

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS PATOS DE MINAS

LARA MICHELLI GOMES TEIXEIRA

USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP) EM INDÚSTRIAS DE
ALIMENTOS: REVISÃO

PATOS DE MINAS

2018

LARA MICHELLI GOMES TEIXEIRA

USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP) EM INDÚSTRIAS DE
ALIMENTOS – REVISÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus Patos de Minas* como requisito de avaliação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Marta Fernanda Zotarelli

PATOS DE MINAS

2018

USO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP) EM INDÚSTRIAS DE
ALIMENTOS – REVISÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao departamento de Engenharia de Alimentos
da Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Alimentos, pela banca
examinadora formada por:

Patos de Minas, 20 de dezembro de 2018.

Fabírcia de Matos Oliveira

Prof.ª Dr.ª Fabírcia de Matos Oliveira

Marieli de Lima

Prof.ª Dr.ª Marieli de Lima

Marta Fernanda Zotarelli

Prof.ª Dr.ª Marta Fernanda Zotarelli

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um gesto humano, contudo, dizer muito obrigado é algo muito especial para as pessoas que acompanharam o meu trabalho durante o período de sua realização.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Aos meus pais, Edelcio Bernardo Teixeira e Juliane Aparecida da Cruz Gomes Teixeira, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.

A minha irmã Nagila Cristina Gomes Teixeria, pessoa com que amo partilhar a vida.

Aos colegas e amigos de caminhada que sempre estiveram presentes nos momentos mais importantes.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Marta Fernanda Zotarelli pelos ensinamentos, paciência e carinho, ajudando-me da melhor maneira possível na conclusão desse trabalho.

Agradeço às professoras Prof.^a Dr.^a Fabrícia de Matos Oliveira e Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima com as quais compartilhei o que era broto daquilo que veio a ser esse projeto final. É um prazer ter a participação de vocês na banca examinadora deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, estiveram e estão próximos a mim, fazendo essa vida valer cada vez mais a pena.

RESUMO

Os sistemas de gestão da qualidade são procurados pelas empresas e seus gestores com a intenção de reduzir desperdícios e retrabalhos, para assim atender às demandas e exigências do mercado, tornando-as mais competitivas. Dentre outros aspectos, a gestão da qualidade nas organizações conta com uma série de ferramentas para padronização e organização dos processos, sempre com o objetivo de melhorá-los, atender exigências do mercado em relação à legislação, exigência dos clientes, etc., ganhando competitividade. Uma das ferramentas da qualidade é o Controle Estatístico de Processos (CEP). Conforme a própria denominação, esta ferramenta utiliza os métodos estatísticos para controlar os processos, reduzindo sua variabilidade. Esta ferramenta foi criada na década de 20 por Walter A. Shewart, e apesar desta ferramenta não ser nova, mostrar-se eficiente, mas o seu uso ainda é restrito em muitas organizações, especialmente na indústria de alimentos. O presente trabalho tem como objetivo revisar por meio de trabalhos da literatura o uso do CEP nas indústrias de alimentos, buscando pontuar os problemas que as empresas desse setor tinham antes da implantação e quais os benefícios destacados nos trabalhos acadêmicos. As informações foram obtidas através da revisão da literatura. Espera-se com essa revisão demonstrar para pesquisadores e colaboradores de empresas as vantagens do uso do CEP nas suas organizações.

Palavras-chave: Gestão de qualidade total. CEP. Revisão de literatura. Indústrias de alimentos.

ABSTRACT

The quality management systems are sought by companies and their managers with the intention of reducing waste and rework, to meet the demands and requirement of the market, making them more competitive. Among other aspects, the management of quality in organizations has a series of tools for standardization and organization of processes, always with the aim of improving them, meet the requirements of the market in relation to the legislation, requirement of customers, etc., gaining competitiveness. One of the tools of quality is the statistical process Control (CEP). According to the denomination itself, this tool uses the statistical methods to control the processes, reducing its variability. This tool was created in the 20s by Walter A. Shewart, and although this tool is not new, show itself efficient, but its use is still restricted in many organizations, especially in the food industry. The present work aims to review through the literature the use of CEP in the food industries, seeking to score the problems that companies in this sector had before the implantation and what benefits were featured in the academic works. The information was obtained by reviewing the literature. This review is expected to demonstrate to researchers and employees of companies regarding the advantages of using the CEP in their organizations.

Keywords: Total quality management. SPC. Literature review. Food industries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de <i>Ishikawa</i> de uma indústria de produção de bandeja de ovos.....	13
Figura 2 – Diagrama de Pareto para Custo do Kg dos graneis de refresco em pó.....	14
Figura 3 - Fluxograma do processo de massa para pastel.....	15
Figura 4 - Diagrama de Dispersão com correlações negativas.....	16
Figura 5 - Diagrama de Dispersão com correlações positivas.....	16
Figura 6 – Histograma representativo das variações de temperatura do fumeiro no processo de defumação de salame.....	17
Figura 7 - Folha de Verificação para a Classificação de Produtos Defeituosos.....	18
Figura 8 – Esquema do ciclo PDCA e SDCA.....	20
Figura 9 - Representação do gráfico da curva da distribuição normal.....	21
Figura 10 – Gráfico genérico do CEP para um processo industrial.....	23
Figura 11 : Gráfico da média no monitoramento de peso de polpas de fruta.....	26
Figura 12 –Gráfico da amplitude do monitoramento de peso de polpas de fruta.....	27
Figura 13 - Gráfico da média do peso de biscoito.....	28
Figura 14 - Gráfico do desvio padrão do peso de biscoito.....	29
Figura 15 - Gráficos de controle para atributos.....	31
Figura 16 -Gráfico genérico da distribuição normal de um processo centrado com C_p igual a 1.....	38
Figura 17 - Gráfico da média e desvio padrão para espessura em embalagens de ovos.....	48
Figura 18 - Gráfico da média e desvio padrão para peso em embalagens de ovos.....	48
Figura 19 - Gráfico de np para número de não conformes em bandejas de ovos.....	49
Figura 20 - Folha de verificação da coleta de peso das marmitas de tamanho médio.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1. Ferramentas da qualidade	12
2.1.1 Diagrama de Ishikawa	12
2.1.2 Diagrama de Pareto	13
2.1.3 Fluxograma.....	14
2.1.4 Diagrama de dispersão.....	15
2.1.5 Histograma	16
2.1.6 Folhas de verificação	17
2.1.7 Ciclo <i>Plan, Do, Check e Act</i> (PDCA).....	19
2.1.8 Controle estatístico da qualidade (CEP).....	20
2.2 Distribuição normal e fundamento do CEP.....	21
2.3 Estatística básica.....	23
2.3 Gráficos de controle para variáveis	24
2.3.1 Gráfico da média e amplitude (\bar{x} e R)	25
2.3.2 Gráfico da média e desvio padrão amostral (\bar{x} e s)	27
2.4 Gráficos para atributos.....	30
2.4.1 Gráfico de controle da fração defeituosa (p)	33
2.4.2 Gráfico de controle do número de defeituosos (np)	34
2.4.3 Gráfico de controle do número de não conformidades na amostra (C).....	34
2.4.4 Gráfico de controle do número médio de não conformidades na amostra (u)	35
2.5 Índice de capacidade.....	36
3 METODOLOGIA.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Contexto de aplicação do CEP nas indústrias de alimentos	41
4.2 Estudos de caso na indústria de alimentos.....	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERENCIAS	59
ANEXO	65

1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento da gestão de qualidade total (GQT), a ampla concorrência entre as organizações e a maior exigência dos consumidores por produtos, processos e serviços de qualidade, muitas empresas viram a necessidade de investir e melhorar seus processos atuais para atender às exigências do mercado (TRIVELLATO, 2010).

Para que haja resultados positivos, o produto deve corresponder às exigências e expectativas dos clientes, sendo produzido por um processo que seja estável ou replicável. Para isso, as organizações contam com uma série de ferramentas para padronização e organização de processos, de modo a aumentar a produtividade e melhorar a qualidade (SILVA; BÁGGIO & MAÓSKI, 2005).

Algumas ferramentas que merecem destaque são: Ciclo *Plan, Do, Check e Act* (PDCA), 5s, Fluxograma, Diagrama de Dispersão, Diagrama de Pareto, Folhas de Verificação, Histograma, Diagrama de *Ishikawa* (ou Espinha de Peixe), Controle Estatístico de Processo (CEP), dentre outras mais recentes, como o 6 sigma. De modo geral, essas ferramentas auxiliam na identificação e na gestão dos problemas rotineiros das empresas (RIBEIRO & CATEN, 2012).

A indústria alimentícia é conhecida por seus produtos altamente perecíveis, variabilidade na qualidade da matéria-prima, diversidade de receitas e diferentes técnicas de processamento. Nos últimos anos cresceu o número de consumidores que demandam a importância da qualidade das mercadorias que consomem. Devido às rigorosas expectativas do consumidor, e concorrência acirrada do mercado, as indústrias começaram a buscar soluções por meio das ferramentas da qualidade e as tecnologias de melhoria (DORA, KUMAR, VAN GOUBERGEN, MOLNAR, & GELLYNCK, 2012; LUNING E MARCELIS, 2006; EDITH & OCHUBIOJO, 2012).

As ferramentas são, em sua grande maioria, de simples recursos, de sequência lógica para se identificar e atingir a meta desejada, além de poder ser utilizadas em organizações de pequeno a grande porte e não somente para empresas de produtos, mas também para aquelas de serviços. Apesar das evidentes vantagens, ainda existem muitas organizações que não fazem uso delas (BONILLA, 1995). Segundo Lim (2014) a implementação do CEP na indústria alimentícia é inspirada por dois fatores motivacionais importantes, o primeiro é o desejo dos produtores em monitorar e padronizar o processo, o segundo é a necessidade do cumprimento da legislação. Existe um número considerável de parâmetros críticos na indústria de alimentos,

que são classificados por atributos sensoriais como, tamanho, peso, textura, cor, altura entre outros, e atributos de segurança, que visam manter a integridade e qualidade do produto, como alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos que precisam ser respeitados. Os principais fatores que motivam a aplicação do CEP estão relacionados com a segurança de alimentos, as características sensoriais e a redução de custos. Por outro lado, nem sempre é evidente para empresários e colaboradores a associação do controle estatístico de processos com estes aspectos.

Em qualquer processo de produção, independente de quão bem planejado ou cuidadosamente mantido seja, o mesmo apresenta uma variabilidade natural, proveniente do efeito cumulativo de muitas causas pequenas, essencialmente inevitáveis e definidas como causas aleatórias da variação. Todo processo possui em sua variabilidade um componente impossível de ser eliminado, a variabilidade natural do processo que é fruto de pequenas perturbações, ou causas aleatórias, como exemplo, pequenas flutuações de temperatura ou volume de um produto embalado (NETO, 2004).

Por outro lado, o processo também pode estar sujeito a causas especiais, ou seja, aquelas que resultarão em uma variabilidade devido às causas atribuíveis, provenientes de uma situação particular, conhecidas como falhas que ocorrem durante a operação que podem ser corrigidas ou eliminadas, como exemplo, o ajuste incorreto de equipamentos. Essas motivações especiais fazem com que o processo se comporte de um modo completamente diferente do usual (PIRES, 2000).

É importante a identificação das causas especiais para que as mesmas sejam solucionadas e o processo possa voltar para a normalidade com somente causas aleatórias presentes. Esses conceitos formam a base do controle estatístico de processo (CEP), que é uma ferramenta desenvolvida por *Shewhart* em 1924, durante a 2ª Era da Qualidade. O CEP é composto por uma base estatística que auxilia na obtenção da estabilidade do processo com objetivo de detectar rapidamente, por meio das cartas de controle, a ocorrência de causas especiais no processo. O intuito é diminuir a variabilidade e, com isso, produzir produtos com maior garantia de qualidade e menor custo (KUME, 1993).

Neste contexto, o CEP vem sendo adotado em diversas indústrias, embora o setor de alimentos ainda se encontre com uma participação pouco expressiva na utilização desse sistema da qualidade. Esta ferramenta pode auxiliar as empresas no fornecimento de um produto em conformidade com os padrões exigidos por lei ou desenvolvidos para o consumidor, bem como na redução de custos associados às falhas ocorridas durante o processo produtivo. A aplicação das ferramentas estatísticas não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém

é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo tempo. Para empresas com pouco ou nenhum controle de processo, o CEP pode ser um primeiro passo para a implantação de outras ferramentas e sistemas mais precisos, como o 6-sigma, pois essa ferramenta abrange a coleta, a análise e a interpretação de dados com a finalidade de resolver um problema particular (ROLIM NETO, 2009).

Desta forma, tendo em vista o exposto e a relevância do tema, o objetivo do presente estudo é revisar, por meio de trabalhos da literatura que utilizaram os conceitos do CEP, o uso desta ferramenta nas indústrias de alimentos, levantando informações a respeito do segmento da indústria aplicada, das melhorias observadas após a implantação e das dificuldades relatadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ferramentas da qualidade

2.1.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido por Diagrama Espinha de Peixe, Diagrama de Causa e Efeito ou ainda por Diagrama 6M ou 8M pode ser definido como uma ferramenta visual utilizada demonstrar a relação existente entre o resultado de um processo, que seria o efeito ao qual deseja-se elucidar, e os fatores, que seriam as causas do processo para esse efeito (WERKEMA, 2006; MAGALHÃES, 2014).

De acordo com Magalhães (2014) o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta de qualidade utilizada quando necessita identificar todas as causas possíveis de um problema, buscando obter uma melhor visualização da relação entre as causas e os efeitos decorrentes. Essa ferramenta ajuda classificar as causas dividindo-as em sub causas, auxiliando na descoberta de quais as causas que estão provocando este problema, identificando com clareza a relação entre os efeitos, e suas prioridades de ações corretivas para solucionar o efeito. Assim, essa ferramenta pode ser utilizada para solucionar diversos efeitos indesejados, como: excesso de perdas, falhas, muitos desajustes do produto, entre outros.

Para a construção desse diagrama algumas etapas são levadas em consideração. Primeiramente é realizada a definição do problema a ser analisado pela equipe, ilustrada por uma seta horizontal que apontada para a direita com um quadrado/retângulo na ponta; em seguida é escrito o problema central dentro desse quadrado e logo após são feitos alguns traços diagonais no corpo da seta, que serão as categorias das suas causas encontradas. Posteriormente, pode ser realizado um *brainstorming*, que consiste em propiciar um ambiente de discussão com a equipe envolvida na solução do problema. O *brainstorming* pode ser dividido em dois momentos, sendo o primeiro a geração de ideias por todos sem interrupções, análises, etc., por um período de tempo determinado, e no segundo momento é realizada a análise das ideias geradas selecionando as relevantes ao problema a ser solucionado. As causas selecionadas pela equipe são inseridas no diagrama de Ishikawa e podem ser enumeradas de acordo com sua gravidade ou importância (BAETA, 2017). Na Figura 1 está apresentado um esquema de um diagrama de Ishikawa.

