá gastar com treinamentos de funcionários e perda de tempo para a adaptação a nova realidade; porém, em médio prazo, será possível avaliar o andamento do processo e avaliar mudanças no seu curso em tempo acelerado, sem ser refém apenas da inspeção, fato o qual a organização trabalha atualmente.

Para a segunda ação, trata-se de treinamento para a correta realização das tarefas. Esta melhoria, como é simples, pode ser realizada por meio de reuniões informais, devendo abordar como deve ser realizada a função corretamente e as consequências da sua realização errônea.

A terceira ação possui um maior engajamento por parte do departamento de qualidade. Ele propõe a criação de um plano de melhorias contínuas, a fim de buscar a solução dos problemas críticos da empresa, desmembrando estas não-conformidades organizadamente.

Por fim, a última ação traz a alocação de um funcionário ou contratação de um profissional capacitado para auxiliar no controle da qualidade, visto que atualmente esta tarefa é apenas realizada por um profissional. É sugerido um profissional na área de engenharia de produção devido a seus conhecimentos na área, para que seja possível auxiliar nas tarefas com propriedade.

Assim, após o plano de ação proposto, a última e próxima etapa do DMAIC – Controlar - corresponde a elaboração de Cartas de Controle em excel para controlar o processo, bem como identificar sua variabilidade e capacidade. Também, para a

seguinta fase, são discutidas formas de como realizar tais tarefas e procedimentos que devem ser adotados antes de sua implementação.

4.5.5 Etapa Controlar

Conforme proposto anteriormente no framework teórico, a última etapa da metodologia DMAIC propõe ajustar os valores de vazão e pressão otimizados por meio do planejamento e padronizar o processo para que seja possível monitorá-lo ao longo do tempo, para que seja possível verificar falhas, bem como acompanhar sua variabilidade ao longo do processo. Como o foco do projeto foi o peso das barras 130 gramas com qualidade atendível e verificar a variabilidade do processo, com intuito de projetar a implementação do controle estatístico de processo, portanto, deve ser controlada tal variável.

Foi verificado que a variável resposta peso tem forte relação com os fatores de controle vazão e pressão, portanto optou-se utilizar cartas de controle para verificar o andamento do processo.

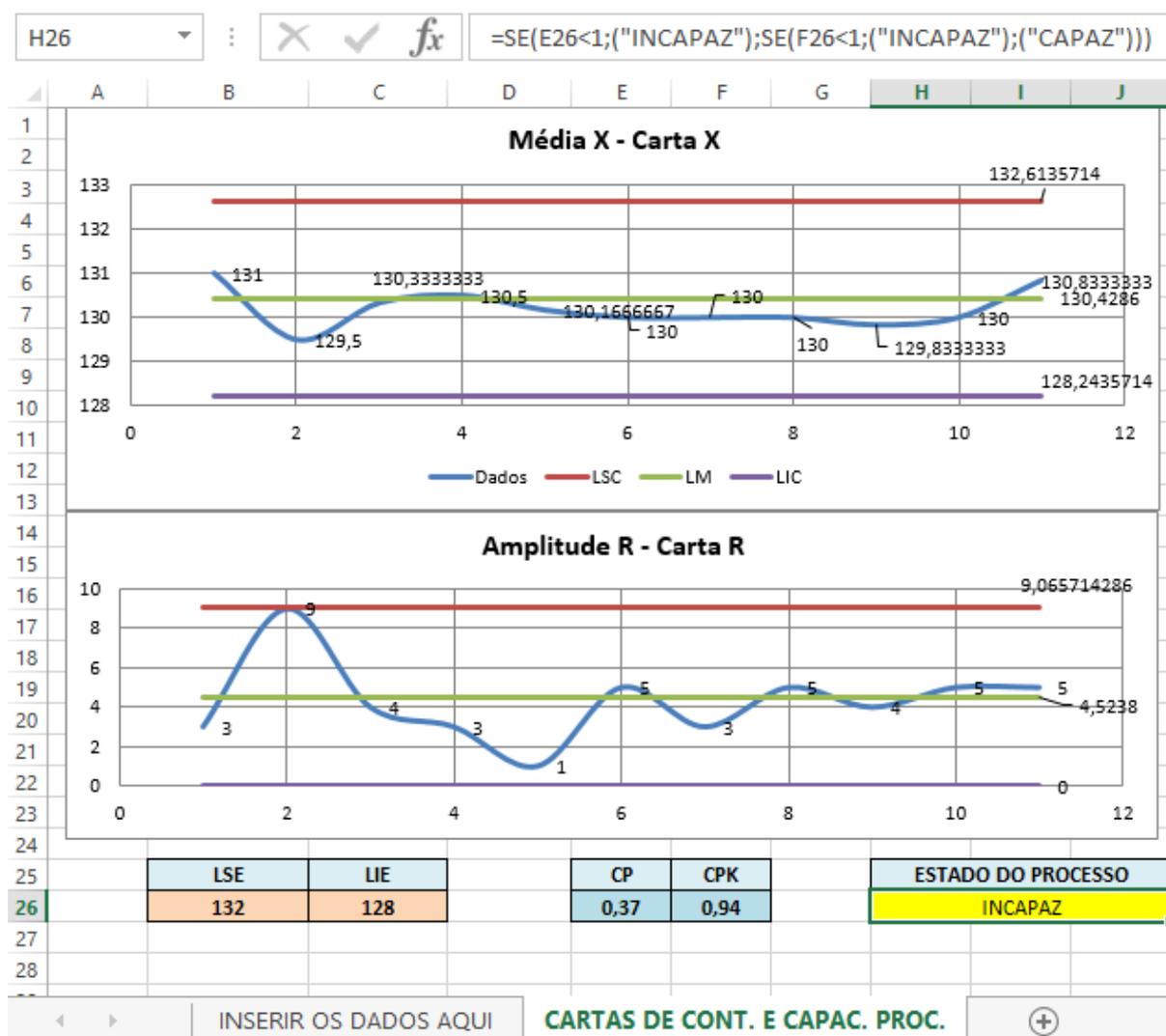
Na empresa estudada, até o término do trabalho, não havia nenhum tipo de método ou ferramenta de controle ao longo do processo. Para tal, foi criada uma planilha de controle do processo para que um funcionário responsável apenas anote os dados no programa, sendo criado automaticamente cartas de controle e calculado a capacidade do processo, com intuito de facilitar a análise do funcionário responsável e que ele possa realizar futuras melhorias com as informações. Esta planilha pode ser observada nas Figuras 46 e 47 que seguem:

Figura 46 – Planilha para controle Estatístico de Processo

U15											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Controle Estatístico de Processo											
Produto: Barra 130 gramas											
ALTERAR APENAS CÉLULAS NA COR SALMÃO!!!											
Amostras	Replicatas						Media X	Amplitude R		Máximo	Mínimo
1	132	131	132	132	130	129	131	3		132	129
2	132	130	123	131	130	131	129,5	9		132	123
3	128	130	129	132	132	131	130,33333	4		132	128
4	130	131	131	132	129	130	130,5	3		132	129
5	130	130	130	130	131	130	130,16667	1		131	130
6	131	131	132	127	129	130	130	5		132	127
7	131	130	131	131	129	128	130	3		131	128
8	131	128	131	133	128	129	130	5		133	128
9	130	128	129	132	129	131	129,83333	4		132	128
10	129	130	133	128	130	130	130	5		133	128
11	133	128	131	133	129	131	130,83333	5		133	128
12	128	129	130	131	128	133	129,83333	5		133	128
13	130	133	133	129	131	130	131	4		133	129
14	130	135	128	133	130	134	131,66667	7		135	128
15	130	133	129	130	132	129	130,5	4		133	129
16	131	130	131	133	129	129	130,5	4		133	129
17	133	130	134	132	131	132	132	4		134	130
18	126	130	133	130	132	132	130,5	7		133	126
19	128	127	131	132	129	130	129,5	5		132	127
20	133	131	130	130	131	129	130,66667	4		133	129
21	128	132	132	131	130	131	130,66667	4		132	128
							130,42857	4,523809524			
INSERIR OS DADOS AQUI											
CARTAS DE CONT. E CAPAC. PROC.											

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 47 – Cartas de Controle



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme é possível verificar, a planilha apresenta indicação de onde devem ser modificados os dados, auxiliando o funcionário inserir os dados nas lacunas dispostas para tal, para que ele não altere colunas ou linhas da planilha.

Ao inserir os dados, é possível verificar o andamento do processo nas cartas de controle. Também é possível verificar sua variabilidade e se o processo está ou não está sendo capaz de atender as especificações do produto.

Com estas informações, é importante que sejam realizados relatórios de anomalias semanalmente, para que estes dados não sejam perdidos e que possam servir de apoio para melhorias no processo. Também é importante que sejam realizadas reuniões mensalmente com toda a equipe de qualidade da empresa, com

intuito de apresentar as alterações do processo e estudar soluções em conjunto, na busca pela melhoria contínua na produção da empresa.