Figura 1 – Diagrama de *Ishikawa* de uma indústria de produção de bandeja de ovos



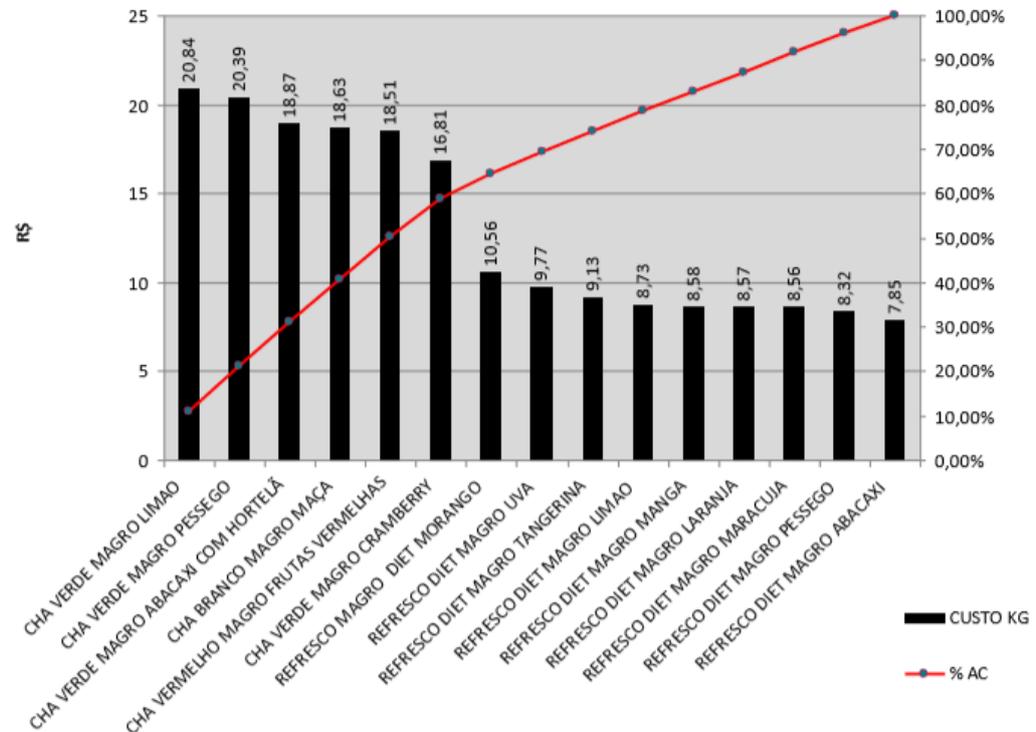
Fonte: Azevedo (2017)

2.1.2 Diagrama de Pareto

O princípio do diagrama de Pareto está fundamentado na relação de que muitos fenômenos na natureza, do cotidiano das pessoas, situações, problemas, etc., muitas causas são derivadas ou resultados de poucas fontes. Esse conceito foi utilizado pelo economista italiano Vilfredo Pareto quando abordou a distribuição de riqueza em seu país no seu tempo. Nos seus relatos ele destacou que em torno de 80% a 90% da riqueza da Itália estava concentrada em 10% a 20% da população. Essa mesma relação foi observada empiricamente em outros campos, como industriais em que 80% dos defeitos muitas vezes surgem devido a 20% das causas; 80% das queixas são originárias de 20% dos clientes, etc. Essas observações se tornaram conhecidas como parte da Lei de Pareto ou da regra 80/20 (OKLAND, 2003).

O gráfico de Pareto consiste em um gráfico de barras verticais que ordena as frequências das ocorrências de uma determinada característica a ser medida da maior para a menor frequência de ocorrência associada a uma curva de dispersão que mostra as porcentagens acumuladas de cada barra (ou de cada característica). Assim, esse diagrama permite organizar e visualizar informações de uma maneira clara e fácil e auxilia os gestores na priorização das ações corretivas (WERKEMA, 2006; TRIVELLATO, 2010). Na Figura 2 está apresentado um exemplo genérico de um diagrama de Pareto.

Figura 2 – Diagrama de Pareto para Custo do Kg dos graneis de refresco em pó
CUSTO DO KG DOS REFRESCOS



Fonte: Marino (2014)

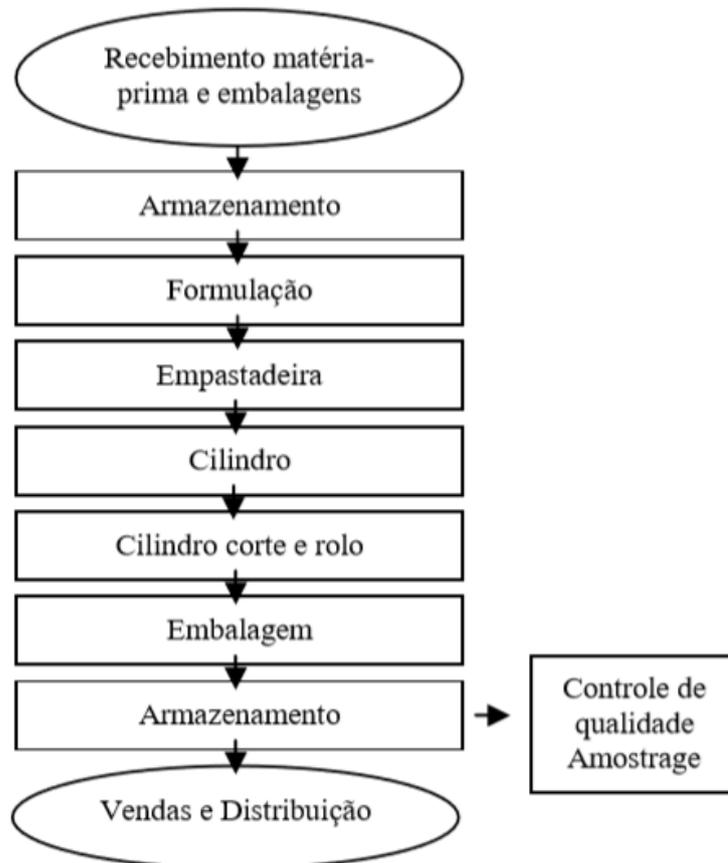
2.1.3 Fluxograma

O fluxograma é a ferramenta da qualidade responsável pela descrição do processo, através de um resumo ilustrativo do fluxo de todas as operações envolvidas no sistema, mostrando todas as suas etapas (MAGALHÃES, 2014).

O propósito dessa aplicação é facilitar a visualização de todas as etapas que compõe um determinado processo, visando identificar os pontos críticos que necessitam de atenção e melhoria (MAGALHÃES, 2014).

O fluxograma é basicamente dividido em três etapas: início: assunto a ser considerada no planejamento; processo que consiste na determinação e interligação dos módulos que englobam o assunto e fim do processo, onde não existem mais ações a ser considerada (MAGALHÃES, 2014). Na Figura 3 está apresentado o modelo de um fluxograma de produção de massa para pastel.

Figura 3 - Fluxograma do processo de massa para pastel.



Fonte: Vilaça; Oliveira, (2011)

2.1.4 Diagrama de dispersão

O Diagrama de dispersão é representado através de um gráfico cujos pontos ocupam o espaço cartesiano xy , e são usados para representar e comprovar a relação entre duas variáveis, ou também entre uma causa e um efeito, procurando identificar se existe uma tendência de variação conjunta entre duas ou mais variáveis. Dessa maneira, segundo Magri (2009) o diagrama de dispersão visualiza a alteração que uma variável sofre quando outra se modifica. De acordo com a dispersão apresentada no diagrama podem se identificar alguns tipos de correlação: positiva, negativa ou sem correlação.

Geralmente a coleta de dados para análise de um diagrama de dispersão é motivada por uma hipótese, a busca por investigar se uma determinada variável está correlacionada com outra. Um exemplo de uma hipótese a ser investigada por um diagrama de dispersão seria a relação entre a temperatura de um produto e a alteração de sua viscosidade. Nas figuras 4 e 5 estão apresentados o diagrama de dispersão com correlações negativas, e o diagrama de dispersão com correlações positivas.

Figura 4 - Diagrama de Dispersão com correlações negativas.

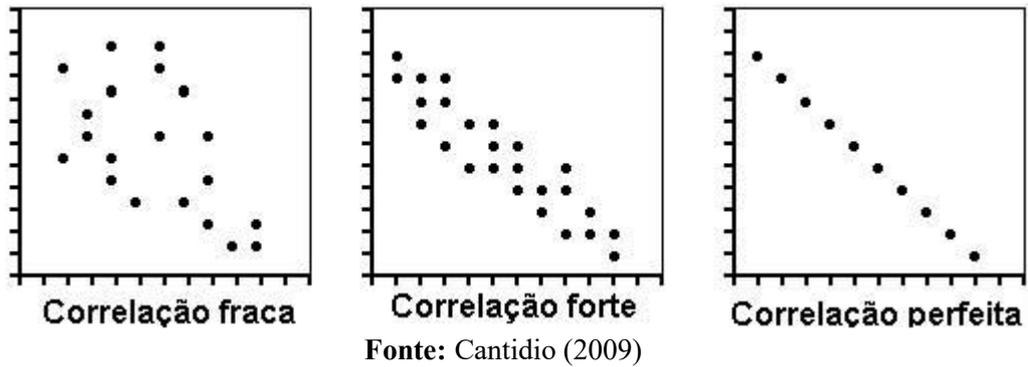
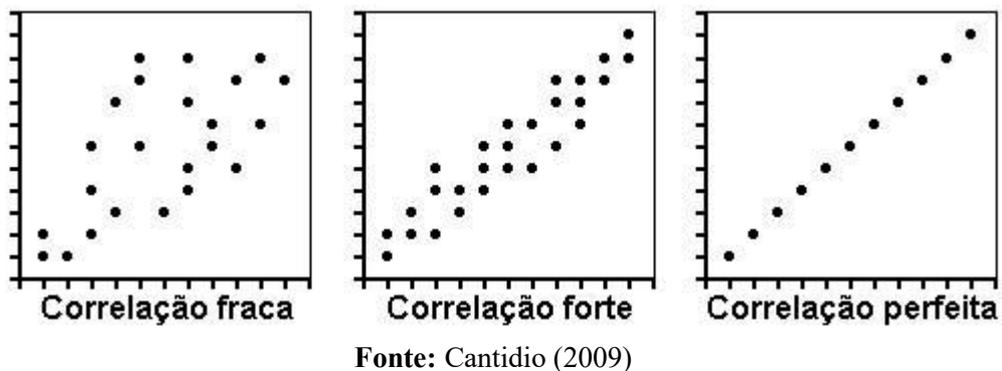


Figura 5 - Diagrama de Dispersão com correlações positivas

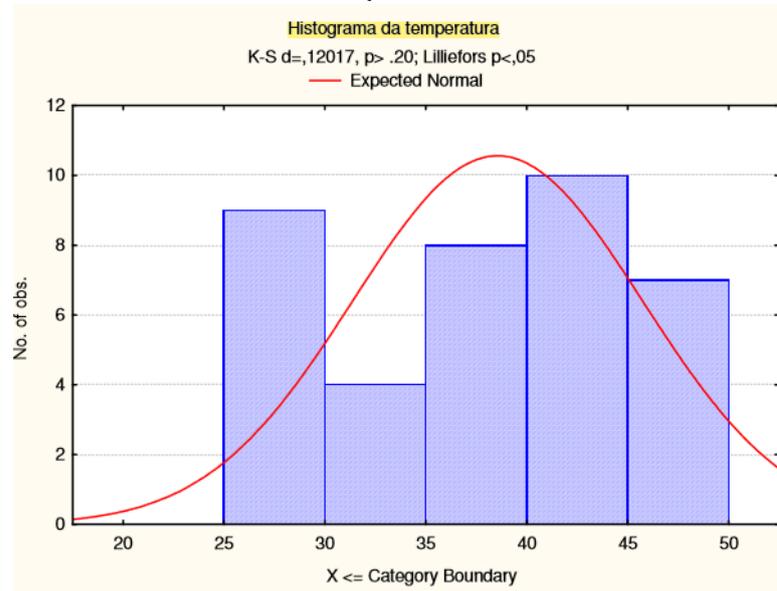


2.1.5 Histograma

O histograma é um gráfico que tem como objetivo ilustrar como uma determinada amostra ou população de dados está distribuída. Assim, esse gráfico é composto por um conjunto de barras (ou retângulos) cuja a base sobre o eixo x representa o valor ou amplitude de uma das variáveis avaliadas, enquanto a sua altura (eixo y) corresponde a sua frequência, assim sendo, é um gráfico utilizado na estatística e que mostra a variação sobre uma faixa específica (MAGALHÃES, 2014).

Essa ferramenta da qualidade possibilita conhecer as características de um processo ou um lote de produto permitindo visão ampla de um conjunto de dados (MAGALHÃES, 2014) é comum seu uso para verificar se o processo apresenta uma distribuição de frequências que tende à distribuição normal. Na figura 6 está apresentado o histograma representativo das variações de temperatura do fumeiro no processo de defumação de salame.

Figura 6 – Histograma representativo das variações de temperatura do fumeiro no processo de defumação de salame



Fonte: Turcato; Klidzio; Antonello (2008)

2.1.6 Folhas de verificação

As folhas de verificação são formulários ou planilhas elaboradas com o objetivo de facilitar a coleta, preenchimento e registro de dados, de forma fácil, objetiva e concisa. Nela podem ser registrados os dados dos itens a serem verificados, permitindo (quando bem elaboradas) uma rápida interpretação da situação ajudando a diminuir erros e confusões (CÉSAR, 2011). Geralmente são utilizadas também para registro e comprovação do histórico do processo em sistemas gerenciais da qualidade, como Boas Práticas de Fabricação (BPF), Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), etc.

Muitos tipos de folhas de verificação podem ser elaborados, segundo o objetivo da coleta de dados. Alguns exemplos comuns são as folhas para verificação da frequência de distribuição de um item; folhas de verificação para localização de um defeito; folhas de verificação para tabular uma classificação; folhas de verificação de uma causa-efeito, etc. (CÉSAR, 2011). Uma maneira de se elaborar uma folha de verificação adequada, ou seja, cujos dados coletados representem de forma fidedigna a realidade, é utilizar o método conhecido por “5W2H”, que são acrônimos em inglês que apresentam perguntas chaves que podem ser realizadas para que ao serem respondidas possam relatar um fato ou situação. Assim, o acrônimo referência as seguintes perguntas: “*Who?*” (Quem?), “*What?*” (O quê?), “*Where?*” (Onde?), “*Why?*” (Por que?), “*How?*” (Como?) e “*How many* ou *How often?*” (Quantos ou Com

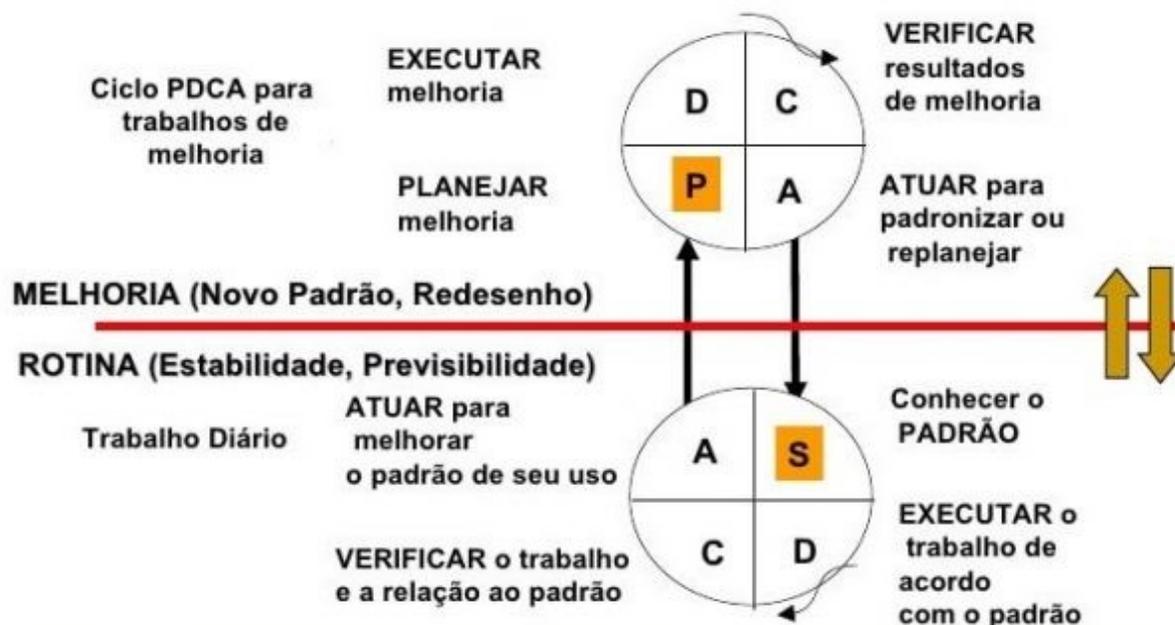
2.1.7 Ciclo *Plan, Do, Check e Act* (PDCA)

O ciclo *Plan, Do, Check e Act* (PDCA) ou em português (Planejar, Executar, Checar e Agir), de modo geral não é considerada uma das sete ferramentas básicas da qualidade. Esse ciclo também é conhecido como ciclo de *Shewhart* ou ciclo *Deming*, e foi introduzido no Japão após a Guerra. Esse ciclo tem como princípio tornar mais claro e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, e cada palavra representa um passo para que seja alcançado esse objetivo (Daychouw, 2007).

Dessa maneira a primeira etapa designada como *plan* ou planejamento refere-se a definição e o estabelecimento de objetivos para se atingir uma meta ou para se alcançar resultados. É nessa etapa que é estabelecido um plano de ação, com base em dados sobre a meta que deve ser alcançada. Nessa etapa podem e geralmente são utilizadas as ferramentas de qualidade para que seja analisado o processo e levantados dados reais, para que as o plano de ação seja efetivo. Na sequência do ciclo encontra-se a etapa de execução (*Do*) ou seja, executar no processo o plano de ação estabelecido para que na etapa seguinte, de avaliação ou checagem (*check*) se possa averiguar se os resultados almejados na primeira etapa do planejamento estão sendo alcançados. Quando não estão sendo alcançados, deve-se fazer uma análise na quarta etapa do ciclo (*act* ou agir) para verificar os motivos que estão afetando o desempenho do processo, as razões pelas quais os resultados não estão sendo satisfatórios como no planejado. Essa análise poderá alimentar a primeira etapa de planejamento de um novo ciclo PDCA. Por outro lado, quando as ações implementadas na etapa de execução estão sendo efetivas, elas devem virar uma rotina na organização e então pode-se utilizar para isso o ciclo SDCA, complementar ao PDCA, no qual a diferença é derivada da primeira letra do acrônimo, S, que significa *Standard* ou padronizar. A padronização de ~~um~~ ações efetivas podem ocorrer de diversas maneiras, entre elas, por meio da elaboração de procedimentos operacionais padrões (POPs).

Na Figura 8 está apresentado um esquema que resume o ciclo PDCA e sua relação com o ciclo SDCA.

Figura 8 – Esquema do ciclo PDCA e SDCA



Fonte: Tondelli (2016)

2.1.8 Controle estatístico da qualidade (CEP)

O princípio do Controle Estatístico de Processo tem como finalidade resolver um problema particular que é a redução da variabilidade natural dos processos, incluindo a coleta, a análise e a interpretação dos dados coletados para atingir o objetivo. O fundamento do CEP é o de evitar defeitos (produtos, processos, serviços, etc., muito diferentes e fora de um padrão), independentemente de onde eles venham a surgir. Com isso, essa ferramenta visa melhorar o processo, operar de forma preventiva; analisar e abranger todos os tipos de casos, permitindo que haja adequação da qualidade (CORTIVO, 2005; DINIZ, 2001)

O CEP pode ser dividido em duas categorias: os gráficos ou cartas por variáveis e os gráficos ou cartas por atributos. Os primeiros são aqueles cujas características avaliadas são o resultado de algum tipo de medição como: massa, altura, comprimento, resistência, etc., ou seja, são resultados de valores contínuos. Enquanto os gráficos por atributos são aqueles em que o resultado é decorrente de uma classificação ou contagem, por exemplo: número de defeitos, de erros, fração defeituosa, etc., e com isso trabalha-se com valores discretos (RAMOS, 2012).

De forma resumida, a construção dos gráficos de Controle Estatístico de Processo baseia-se na distribuição normal, e no processo, verifica-se a estabilidade deste e quantifica-se sua capacidade empregando os índices de capacidade. Por isso, será realizada uma

fundamentação sobre a distribuição normal, as equações que regem os gráficos de controle estatístico por variáveis e por atributos e na sequência a análise da capacidade do processo.

2.2 Distribuição normal e fundamento do CEP

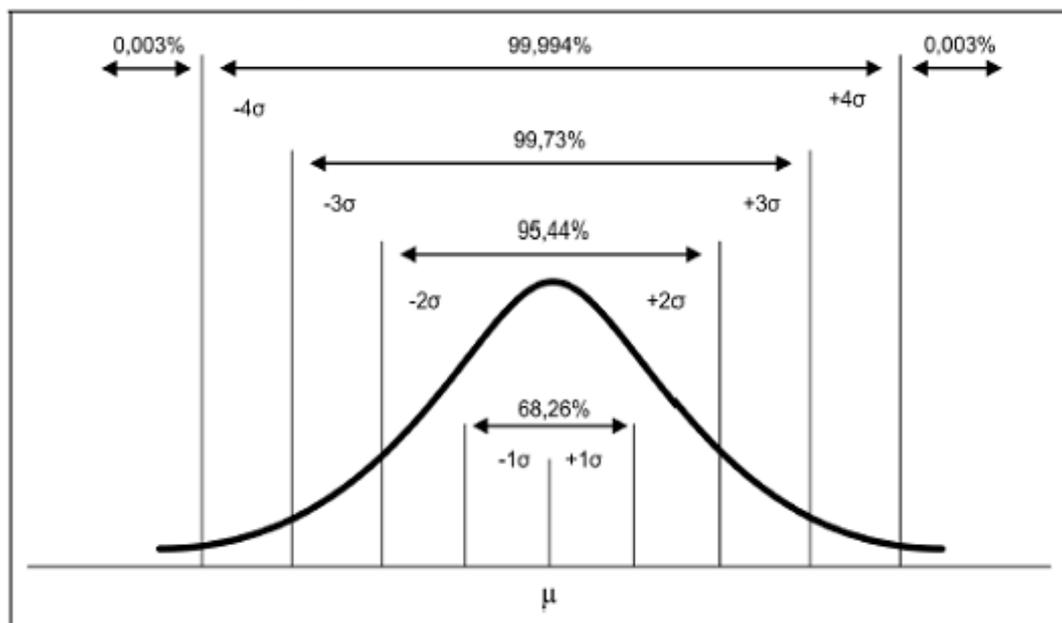
A distribuição normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades e é a base estatística que sustenta o CEP, porque o modelo da distribuição normal consegue descrever, com boa aproximação, muitos fenômenos na natureza e muitos problemas industriais. Essa distribuição pode ser também chamada de Gaussiana, em referência a *Karl F. Gauss* (1777-1855) (ANDRADE & OGLIARI, 2007).

A distribuição normal representa o resultado da atuação conjunta de causas aleatórias. Em termos matemáticos a função da distribuição normal (ou densidade de frequência) pode ser descrita por:

$$P(x_1 < x_0 < x_2) = F(x_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \text{ com } x \in \mathbb{R} \quad (1)$$

em que, e representa a base dos logaritmos naturais, cujo valor é aproximadamente 2,7182, e π aproximadamente 3,1416 e μ representa a média populacional, enquanto σ representa o desvio padrão. A representação gráfica de $f_x(x)$ pode ser visualizada por meio da Figura 9.

Figura 9 - Representação do gráfico da curva da distribuição normal.



Fonte: Action (2019)

A curva da distribuição normal é representada através da identificação de dois parâmetros, média e desvio padrão.

A área total sob a curva representa 100%, sendo assim a probabilidade de uma observação assumir um valor entre dois pontos quaisquer é igual à área compreendida entre esses dois pontos (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Montgomery (2004) o ponto mais alto na curva (e o central) representa o valor a média do processo (μ). As demais linhas verticais, representam o desvio padrão em relação à média, o que caracteriza as faixas de soma ou subtração de um, dois, três, etc., desvios padrões (1σ) em relação à média. Cada faixa de valores representa certa probabilidade de ocorrência de acordo com o quadro 1:

Quadro 1- Valores das faixas representadas no gráfico da curva da distribuição normal:

Desvio em relação a média μ	Probabilidade de ocorrência
+1 e -1 σ	68,26%
+2 e -2 σ	95,44%
+3 e -3 σ	99,74%

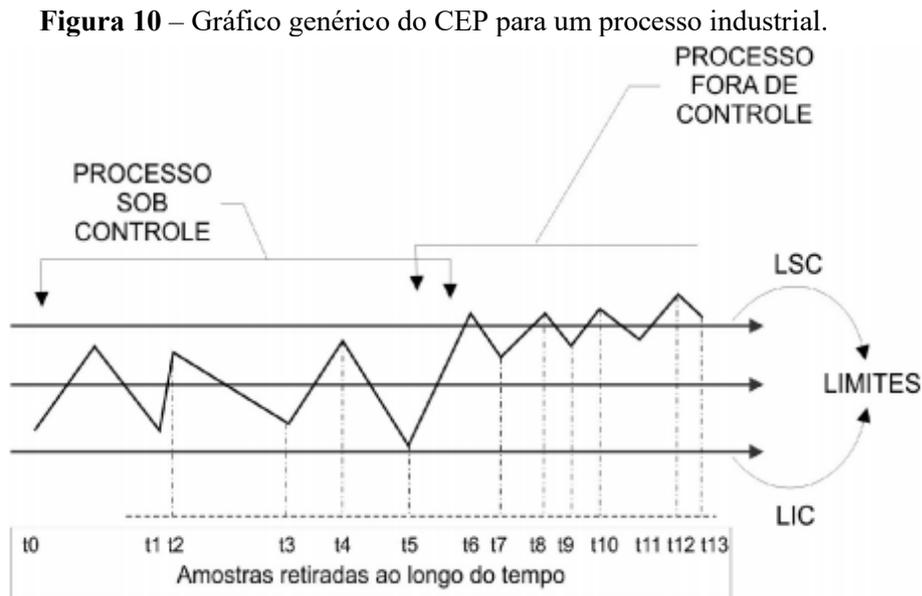
Fonte: Montgomery (2004)

Quanto mais afastado os desvios estiverem do centro da curva, maior será a área compreendida. A estatística trabalha dentro de uma faixa de valores, com determinada variação. Para processo estável, a variação acontece dentro dessa faixa de valores. Se houver problemas ou perturbações no processo o gráfico apresentará ponto(s) fora da faixa de variação natural do processo, ou seja, pontos fora da curva. O intervalo de 99,74%, correspondente a $\pm 3\sigma$ dos dados, é conhecido como faixa natural de variação do processo e é o intervalo utilizado para o CEP, ou seja, os limites de controle estatístico são determinados por meio da Equação 2:

$$LC = \mu(\bar{x}) \pm 3\sigma(\bar{x}) \quad (2)$$

em que, LC representa o limite tanto superior quanto inferior de controle. Após a estimativa dos limites de controle e coleta de dados sobre o processo em que se deseja monitorar, é possível obter o gráfico de controle. Os gráficos de controle consistem em uma linha central e um par de limites de controle, um dos quais se localiza abaixo e outro acima da linha central, e valores característicos marcados no gráfico representando o estado de um processo. Se os valores

marcados estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular e a disposição dos pontos dentro dos limites for aleatória, o processo é considerado sob controle. Entretanto, se os pontos incidirem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição atípica, o processo é julgado fora de controle (ROLIM NETO, 2009). Na Figura 10 está apresentado um gráfico genérico do CEP para um processo industrial.



Fonte: Carneiro Neto, 2003.

Uma das dificuldades em se trabalhar com esse modelo é a necessidade de conhecer a média (μ) e o desvio padrão (σ) da população ou ter estimativas confiáveis desses parâmetros (TELLES, 2014). Assim, para contornar essa dificuldade, geralmente, no lugar dos parâmetros $\mu(\bar{x})$, é utilizada a média das médias das amostras do processo, ou seja ($\bar{\bar{x}}$), e, no lugar de σ , pode ser utilizado tanto a amplitude (R) quanto o desvio padrão (s) para os gráficos de variáveis. A substituição, porém, não é direta e é necessário o uso de fatores de correção, os quais são determinados de acordo com o tamanho da amostra (n), conforme será apresentado nos tópicos a seguir.

2.3 Estatística básica

A média \bar{x} de um conjunto de dados pode ser estimada por meio da Equação 3:

$$\bar{x}_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3)$$

em que, \bar{x}_i , $i = 1, 2, \dots, n$ representam as amostras de tamanho n .

A média das médias ($\bar{\bar{x}}$) pode ser definida conforme apresentado na Equação 4:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i \quad (4)$$

É importante observar que m representa a quantidade de amostras disponíveis, cada uma contendo n observações da característica da qualidade (MONTGOMERY, 2004).

A amplitude pode ser estimada pela diferença entre o maior valor da amostra ($x_{m\acute{a}x}$) e o menor ($x_{m\acute{i}n}$), de acordo com a Equação 5:

$$R = x_{m\acute{a}x} - x_{m\acute{i}n} \quad (5)$$

E, a amplitude média pode ser \bar{R} definida pela Equação 6:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (6)$$

onde, $i = 1, 2, \dots, m$ é a amplitude da i -ésima amostra.

O desvio padrão amostral médio \bar{s} pode ser definido conforme apresentado na Equação 7:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \quad (7)$$

em que S_i , $i = 1, 2, \dots, m$ representa o desvio padrão da i -ésima amostra.