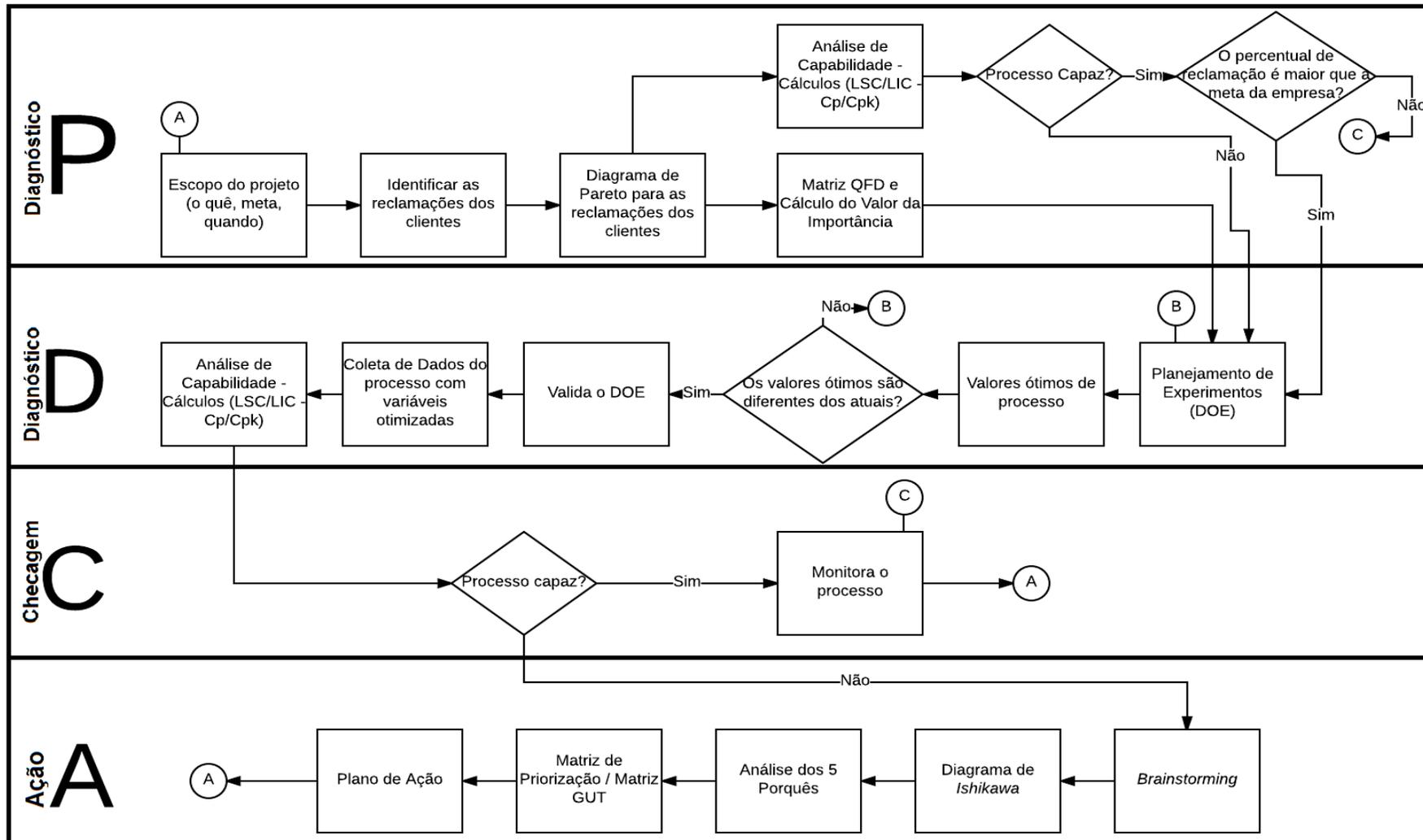
Por fim, é apresentado um fluxograma onde são apresentados os próximos passos do trabalho, ou seja, a implementação do controle de processo, que segue na Figura 48 (pág. 126).

Assim, encerra-se a primeira fase do CEP e a aplicação da segunda fase do CEP fica como trabalho futuro para o gestor da qualidade. Embora a implementação do CEP não tenha sido realizada até o término do trabalho, foi possível delinear valores específicos dos fatores controláveis para a produção dos itens de acordo com a meta da empresa, bem como permitir identificar problemas na sua produção antes que os mesmos cheguem ao final do processo, por meio de análise por cartas de controle, evitando perdas e reprocessos.

Durante a proposta de implementação foi possível verificar uma grande oportunidade de melhorias e características de qualidade que podem ser analisadas, possibilitando à companhia várias possibilidades de aplicação dos recursos apresentados no trabalho, além de outras que podem ser criadas.

Em condições gerenciais, a proposta foi absoluta, tratando de maior conhecimento do processo, maior compreensão das diretrizes da máquina estudada e maior confiabilidade da metodologia acessível na literatura. No fim do projeto, todo o trabalho e as informações foram repassadas para o gestor da qualidade e deixado como um trabalho que possa ser continuado e promovido por sua equipe, visto que o mesmo foi verificado e aprovado com acurácia no seu andamento.

Figura 48 – Fluxograma da proposta de método de Implementação do CEP



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões construídas ao longo da elaboração do trabalho de conclusão sobre um método de implementação do CEP em uma indústria de alimentos, sob a ótica da metodologia DMAIC e de outras ferramentas de qualidade.