O desvio padrão amostral médio pode ser estimado por:

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i \quad (8)$$

2.3 Gráficos de controle para variáveis

Os gráficos de controle de variáveis são aplicados quando a característica da qualidade é expressa em uma escala contínua de medidas, definidos basicamente em: gráfico da média e amplitude (\bar{x} e R) e gráfico da média e desvio padrão (\bar{x} e S). Os primeiros são utilizados com

objetivo de controlar a média de processo, enquanto os últimos, tanto por R quanto por S, são empregados para o controle da variabilidade do processo. Estes gráficos são utilizados quando a característica analisada é representada por unidades quantitativas de medida, ou seja, pelo conjunto dos números reais que podem ser exemplificados pelo peso, altura, comprimento, tempo (produção, entrega, etc.), dureza, rugosidade superficial, pH, temperatura, etc., de um produto, processo ou serviço (BACKES; PACHECO, 2016).

2.3.1 Gráfico da média e amplitude (\bar{x} e R)

As expressões para o cálculo dos limites de controle para os gráficos de média e amplitude são:

a) Gráfico \bar{x}

$$LSC = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{d_2} \cdot \sqrt{n} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (9)$$

$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (10)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{d_2} \cdot \sqrt{n} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (11)$$

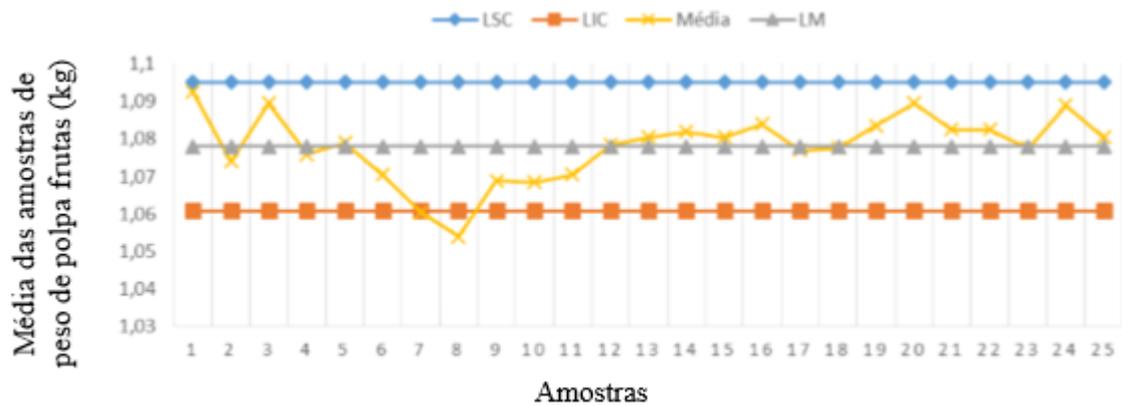
em que, LSC, LM e LIC representam os limites de controle superior, médio e inferior, respectivamente; A_2 e d_2 são constantes tabeladas em função de n e funcionam como fatores de correção para o uso de R em vez de σ . É possível observar que o desvio padrão σ pode ser estimado por:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (12)$$

A estimativa do desvio padrão σ a partir da amplitude média \bar{R} é apropriada para pequenas amostras ($n \leq 10$). Em alguns casos, a partir de 6 amostras, pode-se já recorrer ao gráfico da média e desvio padrão, para sua maior robustez. Para amostras de maior tamanho \bar{R} , perde-se sua eficiência já que todos os valores entre x_{min} e x_{max} são ignorados no cálculo da amplitude.

Na Figura 11 está apresentado um gráfico de média e amplitude utilizado para controlar o peso de polpas de frutas em uma empresa de médio porte.

Figura - 11: Gráfico da média no monitoramento de peso de polpas de fruta.



Fonte: Adaptado de Rosário, Dantas e Oeiras (2015)

O gráfico de controle das médias dos pesos das amostras de polpa de fruta representado pela Figura 3, apresentou o limite superior de controle com o valor aproximado de 1,0951 e o limite inferior de 1,0608. Segundo Rosário, Dantas e Oeiras (2015) as amostras 7 e 8 obtiveram médias de 1,0605 e 1,0540 kg, mostrando que o processo encontrava-se sob o efeito de causas especiais. As demais amostras apresentaram seus valores dentro dos limites de controle, sob o efeito de causas aleatórias.

b) Gráfico R

A estimativa dos limites para a construção do gráfico da amplitude pode ser dada pelas seguintes expressões:

$$LSC = \bar{R} + 3 \sigma_R = \bar{R} + \frac{3d_3\bar{R}}{d_2} = D_4\bar{R} \quad (13)$$

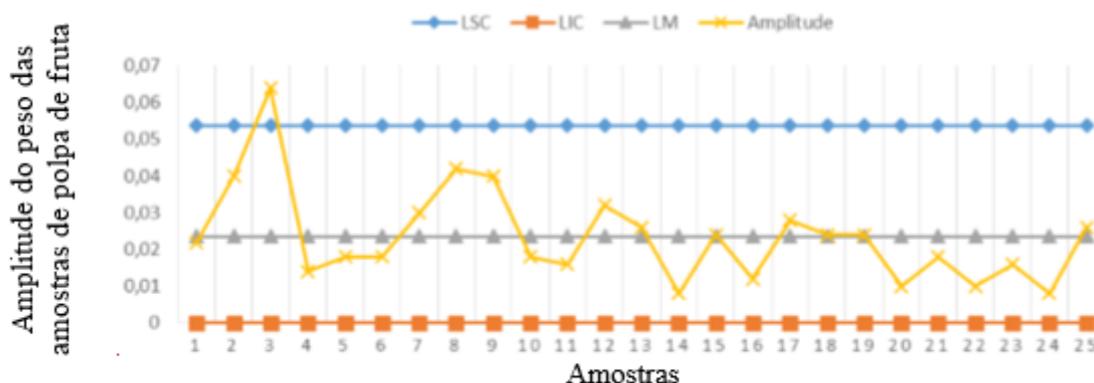
$$LM = \bar{R} \quad (14)$$

$$LIC = \bar{R} - 3 \sigma_R = \bar{R} - \frac{3d_3\bar{R}}{d_2} = D_3\bar{R} \quad (15)$$

em que, σ_R é a estimativa do desvio padrão da distribuição da amplitude amostral e d_3 , d_2 , D_3 e D_4 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras.

Na Figura 12 - está ilustrado o gráfico de monitoramento da amplitude do peso de polpas de frutas.

Figura 12 –Gráfico da amplitude do monitoramento de peso de polpas de fruta



Fonte: Adaptado de Rosário, Dantas e Oeiras (2015)

Segundo Rosário, Dantas e Oeiras (2015) a Figura 12 demonstra o gráfico de controle das amplitudes das amostras do monitoramento de polpas de frutas, no qual o limite superior e inferior de controle assumiram os valores 0,0537 e 0, respectivamente. Sendo assim, a amostra de número 3 (com a amplitude de 0,0640) apresentou-se acima do limite superior, logo a mesma também está sob o efeito de causas especiais. E as demais, encontram-se sob o efeito de causas aleatórias. É importante em casos como esses apresentados nas Figuras 11 e 12, ou seja, de processos que estão fora do controle estatístico de processo, que seja identificada a causa da variação dessas amostras e que na sequência seja realizada alguma intervenção no processo para que essa variabilidade seja reduzida, uma vez que esta poderá acarretar em perdas econômicas (devido ao desperdício de materiais, de tempo e energia de reprocesso, multas devido à falta de padrão, etc.). Em pequenas e médias empresas, variações constantes e grandes de processo, como as ilustradas nas figuras, podem representar um grande gargalo para seu crescimento, e serem fatores decisivos para seu fracasso.

2.3.2 Gráfico da média e desvio padrão amostral (\bar{x} e s)

Os gráficos de controle \bar{x} e s são geralmente preferíveis em relação aos gráficos anteriores, quando $n > 10$ ou 12, uma vez que, com amostras maiores, a amplitude amostral R perde eficiência para estimar σ , se comparada ao desvio amostral s (WERKEMA, 1995). Como escrito anteriormente, o gráfico da \bar{x} é utilizado com objetivo de controlar a média do processo

enquanto o gráfico s é empregado para o controle da variabilidade do processo em análise, e ambos devem ser utilizados conjuntamente.

As expressões para o cálculo dos limites de controle dos gráficos de \bar{x} são:

c) **Gráfico \bar{x}**

$$LSC = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{C_4} \sqrt{n} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{S} \quad (16)$$

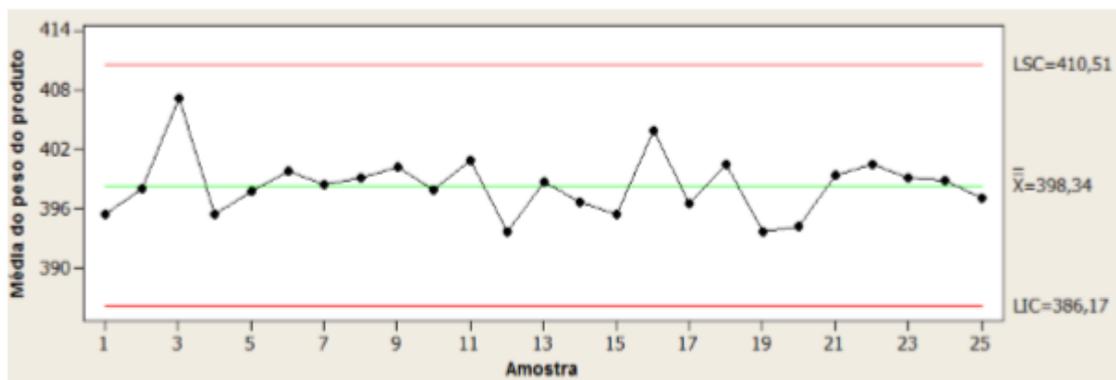
$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (17)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{C_4} \sqrt{n} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S} \quad (18)$$

em que, A_3 e C_4 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras.

Daminelli (2013) utilizou os gráficos de controle estatístico da média para avaliar a média de pesagem do produto, amplitude para monitorar a amplitude média das amostras e o desvio padrão para visualizar a variação estatística do processo, buscando controlar a oscilação de peso em embalagens de biscoito de maisena. Segundo o autor, as amostras foram coletadas em apenas um dia e constituíram doze subgrupos com 25 amostras cada. Os pacotes de biscoito de maisena continham 370g e foram escolhidos aleatoriamente. Após a coleta dos dados, calculou-se o limite superior e o limite inferior, e o autor concluiu através do valor da média de pesagem encontrada, que o processo se encontrava sobre controle estatístico, pois os dados ficaram entre os limites de controle. O limite inferior de controle determinado no trabalho foi de 386,17 g, limite superior de controle 410,51 g e a média (\bar{x}) encontrada apresentou o peso de 398,34 g. Na Figura 13 está apresentado o gráfico de controle utilizado no trabalho.

Figura 13- Gráfico da média do peso de biscoito



Fonte: Daminelli, 2013

d) Gráfico S

As expressões para o cálculo dos limites de controle dos gráficos de s são:

$$LSC = \bar{s} + 3\hat{\sigma}_s = B_4\bar{s} \quad (19)$$

$$LM = \bar{s} \quad (20)$$

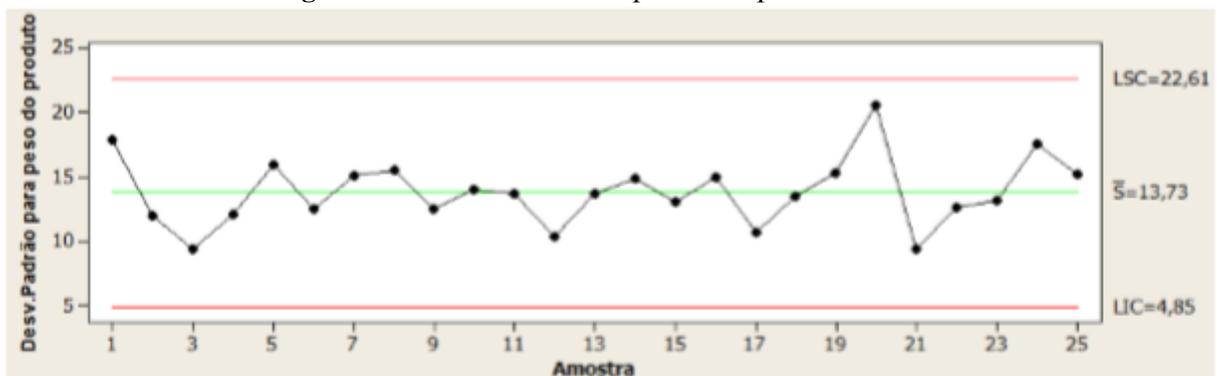
$$LIC = \bar{s} - 3\hat{\sigma}_s = B_3\bar{s} \quad (21)$$

em que σ_s é a estimativa do desvio padrão da distribuição de s , B_3 e B_4 são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras. É possível observar que o desvio padrão populacional pode ser estimado por:

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (22)$$

Ainda de acordo com o apresentado no estudo de Daminelli (2013), sobre a avaliação do peso de biscoitos de maisena por meio do uso dos gráficos de controle para média e desvio padrão os gráficos para o desvio padrão (com o objetivo de avaliar a variabilidade do peso) apresentaram todos os pontos dentro dos limites de controle especificados, indicando que o processo estava sob controle, ou seja, estável, conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 14- Gráfico do desvio padrão do peso de biscoito



Fonte: Daminelli, 2013

2.4 Gráficos para atributos

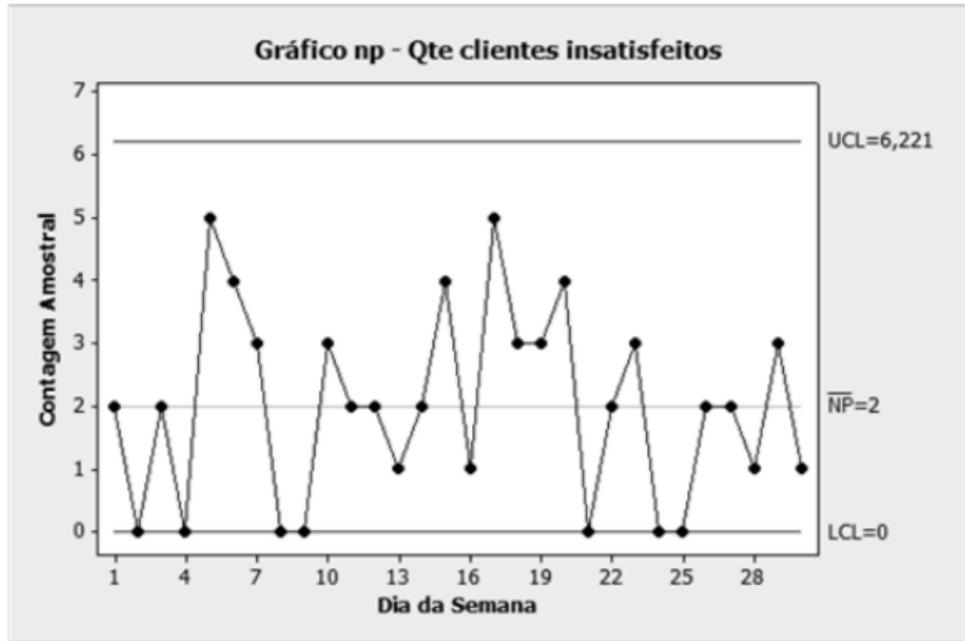
Muitas características da qualidade não podem ser representadas numericamente. No entanto, há uma classificação dos itens inspecionados como conformes ou não conformes de acordo com um padrão. Essas características são denominadas de atributos, que são particularidades da qualidade expressas pela ausência ou presença de não conformidades e/ou defeitos em um processo (WERKEMA, 1995).