5.1 Conclusão

O objetivo do trabalho foi atingido, visto que foi desenvolvido um método de implementação do CEP sob a ótica da metodologia DMAIC e outras ferramentas da qualidade em uma indústria de alimentos, com intuito de analisar a variabilidade do processo e recomendar a implementação desta ferramenta estatística. Para alcançar tal objetivo, foram utilizadas as 5 etapas do ciclo DMAIC como forma de organização e resolução do problema proposto, cuja metodologia é largamente utilizada no setor industrial. Portanto, para que esta metodologia funcionasse, foi definido o problema principal da empresa por meio da análise do QFD em relação as reclamações dos clientes e, a partir disso, foi realizado um diagrama de pareto com estas não-conformidades. Após elencadas às que mais afetam o processo, foi realizado um planejamento de experimentos com propósito de encontrar os valores ótimos de produção para tais variáveis. A partir disso, foi realizado coleta de dados para análise do CEP e cálculo de capacidade de processo. Por fim, foram propostas melhorias através de outras ferramentas de qualidade, para que os problemas fossem detectados e solucionados.

O referencial teórico do trabalho foi caracterizado pela descrição da origem da qualidade, dos principais conceitos da gestão da qualidade, bem como algumas das ferramentas de qualidade existentes que auxiliaram na resolução do trabalho proposto. Também teve um maior detalhamento de algumas ferramentas como QFD, DOE, CEP e DMAIC, as quais foram peças chave e foram fundamentais para descrever, analisar o problema e mensurar qualitativamente o processo.

O estudo de caso na indústria de alimentos iniciou com análise das reclamações dos clientes e, a partir disso, foi construído uma matriz QFD elencando estas não-conformidades em relação as características de qualidade que a empresa dispõe. A partir disso, foi realizado o cálculo de valor de importância, onde foi possível verificar quais características de qualidade que são mais significativas para as reclamações descritas. Através disso, foi realizado um diagrama de Pareto para estas características de qualidade e foi provado que pressão, vazão e análise sensorial representam entre 70% e 80% das reclamações dos clientes e, portanto, seriam objetos de estudo. Para o estudo, foi utilizada a linha de barras 130 gramas, por ela ser responsável por grande parte da produção da empresa e, portanto, melhorias neste processo trariam grande resultados para a organização.

Após isto, foi realizado análise de experimentos dos fatores de controle vazão e pressão, onde foi comprovado que ambos fatores tem grande interferência no peso dos produtos estudados. Depois, foi definido um modelo linear com os experimentos e propostos valores ótimos dos fatores de controle. Depois de realizado o projeto de experimentos, foi coletado dados do processo com intuito de analisar as variabilidades do processo através de cartas de controle, bem como analisar sua capacidade.

Por fim, foram realizadas propostas de melhorias no processo, por meio do diagrama de *Ishikawa*, análise dos 5 Porquês, matriz de priorização e plano de ação, terminando com um fluxograma com todas as etapas para a implementação do CEP descritas no decorrer do trabalho, sob a ótica do ciclo de melhoria contínua PDCA.

Vale ressaltar também a iniciativa e o interesse da empresa na busca por melhorias em seu processo, bem como sua forma colaborativa frente aos resultados em melhorias de qualidades almejados. Esse estudo foi de grande aplicabilidade para o conhecimento do desempenho do processo que a companhia deseja utilizá-lo em outros produtos e processos que dispõe.

Outro resultado importante deste trabalho foi a realização do fluxograma das etapas de implementação do CEP, mostrando todos os passos detalhadamente necessários para a implementação, bem como um exemplo prático realizado neste trabalho. Além disso, para a empresa, as aplicações realizadas no trabalho trazem vários benefícios, como: o conhecimento do comportamento da máquina estudada; a identificação dos fatores que influenciam diretamente nas reclamações dos clientes; maior envolvimento dos funcionários da empresa ao verem resultados positivos; ajuste da máquina com os valores ótimos de produção, diminuindo produtos defeituosos; redução de refugo e retrabalhos que é esperado nos próximos lotes do produto barra 130 gramas, devido ao ajustes da máquina e ao monitoramento do processo, visto que serão identificados os problemas ainda no processo e anteriormente ao produto final.

À cerca do que foi supra citado, o trabalho atingiu o objetivo geral e todos os objetivos específicos descritos na seção 1, provando que, realizando às atribuições apresentadas e comprovadas durante o decorrer da monografia, a empresa obterá melhorias com diminuição das variabilidades do processo, produzindo itens homogêneos e com maior confiabilidade no seu processo.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. S. **QFD – Desdobramento da Função Qualidade – Estruturando a satisfação do cliente.** SP, 1997.