Diferentemente do CEP para variáveis, que necessitavam de dois gráficos para conclusão sobre a presença ou não de causas especiais, ou seja, um para a tendência central do processo (gráfico da média) e outro para a variabilidade (gráfico da amplitude ou desvio padrão), naqueles por atributos essas informações estão reunidas em um único gráfico, ou seja, na análise de controle para atributos, todos os modelos apresentam uma tendência central do processo e em torno dela uma dispersão.

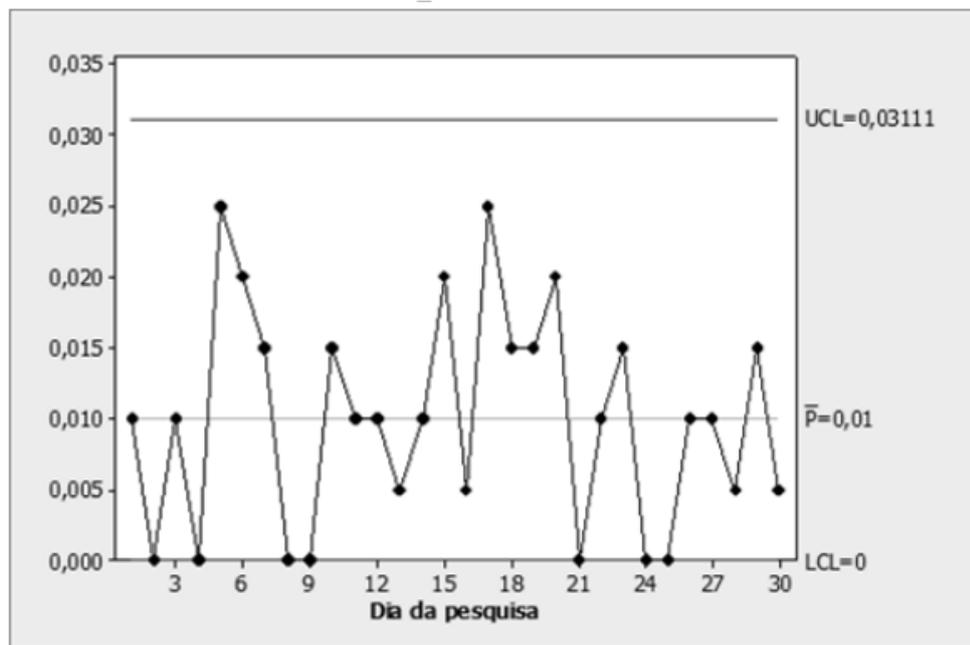
As amostras dos gráficos de atributos são em geral grandes, tornando fácil a detecção dos defeitos. Assim, eles podem ser representados por quatro maneiras diferentes, sendo elas: gráfico da fração defeituosa (p), de controle do número de defeituosos (np), de controle do número de não conformidades na amostra (c) e de controle do número médio de não conformidades na amostra (u) (WERKEMA, 1995). Na Figura 15 estão ilustrados os gráficos np , p , c e u para diferentes setores industriais.

Figura 15- Gráficos de controle para atributos

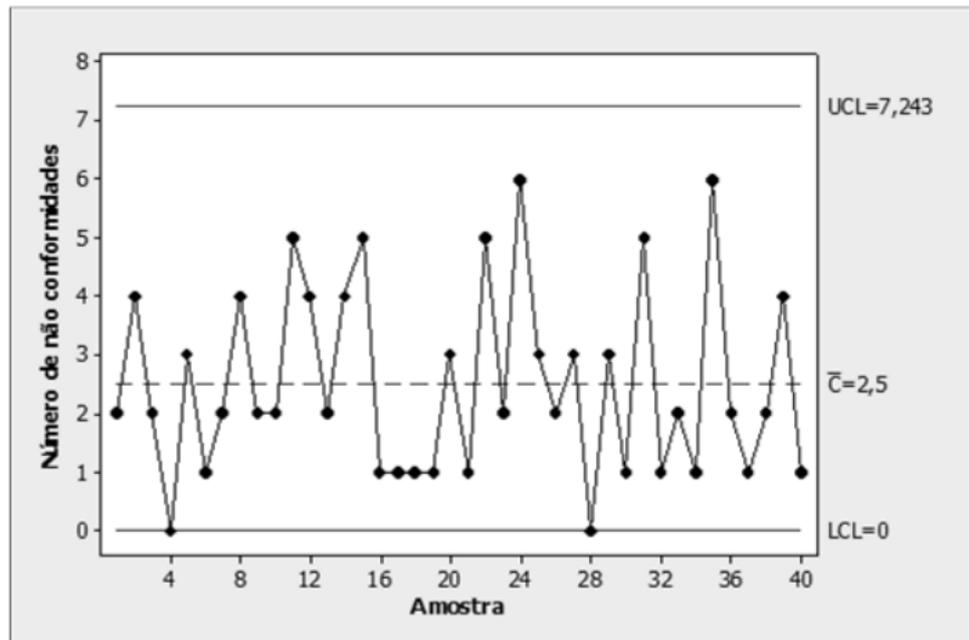
- a) Gráfico de controle do número de defeituosos (np): Avaliação do número de itens considerados não conforme em um restaurante, avaliando a insatisfação dos clientes com comida.



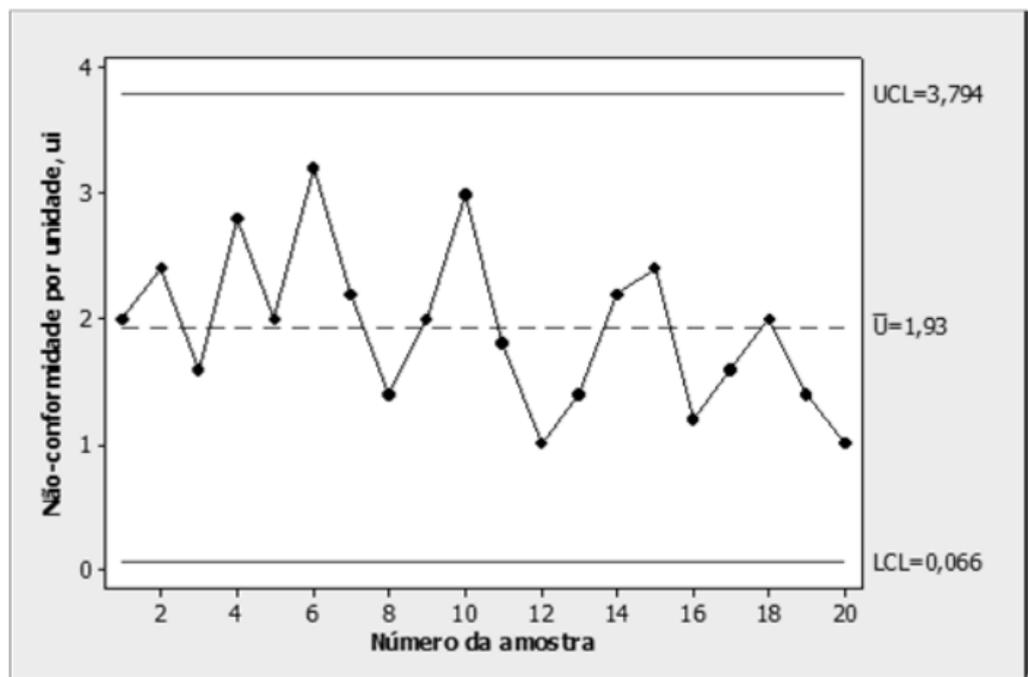
- b) Gráfico da fração defeituosa (p): Avaliação da fração de itens defeituosos produzidos em um restaurante avaliando a proporção de clientes insatisfeitos com a comida



- c) Gráfico controle do número de não conformidades na amostra (c): Avaliação do número de não conformidades de 40 amostras e 5 geladeiras



- d) Gráfico do número de não-conformidades (u): Avaliação do número de não conformidades por unidade de inspeção de produto acabado, com 20 amostras de 5 computadores



Fonte: Costa (2004)

Conforme pode ser observado nos gráficos apresentados na Figura 8, os gráficos para atributos também contam com os limites inferior, superior e central de controle, diferenciando-

se dos gráficos de controle para variáveis apenas pelo tipo de dados coletados (dados discretos) e pela estatística utilizada para calcular seus limites.

2.4.1 Gráfico de controle da fração defeituosa (p)

De acordo com Montgomery (2004), os limites de controle do gráfico p são dados por $\mu_{\hat{p}} \pm 3\sigma_{\hat{p}}$, e a expressão para o cálculo dos limites de controle do gráfico p alterando os parâmetros populacionais para amostrais são:

$$LSC = \hat{p} + 3\sqrt{\hat{p} \frac{(1-\hat{p})}{n}} \quad (23)$$

$$LM = \hat{p} \quad (24)$$

$$LIC = \hat{p} - 3\sqrt{\hat{p} \frac{(1-\hat{p})}{n}} \quad (25)$$

Usualmente o parâmetro p é desconhecido, sendo necessário estimá-lo por meio de dados amostrais de forma similar ao procedimento utilizado na construção dos gráficos \bar{x} e R ou \bar{x} e s. Geralmente, extrai-se m amostras preliminares do processo, sendo cada uma de tamanho n . É usual que m seja igual a pelo menos 20 ou 25 e que n seja superior a 5. Se x_i representar o número de itens defeituosos na i -ésima amostra, então a proporção de defeituosos nesta amostra é:

$$\hat{p}_i = \frac{x_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (26)$$

logo, a proporção desconhecida p de itens defeituosos será estimada pela média p das proporções individuais de itens defeituosos p_i :

$$p = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m x_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{p}_i \quad (27)$$

Após o cálculo dos limites de controle apresentados, deve-se representar os m valores de \hat{p}_i no gráfico p , verificar se o processo pode ser considerado sob controle, se existem pontos fora dos limites ou com comportamentos tendenciosos (WERKEMA, 1995).

2.4.2 Gráfico de controle do número de defeituosos (np)

O gráfico dos números defeituosos mede a quantidade de itens não-conformes em um lote inspecionado. A base para a construção do gráfico np é idêntico ao gráfico p, exceto por registrar o número real de itens não-conformes, ao invés de sua fração, p.

A construção dos gráficos np tem por base a distribuição binomial, e este gráfico de controle só pode ser construído quando se lida com amostras de tamanhos iguais (n).

Para a coleta de dados, o tamanho da amostra de inspeção não precisa ser constante. O período de formação dos subgrupos deve ser compatível com os intervalos de produção e as amostras devem ser grandes o suficiente para permitir que vários itens não-conformes apareçam em cada subgrupo.

Para a identificação dos limites de controle, primeiro calcula-se o número médio de itens não-conformes do processo $n\hat{p}$ (CHAVES & TEIXEIRA, 1997).

$$n\hat{p} = \frac{n_1p_1 + n_2p_2 + \dots + n_m p_m}{m} \quad (27)$$

onde $n_1p_1 + n_2p_2 + \dots + n_m p_m$ são os números de itens não-conformes em cada um dos m subgrupos.

O cálculo dos limites superior e inferior de controle (LSC, LIC) ficam:

$$LSC_{np} = n\hat{p} + 3\sqrt{n\hat{p}\left(1 - \frac{n\hat{p}}{n}\right)} = n\hat{p} + 3\sqrt{n\hat{p}(1 - \hat{p})} \quad (28)$$

$$LIC_{np} = n\hat{p} - 3\sqrt{n\hat{p}\left(1 - \frac{n\hat{p}}{n}\right)} = n\hat{p} - 3\sqrt{n\hat{p}(1 - \hat{p})} \quad (29)$$

2.4.3 Gráfico de controle do número de não conformidades na amostra (C)

O gráfico c é utilizado nas situações em que é necessário controlar o número total de defeituosos em uma unidade do produto. Na maioria dos casos, a unidade de inspeção é representada por apenas uma amostra do produto (WERKEMA, 1995).

Quando a distribuição binomial apresentar o tamanho "n" das observações com valor muito grande e a probabilidade "p" de sucesso muito pequenas, a probabilidade x de ocorrência de um determinado número de observações é dada pela Distribuição de Poisson:

$$p(x) = \frac{e^{-c} e^x}{x!} \quad x = 0,1,2, \dots \quad (30)$$

onde x é o número de não conformidades $c > 0$ é o parâmetro da distribuição de Poisson, e e é base do logaritmo natural ($e = 2.71828\dots$).

A distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta que expressa a probabilidade de uma série de eventos ocorrer num certo período de tempo, independentemente de quando ocorreu o último evento.

Se o padrão não é dado, então c é estimado como o número médio de não conformidades observado em uma amostra previa de unidades de inspeção, representado por \bar{c} .

Portanto, os limites de controle do gráfico c são calculados por meio das equações:

$$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (31)$$

$$LM = \bar{c} \quad (32)$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (33)$$

Após o cálculo dos limites de controle apresentados, deve-se representar os m valores de c_i no gráfico c e verificar se o processo pode ser considerado sob controle ou existem pontos fora dos limites e comportamentos não aleatórios.

Para a construção do gráfico para números total de defeitos, o número n de unidades de inspeção que compõe cada amostra nem sempre é um número inteiro e muitas vezes o valor calculado para o limite inferior de controle será um número negativo. Quando isso ocorre, devemos considerar que o LIC é de 0 (WERKEMA, 1995).

2.4.4 Gráfico de controle do número médio de não conformidades na amostra (u)

Os gráficos de atributo u medem o número de não-conformidades por unidade de inspeção em subgrupos que podem ter tamanho das amostras variável. É similar à carta c , exceto que o número de não-conformidades está expresso por uma unidade básica. São adequadas às mesmas situações; entretanto, os gráficos u podem ser usados quando a amostra contém mais de uma "unidade", aumentando assim a área de oportunidade para a ocorrência de não conformidades. Os detalhes das instruções para o gráfico u são similares às do p (MONTGOMERY, 2004).

A coleta dos dados não exige que o tamanho das amostras seja constante entre os subgrupos, entretanto, se os dados ficarem dentro de 25% ao redor da média, o cálculo dos limites de controle é simplificado. As não-conformidades por unidade em cada subgrupo (u) são dadas por:

$$u = \frac{c}{n} \quad (34)$$

onde c é o número de não-conformidades encontradas e n é o tamanho da amostra (número das unidades de inspeção); c e u também devem ser registrados nos gráficos (DATALYZER, 2004).