AKAO, Y. ***Quality Function Deployment: integrating customers requirements into product desing.*** Trad. por Glenn H. Mazur. Cambridge, Massachustes: Productivity Press, 1990.

ANTONY, J. ***Some pros and cons of six sigma: an academic perspective.*** *The TQM Magazine*, v. 16, n. 4, 2004.

ARIOLI, E.E. **Análise e solução de problemas: o método da qualidade total com dinâmica de grupo.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5426: **Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos.** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5429: **Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por variáveis.** Rio de Janeiro, 1985.

BARBOSA, T. D.; TRIGO, A. C.; SANTANA, L. C. **Qualidade no atendimento como fator de crescimento empresarial.** Revista de Iniciação Científica – Fundação Visconde de Cairu - RIC. V. 02, nº 02, p. 112-133. Salvador, 2015.

BATISTA, D. S.; GOIS, J. V. **Busca da melhoria produtiva com auxílio de algumas das ferramentas da qualidade: Estudo de caso realizado em uma indústria de confecção.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013.

BERTOLINO, M. T. **Gerenciamento da qualidade na indústria alimentícia: ênfase na segurança dos alimentos.** Porto Alegre: Artmed, 2010.

BOX, G.E.P. and COX, D.R. **An Analysis of Transformations**. Journal of Royal Statistical Society. B, 39, 211-252, 1964.

BRASSARD, M. **Qualidade: ferramentas para uma melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1985.

BRESSAN, M. B.; VIEIRA, J. A. S.; DE OLIVEIRA, T. F. A.; PERALTE, R. M.; OLIVEIRA, W. S. **Aperfeiçoamento do processo produtivo de uma padaria no município de Marabá-PA: Lean Seis Sigma na Gestão da Qualidade**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

BRUSTOLIN, M. D.; PAGLIARI, S.; VIDOR, G.; DE MEDEIROS, J. F. **Avaliação de características em um processo de desenvolvimento de produto customizado de chicotes elétricos**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 3ª Ed. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1992.

CAMPOS, V. F. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 8. ed. Editora Falconi, Nova Lima – MG, 2004.

CAMPOS, L. M. S. **Uma proposta de integração entre os elementos do Lean Manufacturing, Seis Sigma e MEG**. Universidade Federal de Santa Catarina. SIMPOI. Florianópolis, 2011.

CARDOSO, K. G.; PONTES, H. L. J.; PAULINO, G. P.; RAMOS, M. M. R.; SALES, C. J. M. **Análise do processo de liberação de frota utilizando as ferramentas da qualidade numa empresa de bebidas**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade, Conceitos e Técnicas**. 1ª Ed. São Paulo: Atlas S.A., 2010.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 2ª Ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2012.

CEREZEL, M. F.; GEREZ, H. G. **Aplicação da metodologia Seis Sigma na redução de perdas de um processo produtivo**. Monografia de conclusão de Curso. Faculdade Cenecista de Capivari. Capivari – SP, 2008.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CHOW-CHUA, C.; GOH, M.; WAN, T. B. **Does ISO 9000 certification improve business performance?** *International Journal of Quality & Reability Management*. Vol. 20, n. 8, p. 936-953, Nov. 2003.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, C. R. **Controle Estatístico da Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. Traduzido por Áurea Weissenberg. 3ª ed. Rio de Janeiro: José Olímpio, 1988. Traduzido de: *Quality is free*.

CRUZ, T. **Sistemas, Organização & Métodos: Estudo integrado das novas tecnologias de informação**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

CRUZ, M. M.; BARROS, J. G. M. **Redução de custos logísticos e operacionais em uma indústria automotiva**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

CUPERTINO, L.V.B.; JUNIOR, S. M. B.; PAZ, T. S. R.; BERGIANTE, N. C. R. **Melhoria de processo com aplicação do MASP: Um estudo de caso em uma cooperativa de materiais recicláveis**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

CURY, P. H. A.; ANDION, J. A. **Aplicação da MASP para redução de defeitos e melhora no rendimento de um processo de fabricação de lentes orgânicas**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

DA SILVA, A. R. M.; BARBOSA, A. S.; DA SILVA, L. C.; SANTOS, D. K. A.; GENTIL, R. F. C. **Mapeamento de processos e benchmarking para o aprimoramento dos resultados de uma indústria cerâmica**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

DANTAS, L. F.; SAKURABA, C. S.; ALVES, U. B.; MOURA, E. M. R.; FIGUEIREDO, L. E. N. **As ferramentas da qualidade integradas ao método de solução de problemas para a melhoria dos processos de uma linha de produção de uma fábrica de produtos elétricos**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba – PR, 2014.

DAYCHOUM, M. **40 + 4 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. 3ª Ed., Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

DE HOLANDA, R. V. **Programa de melhoria do sistema de qualidade: uma proposta de metodologia para empresas construtoras de edifícios com certificação ISO 9000**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Tradução de Clave Comunicação e Recursos Humanos. Rio de Janeiro: Marques – Saraiva, 1990. Tradução de: *Out of crisis*.

DONADEL, D. R. **Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens**. São Paulo, 2008.

DOS SANTOS, D. A.; DO CARMO, E. P.; PINHO, A. P. S.; RIBEIRO, M. Y. D. **Análise de causas de não conformidades no processo de produção de cabos isolados**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville – SC, 2017.

DUARTE, D. R. **Aplicação da metodologia seis sigma – Modelo DMAIC – Na operação de uma empresa do setor ferroviário**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Trabalho de Conclusão de Curso. Juiz de Fora - MG, 2011.

DUARTE, I. A. M.; QUEIROZ, R. W. B.; DE MELO, G. A. P.; JUNIOR, J. J. D. A. **Controle Estatístico de Qualidade: Um estudo de caso em uma empresa do setor alimentício na cidade de Campina Grande – PB**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

FAGUNDES, L.D.; GUIDORIZZI, M. C. **Aplicação do 8D em uma empresa de autopeças**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

FERNANDES, P; RAMOS, A. **Considerações sobre a Integração do Lean Thinking com o Seis Sigma**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza - CE, 2006.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G. **Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA**. Gestão e Produção. Curitiba, PR, 2006.

FIGUEIREDO, A. M.; SOUZA, S. R. G. **Como elaborar projetos, monografias, dissertações e teses: da redação científica à apresentação do texto final**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2011.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Aplicação da ferramenta da qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de pesquisa para a reutilização dos resíduos sólidos de coco verde**. INGEPRO - Inovação, Gestão e Produção, v.2, n.9, 2010.

- GALUCH, L. **Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 2002.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GODOY, C. **Uma aplicação do Planejamento de Experimentos e Carta de Controle em uma indústria de cosméticos: Ciclo DMAIC.** Dissertação de Mestrado. UNESP. Bauru - SP, 2014.
- HANACLETO, N.; BENELLI, N. Q. S.; DE CARVALHO, G. A. **Análise do sistema de marketing de uma marcenaria por meio do ciclo PDCA.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.
- HARRY, M. J. **Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability.** Quality Progress, Vol. 31, Nº 5, 1998.
- HOLANDA, L. M. C.; SOUZA, I. D.; FRANCISCO, A. C. **Proposta de aplicação do método DMAIC para melhoria da qualidade dos produtos numa indústria de calçados em Alagoa Nova-PB.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 8, nº 4, 2013.
- HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade: guia prático para a implementação do Controle Estatístico de Processo – CEP.** São Paulo, 1989.
- ISHIKAWA, K. **TQC, Total Quality Control: estratégia e administração da qualidade.** Traduzido por Mário Nishimura. São Paulo: IMC, 1986.
- JORDAN, J. R. **Modelagem estatística para ensaios de resistência na indústria de celulose e papel.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador – BA, 2009.
- JURAN, J. M. ed. Chefe; GRZYNA, Frank M. ed. Ass. **Juran's Quality Control Handbook.** 4ª ed. - [New York]: McGraw-Hill, 1988.
- JURAN, J.M. **Juran Planejando para a Qualidade.** São Paulo: Pioneira, 1990.
- JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. **Juran's Quality Handbook.** 5ª ed. - [New York]: McGraw Hill, 1998.

KUROKAWA, E. **Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia.** XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancun [México], 2002.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEITE, D. G.; MONTESCO, R. A. E. **Aplicação do Lean Seis Sigma na melhoria de processo de uma distribuidora de GLP em Aracaju/SE.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

LEIVA, V.; MARCHANT, C.; SAULO, H.; ASLAM, M.; ROJAS, F. **Capabilities indices for Birnbaum Saunders processes applied to electronic and food industries.** *Journal of Applied Statistics*, v.41, n.9, p. 1881- 1902, 2014.

LIN, C.; FRANK CHEN, F.; WAN, H.; MIN CHEN, Y.; KURIGER, G. **Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology.** *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. V. 29, n. 3, p. 95-103, 2013.

LINS, B. F. E. **Ferramentas básicas da qualidade.** *Ciência da Informação*, v. 22, n. 2, p. 153-161. Brasília, 1993.

LOOS, M. J.; MIGUEL, P. A. C. **Utilização do QFD no desenvolvimento de novos produtos: uma análise das publicações em periódicos nacionais.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis: *Produto & Produção*, v.15, n.3, p. 17- 31, 2014.

LOPES, P. A. **Probabilidades & Estatística.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: R&A, 1999.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração e interpretação de dados.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1996.

MARIANI, C. A. **Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso.** *RAI - Revista de Administração e Inovação*, v.2, n. 2, 2005.