Para se obter os limites de controle, calcula-se primeiro a média das não-conformidades por unidade do processo (\bar{u}):

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (35)$$

onde $c_1 + c_2 + \dots + c_k$ e $n_1 + n_2 + \dots + n_k$ são os números de não-conformidades e o tamanho da amostra para cada um dos k subgrupos. Os limites ficam:

$$LSC_u = \bar{u} + \left(\frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}} \right) = \bar{u} + \left(3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \right) \quad (36)$$

$$LIC_u = \bar{u} - \left(\frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}} \right) = \bar{u} - \left(3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \right) \quad (37)$$

onde \bar{n} é o tamanho médio das amostras.

2.5 Índice de capacidade

Conforme discutido anteriormente, quando as causas especiais da variação são eliminadas de um processo representado pela distribuição normal a característica de qualidade em estudo, considera-se processo está sob controle estatístico. Entretanto, colocar e manter um processo sob controle não é o suficiente; o fundamental está em avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir das necessidades dos clientes ou especificações de engenharia. A análise da capacidade do processo estabelece, a medida através

da relação entre a variabilidade natural do processo em relação à variabilidade que é permitida a esse processo, dada pelos limites de especificação (GONÇALEZ; WERNER, 2009).

O processo pode ser classificado quanto à sua capacidade em capaz ou incapaz, processo capaz indica que os resultados das medições das características de controle estão dentro do intervalo especificado ou seja não há identificação de produtos defeituosos, no entanto o processo incapaz é estabelecido quando existe indicações estatísticas de que estão sendo produzidos produtos defeituosos, os resultados das medições das características de controle estão fora do intervalo especificado (CHEN ET AL, 2005).

Segundo Montgomery (2004), a avaliação da capacidade do processo pode ser obtida através da avaliação dos índices de capacidade C_p e C_{pk} , sendo que em um processo de distribuição normal costuma-se utilizar a dispersão de 6σ como referência:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (38)$$

em que, LSE significa limite superior de especificação do produto ou processo e LSI significa limite inferior de especificação do produto ou processo.

A relação entre a medida da dispersão do processo e a tolerância do produto é avaliada pela capacidade real do processo, C_{pk} , desta forma é analisado o índice de desempenho do processo, que pode ser calculado de acordo com as equações (39) e (40):

Equação para o limite inferior:

$$C_{pki} = \frac{\bar{\bar{X}}-LIE}{3\sigma} \quad (39)$$

Equação para o limite superior

$$C_{pks} = \frac{LSE-\bar{\bar{X}}}{3\sigma} \quad (40)$$

onde, $\bar{\bar{X}}$ representa a média das médias das observações que representam o processo.

Costuma-se avaliar os valores de C_p , C_{pki} e C_{pks} conjuntamente, e de modo geral esses valores devem ser superiores a 1 (um). Quando o valor de C_p for alto ($>1,0$) e C_{pk} baixo ($<1,0$), pode-se dizer que a dispersão é adequada, contudo a média está deslocada. Se o processo estiver produzindo resultados cujas medições estejam fora das especificações, mas sua dispersão for relativamente pequena, pode-se considerar que o processo é potencialmente capaz, isto é, o C_p será elevado, mas em contrapartida poderá apresentar C_{pk} baixo (MONTGOMERY, 2004).

De acordo com Montgomery (2004), se um processo for representado pela distribuição normal, a média coincidir com o valor nominal especificado para o produto e o índice Cp for igual a 1, então pode-se dizer que este processo produz no máximo 0,27% de peças defeituosas, pois para esta distribuição 99,73% dos dados estão dentro dos limites que cobrem a dispersão de tamanho 6σ , de acordo com a Figura 16.

Figura 16 -Gráfico genérico da distribuição normal de um processo centrado com Cp igual a 1.



Fonte: Montgomery, (2004)

O Quadro 2 apresenta uma orientação para interpretação da capacidade do processo.

Quadro 2 - Interpretação da capacidade do processo.

Cp ou Cpk	Conceito/Interpretação
Maior que 1,33	CAPAZ – Confiável, os operadores do processo exercem completo controle sobre o mesmo, pode-se utilizar o pré-controle.
Entre 1 e 1,33	RELATIVAMENTE CAPAZ – Relativamente confiável, os operadores do processo exercem controle sobre as operações, mas o controle da qualidade deve monitorar e fornecer informações para evitar a deterioração do processo.
Entre 0,75 e 0,99	INCAPAZ – Pouco confiável, requer controle contínuo das operações, pela fabricação e pelo controle da qualidade, visando evitar descontroles e perdas devido a refugos, retrabalhos, paralisações, etc.

Menor que 0,75	TOTALMENTE INCAPAZ – O processo não tem condições de atender às especificações ou padrões, por isso, é requerido o controle, revisão e seleção de 100% das peças, produtos ou resultados.
----------------	---

Fonte: Toledo e Alliprandini (2004)

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, a revisão bibliográfica é uma investigação de natureza teórica das ferramentas da qualidade aplicada a indústria de alimentos, com ênfase no controle estatístico de processo (CEP).

O levantamento científico foi realizado por meio do processo de pesquisa em bibliotecas e bases de dados: plataforma SciELO (*Scientific Eletronic Library Online*) , Google Acadêmico, periódicos (Portal da CAPES), plataforma *Science.gov* e portal *ScienceResearch.com*. Os termos utilizados para busca foram: engenharia; ciências exatas e da terra; e graduação, utilizando as seguintes palavras-chave na ferramenta de pesquisa “controle estatístico do processo em indústrias de alimentos”, “controle estatístico de qualidade em indústrias” e “ferramentas da qualidade”, para a especificação de idioma foram utilizados os termos em idiomas português, inglês e espanhol, sem determinação de ano e localização. Vários artigos foram encontrados, porém, os únicos com critérios de seleção válidos foram aqueles que tiveram a aplicação do controle estatístico de processo em indústrias alimentícias.

Após o levantamento científico na plataforma de dados, foi realizada a identificação dos pontos críticos do processo, avaliando melhorias e dificuldades na aplicabilidade das ferramentas da qualidade dentro do processo industrial.

Finalmente, baseado no referencial teórico e nos dados coletados ao longo da pesquisa, elaborou-se uma análise, comparando a estabilidade e a capacidade dos processos antes e depois da implantação do CEP, além do uso das ações corretivas.

A revisão deste trabalho buscou avaliar se a aplicação dessa ferramenta é válida para prevenir a formação de defeitos ou não conformidades nos produtos acabados em indústrias alimentícias, conferindo se é uma estratégia preventiva de controle da qualidade (WERKEMA, 1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Contexto de aplicação do CEP nas indústrias de alimentos

Dentre os artigos obtidos, a maioria buscava responder perguntas comuns colocadas pelos gestores como: “Os motivos comuns que levam à intenção de aplicar o CEP?” “E quais eram os desafios e limitações esperados da implementação do CEP?”. No entanto, a principal vantagem de se utilizar a revisão sistemática é o processo de revisão estruturado e transparente para futuras pesquisas sobre esse tema.

Nos últimos anos, o CEP foi integrado com outros programas de qualidade, como Seis Sigma, tornando-se uma filosofia fundamental dentro das principais corporações do mundo (GUPTA & SHARMA, 2011). No entanto, o número de artigos nessa área de estudo continua relativamente baixo quando comparado a outros métodos e ferramentas de melhoria de processos em outros segmentos industriais. A estratégia de busca relatada no método rendeu um total de 33 artigos abrangendo dois domínios de estudos: a indústria de alimentos e a aplicação do CEP, cujos principais aspectos de cada estudo foi estruturado na Tabela 1 (no ANEXO). (DELLIFRAINE, LANGABEER, & NEMBHARD, 2010).

A revisão da aplicação do controle do processo apontou diversos problemas de causas especiais que sempre ocorriam em diversos setores das indústrias em análise. No anexo 1 está fixado algumas referências que avaliaram a aplicação do CEP na indústria de alimentos.

4.2 Estudos de caso na indústria de alimentos

Serão divididos os trabalhos apresentados por áreas de produção da indústria de alimentos, sendo elas: leites e derivados, produtos cárneos e ovos, guloseimas, frutas, legumes e verduras, bebidas, massas e açúcares e *fast food*.

Leites e derivados

A indústria de laticínios, até pouco tempo atrás, estava à margem de outras indústrias no que diz respeito aos programas de qualidade. Dentre as diversas características do leite colocado à disposição do consumidor no mercado e que devem ser mantidas sob um rigoroso controle estão as especificações a respeito da composição do leite, desempenho do processo, parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do produto, características sensoriais e cumprimento da legislação. Dentre as avaliações da aplicação do CEP em indústria de leites e

derivadas realizadas nessa revisão, foram avaliados os seguintes segmentos, composição do leite que chega no laticínio, desempenho do processo, parâmetros microbiológicos que geram contaminação, desperdícios de embalagem no processamento de leite e monitoramento do peso de médio de sorvete.

O leite definido como cru refrigerado era recolhido da propriedade rural, oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas saudáveis, bem alimentadas e descansadas, refrigerado e mantido nas temperaturas constantes, transportado em carro-tanque isotérmico da propriedade rural para um posto de refrigeração de leite ou estabelecimento industrial adequado, para ser processado, deve apresentar aspecto líquido branco, opalescente e homogêneo, além de sabor e odor característicos. Não devem conter neutralizantes de acidez e reconstituintes de densidade, muito menos resíduos de antibióticos e de outros agentes inibidores do crescimento microbiano. Segundo Caruso e Oliveira (1996), o leite deve seguir os requisitos físicos, químicos, microbiológicos, de contagem de células somáticas e de resíduos químicos.

Souza et al. (2014) avaliaram a aplicação das cartas de controle por variável da média (\bar{x}) e amplitude (R) em análises físico-químicas de leite cru refrigerado recebido por um laticínio. São vários os parâmetros analisados diariamente na indústria, porém o trabalho avaliou somente os teores de gordura, proteína, acidez, alizarol e extrato seco desengordurado (ESD), seguindo a regulamentação da Instrução Normativa 62/2011 (IN 62) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2011). Após as análises dos parâmetros, utilizou-se o tratamento dos dados pelo CEP, empregando as cartas de controle por variáveis X e R para avaliar a conformidade do processo. Segundo os autores, a pesquisa foi eficiente para determinar um descontrole do processo, porém incapaz de encontrar a causa da inconformidade. Dentre as análises de extrato sólido desengordurado (ESD), alizarol, acidez, gordura e proteínas, apenas ESD manteve seus resultados dentro dos limites de controle estatístico, ao passo que os testes de gordura e proteínas apresentaram pontos abaixo da média no gráfico, justificados pelas causas aleatórias do processo. Enquanto para os demais testes, alizarol e acidez, tiveram seus índices completamente fora de controle e os autores recomendaram um novo estudo com a aplicação de outras ferramentas da qualidade como *brainstorming*, diagrama de *Ishikawa* e estratificação, visando uma investigação de toda a cadeia de produção do leite desde o manejo, as condições de higiene das instalações das salas de ordenha até as condições de transporte, equipamentos de medição e manuseio da matéria-prima. Todo esse cuidado buscou garantir que o leite chegasse ao laticínio dentro dos padrões estabelecidos por legislação.

Dotti e Bagetti (2013) avaliaram a aplicação do gráfico de Pareto para a identificação dos desperdícios em embalagens de leite UHT, e constataram o que gerava as possíveis situações de desperdícios e prejuízos. A indústria em estudo possuía um setor de envase com máquinas da linha 1 até a linha 10. Porém as análises foram realizadas da linha 3 até a linha 8 em que se realizava um processo com máquinas com o mesmo modelo. Os autores plotaram gráficos de barras buscando comparar a quantidade de produção de embalagens, quantidade de desperdício de embalagens e percentuais de perdas. Através das análises dos gráficos, verificaram que a média de perdas na máquina 8 foi a que demonstrou o maior desperdício, apresentando 0,76% de perdas de embalagens, devido aos problemas da máquina e na linha de produção. Na avaliação da quantidade de produção, essa máquina apresentou a menor produção de embalagens, o que confirmou que o desperdício de embalagens era diretamente proporcional à quantidade de paradas. A cada nova partida da máquina eram descartadas automaticamente cerca de 48 embalagens. Com a verificação da linha de produção que gerava os desperdícios, os autores coletaram dados dessa linha, com o objetivo de confirmar que o motivo dos desperdícios. Fizeram o Gráfico de Pareto afim de verificar os motivos das paradas na linha, e conseguiram provar que a maioria das paradas na linha 8 era proveniente da máquina de envase. Com a análise dos gráficos e a aplicação dos gráficos de Pareto ou autores identificaram as causas do problema e as possíveis aplicações de melhoria.

Silva (1999) analisou a aplicação das ferramentas da qualidade em um laticínio que produz leite pasteurizado do tipo B e C. Essa classificação não é mais utilizada atualmente, entretanto, segundo Brandão e Reis (1996) a classificação do leite estava vinculada ao ambiente em que se procedia a ordenha, no Brasil existiam oficialmente três tipos de leite: A, B e C; sendo que as diferenças que distinguiam estes tipos de leite estavam no tipo de rebanho, ordenha, processo de obtenção e número de bactérias presentes após pasteurização. Na tentativa de garantir um produto de qualidade Silva (1999) avaliou a aplicação das cartas de controle do gráfico da média e do desvio padrão, amplitude e somas acumuladas nas etapas de produção consideradas mais importantes sendo estas pasteurização, desnatadeira e embaladeira, afim de garantir que o peso das embalagens, o percentual de gordura e a temperatura do pasteurizador, estivessem dentro dos padrões da empresa. As abordagens das cartas utilizada para cada característica de qualidade selecionada foram baseadas no tipo de processo investigado, unidade de medida das variáveis e grau de desvio apresentado pelo conjunto de dados. A metodologia aplicada para as variáveis peso dos sacos de leite e percentual de gordura utilizaram as cartas média e desvio padrão e ainda a carta da amplitude (R), com a finalidade de comparar com a carta do desvio padrão e verificar se a variabilidade do processo se

apresentava da mesma maneira. Para o controle da temperatura, a carta selecionada foi a de Somas Acumuladas (CUSUM). Em todos os gráficos de controle, o autor detectou falhas nas etapas do processo produtivo, demonstrando assim uma fragilidade muito grande no que diz respeito a garantia de qualidade dos produtos. Uma avaliação mais apurada dos pontos assinalados pelas cartas apontou diversos problemas de causas especiais, que ocorriam sempre, mas que até então não tinham sido identificados. Dentre as causas destacadas pelo autor destacam-se para os problemas da variação de peso das embalagens as provenientes da instabilidade do processo, falta de comunicação entre os operadores e intensos ajustes feitos no equipamento; na etapa de pasteurização o autor relatou que a temperatura que o leite chegava à plataforma era o que mais interferia na temperatura de pasteurização final do leite, e gerava risco ao produto, pois esta etapa é responsável pela destruição dos microrganismos patogênicos; e por fim na análise de gordura o comportamento dos dados nas cartas demonstraram que apesar de não apresentar pontos discrepantes além dos limites de controle, o processo apresentava uma instabilidade muito grande.