MARQUÊS FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção.** 2ª Ed. São Paulo: Saraiva. 2005.

MATA-LIMA, H. **Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas.** Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactos Ambientais. Universidade da Madeira (Portugal), 2007.

MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria geral da administração: da revolução urbana a revolução digital**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MEGNA, D. S. L.; DE BRITTO, G. L.; DOS SANTOS, R. D. L. **Aplicação das ferramentas da qualidade em processo logístico de uma empresa do ramo petrolífero**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. V. 2. São Paulo: Arte e ciência, 2001.

MELLO, C. H. P.; DA SILVA, C. E. S.; TURRIONI, J. B.; DE SOUZA, L. G. M. **ISO 9001:2000: Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

MENEZES, M. K. F.; OLIVEIRA, C. M. G.; NUNES, D. E. S.; MACEDO, P. A. C.; FERREIRA, J. O. **Aplicação das ferramentas da qualidade em uma empresa prestadora de serviço de fotocópias: um estudo de caso**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

MONTEIRO, N. J.; SIMOES, V. H. F.; RAMIRES, V. R. M. **Utilização da etapa de planejamento do ciclo PDCA para análise e proposição de solução de um problema de um centro técnico automotivo de Belém do Pará**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2013.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro – RJ, 4ª ed. Brasil: LTC - Livros Técnicos e Científicos. Editora S. A. 2004.

MONTGOMERY, D. C. ***Design and analysis of experiments***. 6ª ed. Arizona: *John Wiley & Sons, Inc.*, 2005.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MONTGOMERY, D. C. ***Introduction to Statistical Quality Control***. 7ª ed. Arizona: Wiley, 2012.

MOORE, D. S. **A Estatística Básica e a Sua Prática**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MORAES, C. F.; FERREIRA, J.R.; BALESTRASSI, P. P. **Análise crítica da aplicação de métodos estatísticos em processos definidos por dados que não apresentam distribuição normal**. Universidade Federal de Itajubá – MG, 2006.

MOREIRA, J. P. S.; SILVA, I. C.; PEREIRA, J. A. **Implantação do método QFD para análise de satisfação percebida pelo cliente: um estudo de caso e uma indústria do setor metalomecânico.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

NOGUEIRA, L. J. M. **Melhoria da Qualidade através de Sistemas Poka-Yoke.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Tese de Mestrado. Porto, 2010.

OLIVEIRA, M. B. **Histórico da Qualidade: Curso de Planejamento e Administração de Recursos Humanos.** Brasília: ICAT/UDF (mimeo), 1993.

OPPENHEIM, A. N. **Questionnaire design, interviewing and attitude measurement.** Londres: Pinter, 1993.

PACHECO, R. F.; CÂNDIDO, M. A. B. **Metodologia de avaliação da viabilidade de mudança de estratégia de gestão da demanda de *make-to-order* para *assembly-to-order*.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador – BA, 2001.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática.** 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2012.

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

PESTANA, M. D.; VERAS, G. P.; FERREIRA, M. T. M.; DA SILVA, A. R. **Aplicação integrada da matriz GUT e da matriz da qualidade em uma empresa de consultoria ambiental: um estudo de caso para elaboração de propostas de melhorias.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M.; HO, L. L.; FLORES, S. R. **Programas de melhoria da qualidade: um estudo em construtoras de grande porte.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu – PR, 2007.

PINTO, R. S.; FONTENELLE, M. A. M. **Desdobramento da Função Qualidade – QFD no processo de desenvolvimento de produtos: uma aplicação prática.** XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2013.

POLITZER, G. **Princípios elementares de filosofia.** 9. ed. Lisboa: Prelo, 1979.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2ª ed. Universidade Feevale. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAJAN, M.; TAMIMI, N. **Payoff to ISO 9000 registration. Journal of Investing.** p. 71-78, Spring, 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.** XIII SIMPEP, Bauru, SP, 2006.

ROCHA, A. A.; FONTES, C. H. O.; BANDEIRA, A. A. **Aplicação da MASP para melhoria dos índices de produtividade e eficiência em linhas de produção: um estudo de caso em uma indústria de bebidas.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte – MG, 2011.

RODRIGUES, A.L.D.M.; OLIVEIRA, G. T.; GARCIA, L. R.; DE MELO, T. C. S.; MARTINS, V. W. B. **Aplicação das ferramentas da qualidade para diagnóstico de melhorias no estoque de uma loja de bicicletas localizada no município de redenção suldeste paraense.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.
SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, J. K. C.; BATISTA, N. S. **Controle estatístico de processo: uma ferramenta para validação do processo de envase.** [Trabalho de Conclusão de Curso]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. LAFEPE - Laboratório Farmacêutico do Estado de Pernambuco; 2005.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações.** Gestão & Produção. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), v. 15, n. 1, 2008.