Os resultados apresentados neste estudo demonstraram que foi proposto aos funcionários uma maior atenção, disciplina e controle nas atividades realizadas no dia-a-dia, visto que foram possíveis a identificação de pequenos, mas importantes erros cometidos pelos mesmos na rotina de trabalho e que poderiam ser solucionados com uma boa orientação e mudança de comportamento. Foi abordada também a necessidade da implantação do sistema ISO-9000, buscando obtenção de maior credibilidade junto aos mercados nacional e internacional. O autor concluiu a partir desse estudo que todas as cartas foram muito eficientes na detecção de problemas no processo investigado.

Takahashi et al. (2012), avaliaram a aplicação das cartas de controle da média, desvio padrão e amplitude móvel como ferramenta de identificação de variações não naturais na qualidade do leite. Os parâmetros foram avaliados segundo os aspectos higiênico-sanitários, como a contagem bacteriana total (CBT) e a contagem de células somáticas (CCS) porque influenciavam o rendimento e o tempo de prateleira de derivados lácteos, e são análises utilizadas como base para a precificação e aceitação no mercado (BERRY et al., 2006; SHUKKEN et al., 2003). Para a aplicação do CEP, foi necessário fazer uma transformação de dados para a contagem de células somáticas (CCS) e contagem bacteriana total (CBT). Os dados de CCS (10^3 céls./ mL) foram transformados utilizando-se a escala logarítmica para escore de células somáticas (ECS), em que $ECS = \log_2 (CCS/100) + 3$ (ANDRADE, 2007). Já para os dados de CBT (10^3 ufc/ mL), a transformação utilizada foi a $tCBT = \log_{10} (CBT+0,5)$ (BRITO, BRITO & VERNEQUE, 2000). Segundo os autores, essas transformações foram realizadas

para plotar os gráficos de controle, pois as informações de interesse deveriam ser normalmente distribuídas, uma vez que a não normalidade afeta os limites dos gráficos (MONTGOMERY, 2004). Foram avaliados os efeitos naturais, como a época do ano e o volume de leite produzido, sobre a variabilidade de ECS e tCBT. Os gráficos de controle utilizaram dados de quatro fazendas, designadas A, B, C e D, para que fossem exemplificados os vários tipos de cenários possíveis. A fazenda A manteve-se controlada durante todo o período avaliado, já a fazenda B o processo estava fora de controle, apresentando maior variação no ECS durante o verão e a primavera, ocasionado pela presença de mastite nos rebanhos, falta de rotina na ordenha, equipamento de ordenha desregulado e falta de higiene, a fazenda C manteve-se controlada durante todo o período, sofrendo maiores alterações em seus limites de controle principalmente no verão e na primavera, na fazenda D o processo estava fora de controle, apresentando um padrão de comportamento não aleatório. O descontrole pode estar relacionado a deficiências na refrigeração e armazenamento do leite, problemas de limpeza de equipamentos e falhas na higiene da ordenha. A aplicação do CEP no monitoramento dos setores da fazenda (nutrição, cria, reprodução e ordenha) permitiram ao produtor, e à indústria, identificar fatores responsáveis pela queda na qualidade do leite.

Melo (2004) analisou a aplicação e utilização das cartas de controle da média e amplitude, avaliando o peso do sorvete napolitano em embalagens de 2L. A metodologia utilizada constituiu em construir gráficos de controle da média, definindo as linhas superior e inferior de controle, bem como a linha de controle de especificação, baseada em legislação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O valor do limite inferior de especificação (LIE) foi estabelecido de acordo com as normas do INMETRO (Portaria de no. 74 de 25/05/1995) da seguinte forma: para um conteúdo nominal da amostra variando entre 1000g a 10.000g tem-se uma tolerância individual de 1,5g. Ou seja, para uma amostra com peso nominal de 1000g o peso mínimo permitido é de 985g. Após a coleta e análise dos dados, foram plotados os gráficos da média, a autora observou nos gráficos que em todos os dias que foram feitas as coletas das amostras o processo estava fora de controle. O excesso de peso foi justificado pela falta de treinamento dos colaboradores (tanto na regulagem das máquinas, quanto na retirada dos potes contendo sorvete), pois o envase era feito de forma manual; devido ao fato da calda do sorvete apresentar-se, algumas vezes, ainda quente no momento da sua utilização, fazendo com que o produto apresente variação na densidade, e influencie no volume e conseqüentemente no maior peso; e também pela falta de manutenção dos equipamentos e instrumentos de pesagem que poderiam estar descalibrados. A aplicação

da carta de controle da média, se mostrou eficiente no monitoramento do processo, porém a autora recomenda um estudo mais abrangente, para encontrar a causa da oscilação.

Carnes e ovos

Turcato, Klidzio e Antonello (2008) aplicaram as ferramentas do gráfico de controle para variáveis, média e da amplitude, para avaliar a temperatura do fumeiro na defumação de salames. Essa etapa é considerada importante, pois produtos defumados e ou cozidos devem seguir rigorosamente as temperaturas do processo, inclusive as temperaturas “internas” do produto para que o cozimento seja completo, conferindo ao mesmo cheiro e odor característicos, além de um maior prazo de vida comercial por desidratação parcial. Os autores relataram que havia variações elevadas na temperatura durante o processo de defumação e por isso havia a necessidade de controle desse processo. Os limites superior e inferior de controle do gráfico da média obtidos pelos autores foram aproximadamente 44,7 e 32,3, respectivamente, e no gráfico é possível observar muitos pontos fora dos limites de controle, o que também ocorreu para o gráfico da amplitude. De acordo com os autores, a sugestão para o retorno de processo a normalidade, ou seja, evitar variações bruscas de temperatura, seria a instalação de um sensor de temperatura que avisasse os momentos em que este parâmetro estivesse fora do padrão estabelecido pela empresa.

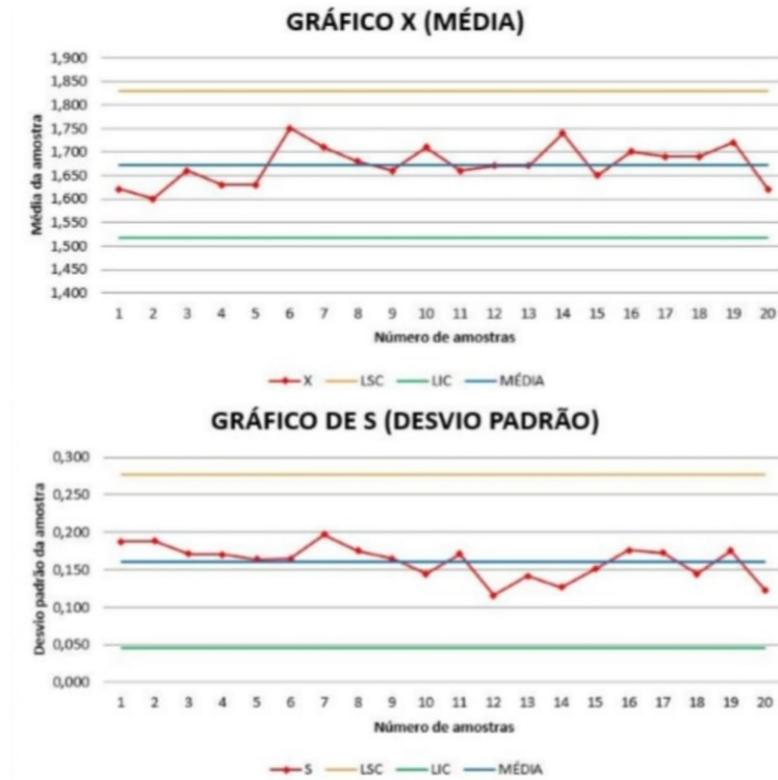
No trabalho de Ferreira, Júnior e Militani (2011), o processo de resfriamento de aves foi avaliado com auxílio da aplicação das cartas de controle da média e da amplitude. A temperatura de resfriamento das câmaras frias não era monitorada, causando um descontrole na produção e resultando em danos não apenas à qualidade físico-química e microbiológica do produto final, mas também gerando desconformidades com a legislação. A partir do monitoramento da temperatura de resfriamento e da construção dos gráficos de média e amplitude os autores puderam de fato observar que o processo estava fora dos limites de controle (muito pontos excedendo os limites de controle) e inclusive os dados mostravam que estavam fora dos limites de especificação da legislação (0°C a 4°C). Alguns pontos do gráfico da média chegaram a apresentar temperaturas próximas as 10°C. Após essa análise, os autores retornaram a empresa onde os colaboradores os informaram de que em alguns dos dias utilizados na análise a câmara fria esteve vazia, gerando dados inúteis para análise. Diante disso, os autores resolveram descartar esses dados e realizar novas análises, que novas análises foram feitas as quais mostraram menor variabilidade, mas ainda com pontos fora dos limites de controles, porém dentro das especificações da legislação. Os autores ainda destacam na conclusão que provavelmente existem outras fontes detectáveis gerando variabilidade

indesejada e o processo pode ser melhorado para que atenda às exigências fitossanitárias e de segurança alimentar.

Srikaeo e Hourigan (2002), aplicaram o uso das ferramentas da qualidade APPCC e cartas de controle em uma indústria de lavagem de ovos. Com a APPCC e conseqüentemente um fluxograma do processo bem desenhado, os autores determinaram os pontos críticos que causavam o descontrole do processo sendo estes: pH da água, temperatura da água de lavagem e do enxague e o nível de cloro. A avaliação, aplicando as cartas de controle de teste a todos os dados coletados durante o período, mostrou que o processo não estava sob controle. Após a investigação, foi sugerido um pré-controle na água de lavagem garantindo que o processo estivesse dentro dos padrões exigido pela empresa. Os resultados foram positivos, uma vez que a aplicação do CEP foi válida, melhorando o controle de segurança alimentar, os custos, a satisfação dos clientes e a recuperação da imagem da empresa.

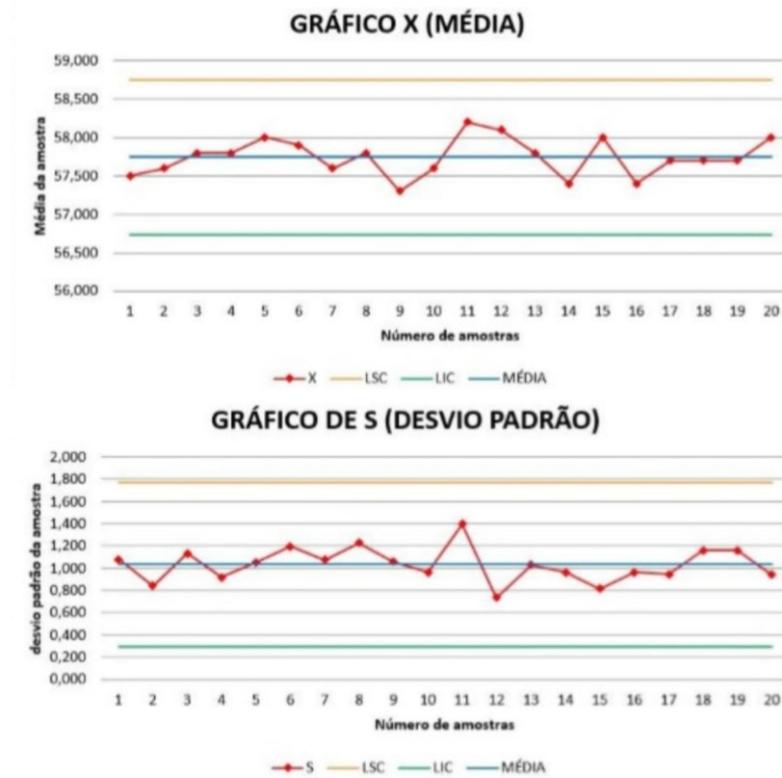
Azevedo (2017) estudou a produção de bandejas de ovos, avaliando parâmetros como peso, espessura e número de bandejas de ovos não conformes através da aplicação dos gráficos de controle da média e desvio-padrão, e gráfico de número de não-conformes (Np), ferramentas *Ishikawa* e aplicação do 5W2H. Com a aplicação dos gráficos da média e desvio padrão os autores observaram que não houve comportamento tendencioso dos pontos, como sequência de pontos crescentes ou decrescentes, também não foram observados pontos localizados acima do LSC ou abaixo do LIC como apresentado na Figura 17:

Figura 17- Gráfico da média e desvio padrão para espessura em embalagens de ovos



Fonte: Azevedo (2017)

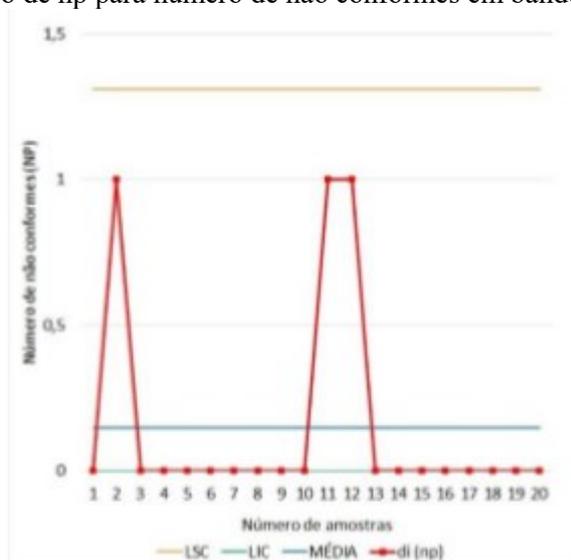
Figura 18 - Gráfico da média e desvio padrão para peso em embalagens de ovos



Fonte: Azevedo (2017)

Os autores perceberam através dos gráficos que não houveram pontos fora dos limites de especificação, o processo para avaliação de espessura e peso não apresentou causas especiais, sendo considerado estável. Em seguida avaliaram a capacidade do processo, e os resultados encontrados foram positivos para peso, porém para a espessura os resultados mostraram que o processo era incapaz. Para avaliação de bandejas não conformes foi plotado o gráfico de np, e os autores observaram que o gráfico apresentou apenas três pontos considerados de pico e os três encontravam-se dentro dos limites de especificação, conforme pode ser observado na Figura 19, sendo assim, esse processo não possui a atuação de causas especiais e é considerado estável.

Figura 19- Gráfico de np para número de não conformes em bandejas de ovos



Fonte: Azevedo (2017)

A ferramenta *Ishikawa* associada ao *Brainstorming* foi utilizada para levantamento das possíveis causas que levavam à incapacidade do processo para atender a espessura das caixas para posteriormente, sugerir por meio de um plano ação 5W2H possíveis ações de melhorias. Com essas melhorias através do CEP e das ferramentas da qualidade, os autores concluíram que foi possível notar e solucionar as falhas do processo que antes passavam despercebidos.