SANTOS, I. B.; MAURICIO, T. B. **Aplicação de ferramentas da qualidade para análise e solução de rupturas em um processo de admissão de estagiários.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

SHINGO, Shingeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHIMBUN, N. K. **Poka-yoke: improving product quality by preventing defects.** Nova Iorque, EUA: Productivity Press, 2008.

SILVA, D. C. **Metodologia de análise e solução de problemas: curso de especialização em qualidade total e marketing.** Florianópolis: Fundação CERTI, 1995.

SILVA, H. A.; SILVA, M. B. **Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4.** Revista Eletrônica Produção & Engenharia. V.1, n. 1, p. 41-52: São Paulo, 2008.

SILVA, J. P. S.; SOUSA, A. A. S.; CAMPOS, B. N. S. **Análise da aplicação de ferramentas básicas da qualidade para o monitoramento do processo em uma indústria do setor cerâmico.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

SIQUEIRA, Luiz Gustavo Primo. **Controle Estatístico do processo.** Equipe Grifo. Biblioteca Pioneira: São Paulo, 1997.

SISSONEN, J.P. ***Poka-Yoke for mass customization.*** Tese de Mestrado em Ciências. Faculdade de Gestão Tecnológica (*Faculty of Technology Management*). Helsinki, 2008.

SODHI, M. S.; SODHI, N.S. ***Six Sigma Pricing.*** *Harvard Business Review* 83. Cambridge, EUA, 2005.

TOLEDO, J. C.; BORRÁS, M. A. A.; MERGULHÃO, R. C.; MENDES, G. H. S. **Qualidade: gestão e métodos.** 1 Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TURBANO, V. S.; DE ANDRADE, C. T. A.; DA COSTA, A. G.; BEZERRA, F. M.; DE SALES, J. P. **Aplicação do programa 5S em uma empresa de artefatos de couro na região metropolitana do Cariri.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – PB, 2016.

UJIHARA, H. M.; CARDOSO, A. A.; CHAVES, C. A. ***Quality Function Deployment: um método para desenvolvimento e melhoria de produtos, serviços e processos.*** XIII SIMPEP – Bauru, SP, 2006.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

VERGUEIRO, W. **Qualidade em serviços de informação.** São Paulo: Arte e ciência, 2002.

VIEIRA, Sônia. **Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

VILELA, N. L. R.; CHIROLI, D. M. G. **Relação entre acreditação hospitalar e *lean healthcare*: estudo de caso em hospitais de Curitiba-PR.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville – SC, 2017.

WERKEMA, M. C. C. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar, avaliar as principais variáveis influentes em um processo.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, E.E.UFMG, 1996.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas.** Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2012.

WILD, C. J.; SEBER, G. A. F. **Encontros com o acaso: Um primeiro curso de análise de dados e Inferência.** Rio de Janeiro: LTC, 2005.

WILSON, P. J.; WALSH, M. A. T.; MEEDY, K. S. ***An examination of the economic benefits of ISO 9000 and the Baldrige award to manufacturing firms.*** Engineering Management Journal, p.03-11, Dec. 2003.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZORNIG, F. **Acerte o preço e aumente seus lucros.** São Paulo: Nobel, 2007.

ANEXOS

Anexo A – Fatores para Cartas de Controle por variáveis

TABELA D - FATORES PARA CARTAS DE CONTROLE POR VARIÁVEIS														
Tamanho da Amostra	Cartas para Médias			Cartas para Desvio Padrão				Cartas para Range						
n	Fatores para Limites de controle			Fator p/ V. Central	Fatores para Limites de controle				Fatores para Valor Central		Fatores para Limites de controle			
	A	A ₂	A ₃	C ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2.121	1.881	2.659	0.7979	0	3.266	0	2.606	1.128	0.853	0	3.687	0	3.269
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0	2.568	0	2.276	1.693	0.888	0	4.357	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0	2.266	0	2.088	2.059	0.880	0	4.699	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0	2.089	0	1.964	2.326	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.178	1.752	2.847	0.820	0.387	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.546	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.277	1.669	3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.322	1.678	0.314	1.637	3.173	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.609	3.258	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.381	1.619	0.374	1.585	3.336	0.770	1.026	5.646	0.308	1.692
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.407	1.593	0.399	1.563	3.407	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.420	1.544	3.472	0.756	1.204	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.441	1.526	3.532	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.747	0.9745	0.309	1.691	0.301	1.648	3.588	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	1.423	5.857	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.496	1.504	0.490	1.483	3.689	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.503	1.471	3.735	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	0.523	1.477	0.517	1.459	3.778	0.724	1.606	5.950	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	0.535	1.465	0.529	1.448	3.819	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	0.564	1.436	0.558	1.421	3.931	0.708	1.807	6.055	0.460	1.540

Fonte: SIQUEIRA, 1997, p. 128.