Dalgic et al. (2011) aplicaram as ferramentas Folhas de verificação, Diagramas de causa e efeito, Histogramas, Gráficos de Pareto, Cartas de controle de processo da média e amplitude e Análise de falha e efeito, visando avaliar os índices de umidade, alteração de pH, sabor, textura e salinidade no processo de produção de salsicha. Com as folhas de verificação os autores fizeram coleta dos dados. Através da análise dos gráficos de Pareto, foi identificado que os problemas prioritários das queixas dos clientes era sabor fora do padrão, rançoso, mau gosto,

inconsistência de textura, produto gorduroso, salgados, sem sal, produto quebradiço, e abertura das embalagens. Após a identificação dos problemas prioritários, foi realizado um histograma com a apresentação dos problemas em ordem decrescente. Em seguida foi analisado os gráficos de controle verificando que o processo estava dentro do padrão. As análises dos parâmetros de segurança e qualidade da produção tradicional de salsicha, descreveu e delineou os perigos de entrada em cada estágio do processo, partindo desde a matérias-primas até o produto final. Segundo os autores, a aplicação de todas as ferramentas foi válida, para garantir a qualidade do produto.

Guloseimas

Daminelli (2013) estudou a aplicação do controle estatístico na produção de biscoitos ou bolachas obtidas pela mistura de farinhas, amidos e/ou féculas com outros ingredientes submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não, podendo apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos. O pesquisador avaliou também a eficiência do uso do diagrama de *Ishikawa*, gráfico de controle da média (X), amplitude (R) e desvio padrão (σ) na oscilação de peso da embaladeira. O uso das cartas de controle da média, desvio padrão e amplitude para monitoramento do peso dos biscoitos apresentou todos os pontos dentro dos limites estabelecidos no gráfico. Segundo o autor, o processo manteve-se estável, porém incapaz de atender às especificações, pois o índice de capacidade calculado apresentou um resultado menor que um ($C_p=0,491$).

Concluiu-se, pois, que o processo não atendeu às especificações determinadas pela legislação e/ou pela empresa e sugeriram readequar a média e os limites de controle do processo, pois estavam produzindo biscoitos com quantidade maior que o determinado no pacote, tendo conseqüentes perdas para a empresa. Utilizaram a ferramenta diagrama de *Ishikawa* para determinar as causas da oscilação do peso nos biscoitos. Observaram que a variação acontecia devido ao fato de todo o processo produtivo ser dependente do trabalho manual e a farinha de trigo, principal ingrediente, conter alguns produtos misturados, além da umidade e temperatura no ambiente, falhas na aferição da balança e regulagem da máquina de laminação, interferindo diretamente no peso do biscoito.

Após o uso do diagrama de *Ishikawa*, sugeriram algumas ações corretivas como: implantação de um sistema de controle mensal da regulagem dos equipamentos e aferição das balanças, processo em que a equipe de manutenção seria responsável, demonstrando aos órgãos legais a preocupação da empresa em atender as normas vigentes; responsabilização de um gestor pelo monitoramento, qualidade e treinamento do serviço de mão de obra, visando

implantação de períodos de descanso e ginásticas laborais; e instalação de um higrômetro que permitisse melhor controle do nível de umidade dentro da sala de produção e almoxarifado, o que possibilitaria a homogeneidade das matérias-primas e evitaria consequências no processo, visto que a umidade do ar é um dos pontos principais que afetam no peso dos biscoitos.

Leite (2015) avaliou a oscilação de peso em biscoitos tipo cookie, inicialmente, foi necessário verificar o tipo de gráfico apropriado para avaliar o peso do produto. Foram desenvolvidas então carta de controle de média e amplitude. Depois de calculados os limites de controle, foi feita uma apresentação gráfica do processo. Com a análise dos gráficos, pode-se perceber que em algumas amostras existia pontos abaixo ou acima dos limites de controle, uma causa especial estava gerando a variabilidade no processo. Uma das principais metas da empresa é reduzir custos com problemas de peso e perdas. Desta forma, o departamento de controle de qualidade definiu um limite inferior de controle de 31,5g e um limite superior de controle de 33g. Após a implantação do controle estatístico do processo na indústria de biscoitos, o autor percebeu que em alguns momentos surgiram pontos que ultrapassaram os limites de controle. Com o monitoramento do processo, no momento em que um ponto aparecia fora dos limites, o operador imediatamente verificava a causa do problema em busca de soluções para que o processo voltasse ao normal. Com a implantação desta metodologia, a indústria conseguiu atingir o objetivo de controle de peso, por meio do controle estatístico do processo. O resultado alcançado permitiu uma economia mensal de 10% para a indústria, em torno de R\$7.000,00 somente com o controle de peso no processo de embalagem dos biscoitos cookies.

Frutas, legumes e verduras

De acordo com Santos (2017) o processo de industrialização de legumes em conserva apresenta uma grande variabilidade no peso final dos produtos, devido à própria natureza da matéria prima utilizada. Os legumes utilizados não apresentam uniformidade de volume e peso, dificultando o controle final de qualidade e o atendimento às normas legais. Este fato encarece o produto final e gera perdas, pois para evitar infrações às normas, as empresas costumam acrescentar legumes além do necessário (MALDONADE, 2009). Em um processo de produção de conserva de pepino Santos (2017) avaliou a variabilidade de peso, através da aplicação das ferramentas da qualidade. Com o levantamento dos dados, foram desenvolvidos gráficos da média, amplitude e desvio padrão, e verificou-se pela análise dos gráficos que todos os pontos estavam dentro dos limites de controle, comprovando que o processo era estável. Porém, na análise de capacidade do processo foi verificado que o processo não era capaz de atender às

especificações da empresa. A média obtida apresentou um valor 318.195 gramas, e o valor nominal é 300 gramas por embalagem, foi verificado que a média estava deslocada para cima. Esta incapacidade demonstrou que o processo não atendia às especificações determinadas pela legislação ou pela empresa. Dessa maneira, o autor concluiu por meio dessa investigação que o produtor teria que readequar sua produção, pois era envasado um volume de pepinos acima do padrão especificado, gerando para empresa um prejuízo anual de aproximadamente R\$ 72.600,00. O cliente recebia um produto com excesso de peso pelo mesmo preço, sem perceber os benefícios disto. Com a aplicação do CEP, a empresa conseguiu elaborar ações de melhoria, e detectar problemas como balanças mal aferidas, treinamento inadequado dos funcionários, falta de padronização das atividades e melhorias no ambiente de trabalho.

Em uma empresa de polpa de frutas, foi avaliado o monitoramento do peso médio do produto final por meio da aplicação das cartas de controle da amplitude e da média, bem como o diagrama de *Ishikawa* (Rosário, Dantas e Oeiras, 2015). Os autores avaliaram, por meio dos gráficos da média e amplitude, que os pesos das polpas de frutas estavam sob controle estatístico, porém todas as amostras analisadas foram produzidas com não conformidades. O peso da polpa estava fora das especificações da embalagem, pois era esperado o conteúdo de 1 kg e, contudo, nenhuma das amostras possuía esse valor. O processo estava sob controle, porém, antes da aplicação do CEP, foi observado, nos gráficos de controle, um resultado próximo do limite de especificação superior. Perante esta análise, os autores fizeram um estudo para melhor conhecimento das amostras que se encontravam fora dos limites, mapeando as possíveis causas dos desvios existentes por meio do diagrama de *Ishikawa*. Para a elaboração do diagrama de *Ishikawa*, realizou-se um *brainstorming* entre os funcionários e os realizadores da pesquisa, chegando-se às seguintes conclusões: devido a empresa ser de pequeno porte, parte do processo era feito manualmente, o que contribuía significativamente para grandes desvios observados no peso especificado para o produto final; notou-se também um baixo grau de padronização no processo, número de funcionários insuficiente e falta de investimentos em seu treinamento; espaço de trabalho desorganizado, o que dificultava no desempenho das atividades ligadas ao processo. Após a detecção das causas, recalcularam-se os limites de controle e os limites superior e inferior das amplitudes das amostras que alcançaram, respectivamente, os novos valores. Concluiu-se que o gráfico de controle, associado ao diagrama de *Ishikawa*, foi eficiente para alcançar o objetivo da pesquisa, visto que a empresa teve conhecimento das perdas geradas pelo descontrole estatístico e pode-se verificar que a aplicação das medidas gerenciais corretivas ao processo aumentou a lucratividade da organização e a qualidade do produto final.

Bebidas

Mantelatto (2008) aplicou gráficos de controle da média e desvio padrão para avaliação parâmetros de umidade, lipídeos, cinzas, proteínas e sólidos solúveis, na produção de leite de soja, afim de identificar se a variabilidade era aceitável dentro dos padrões estabelecidos pela empresa. Na Legislação vigente do Brasil não há obrigatoriedade para valores de proteína, lipídeos, sólidos solúveis, umidade e cinzas específicos para soja e para seus derivados, porém a empresa em análise, estabeleceu padrões que eram utilizados como parâmetro de monitoramento. O autor observou que os valores das análises extrapolaram os limites permitidos pela empresa. Assim, obrigatoriamente o produto estava fora de especificação, ou seja, apresentou falhas em determinados pontos do processo. Muitos dos parâmetros analisados no produto apresentaram, nos gráficos de média, fora dos limites de controle. Em alguns casos, encontrando-se causas, foram eliminados os pontos fora dos limites e novos limites foram recalculados. Com esse estudo, o autor verificou que a ferramenta controle estatístico de processo não havia sido utilizada ainda no processo de fabricação do leite de soja, mostrando-se bastante importante para identificar possíveis erros durante a fabricação refletindo assim no produto acabado.

Com a intenção de implantar gráficos de Pareto, gráficos de controle da média e amplitude e diagrama de *Ishikawa*, Marino (2014) avaliou o monitoramento de peso no processo de produção de suco em pó, com o objetivo de melhorar a produção. Para a escolha da variável a ser investigada, o autor utilizou a ferramenta gráfico de Pareto, onde foi observada a necessidade de melhorias na linha de produção de suco em pó diet/light. O primeiro passo do estudo foi a análise do processo de fabricação do refresco, desde sua pesagem, mistura, envase até chegarmos a estocagem do mesmo. Com esta análise minuciosa, o autor conseguiu entender e visualizar todas as etapas e o processo como um todo. Tendo o conhecimento do processo, começaram então as coletas das amostras de peso, para então se utilizar das ferramentas da Qualidade. Posteriormente, foram construídos os Gráficos de Controle da Média e Amplitude para a análise dos pesos do processo. Com a ajuda desta ferramenta foi possível observar os pontos fora de controle, a estabilidade e as médias das 3 pistas de envase do produto. Após a descoberta da instabilidade e das altas médias do processo, Marino (2004) utilizou então o Diagrama de *Ishikawa* para a descoberta das causas especiais que estavam interferindo no processo. As ações foram tomadas, os limites e as médias foram abaixados, e para que não se tivesse problemas futuros, foi realizada uma análise dos pesos segundo a legislação (INMETRO), tanto para o critério das médias quando para os pesos individuais. Por último, foram propostas para a empresa algumas sugestões de melhorias para os problemas encontrados

na produção de refresco em pacotes de 8g, através da ferramenta 5W1H, e assim a empresa conquistou qualidade na produção dos seus produtos. Foi sugerido aplicar o estudo e a utilização dessas ferramentas em outras linhas, visando gerar resultados positivo em todo o processo.

Bridi (2013) analisou a incorporação de oxigênio na cerveja, desde o envio da cerveja pelo processo de fabricação até o envasamento na garrafa pela empresa de bebidas estudada. A fim de buscar pontos de melhoria, analisa-los e sugerir um plano de ação que fosse capaz de solucionar os pontos levantados. Para avaliação do estudo o autor aplicou as ferramentas Ciclo PDCA, gráfico de *Ishikawa*, ferramentas de Controle Estatístico do Processo e gráfico de Pareto. Inicialmente foram definidas as metas de melhorias que seriam tratadas através da metodologia do PDCA. Na etapa de planejamento (P) foram utilizadas carta de controle de média para cada máquina envasadora. Para cada ponto fora do limite de especificação foi realizado um relato de anomalia, utilizado para chegar na possível causa fundamental, e criar ações para eliminar a causa. Os relatos de anomalia foram levados para as reuniões quinzenais com o objetivo de analisa-los e alimentar o plano de ação do PDCA. Na primeira etapa do ciclo, de planejamento, P (*Plan*) ou autor relata o uso de diversas ferramentas, como a estratificação por meio de um gráfico de Pareto entre linhas, com o objetivo de levantar as causas que realmente impactavam na meta proposta e bloqueá-las. Além disso, foi utilizado também o diagrama de *Ishikawa*, para análise de cada problema. Na segunda etapa do PDCA, que é a etapa de execução (*Do*) executou-se o plano de ação com o objetivo de bloquear as causas do problema. A execução deste plano teve acompanhamento efetivo, através das reuniões quinzenais, verificando o andamento e as dificuldades de cada ação do plano. Na terceira etapa do ciclo PCDA, etapa de verificação (*z*) foi avaliada a eficácia das ações durante o processo. Foram gerados os gráficos das médias e das amplitudes para analisar estatisticamente o comportamento do processo após a implantação do plano de ação. As três enchedoras apresentaram melhorias significativas. Na etapa de ação ou padronização (*Act*), última etapa do ciclo, procurou-se padronizar as ações que foram efetivas e planejar novos planos de ação e consequentemente elaboração de outros ciclos PDCA, a fim de prevenir a repetição dos efeitos indesejados.

Massas e açúcares

Para Scaratti e Silva (2010), o ensaque é um ponto preocupante na produção de farinha integral de soja micronizada e no trabalho desses autores foi avaliado que essa etapa do processo apresentava excesso de peso nas embalagens. Na busca por melhorias, os gestores optaram por

utilizar algumas ferramentas da qualidade, como o gráfico de controle estatístico, gráfico da média, histograma e índice de capacidade. O processo estava sob controle, porém, antes da implantação do CEP, foi observado um resultado próximo do limite de especificação superior nos gráficos de controle. Assim que a ferramenta foi aplicada, o peso ficou abaixo da média por alguns meses, porém, após um determinado tempo de aplicação das ferramentas, o processo atingiu a média desejada. Os resultados foram positivos, pois, estatisticamente, o índice de capacidade aumentou 7,2% após a implementação do CEP. A média do peso de ensaque que era 25,04 kg passou a ser 25,00 kg, resultando em uma redução de R\$ 25.920,00 no custo de produção anual. Após um ano da implantação do CEP, verificaram que o processo estava estável e sem causas especiais.

Vilaça e Oliveira (2011) avaliou a estabilidade da linha de produção de massas para pastel, utilizando a ferramenta CEP com o intuito de padronizar a linha de produção aplicando os ajustes necessários para melhoria do rendimento e da qualidade do produto mantendo o processo estatisticamente estável. Para detecção dos possíveis problemas que gerava um produto final fora do padrão regulamentado pela legislação foi construído o diagrama de *Ishikawa*. Para o monitoramento do processo construiu-se cartas de controle de média, amplitude e desvio-padrão, para avaliar o controle de peso da massa de pastel 500g. O diagrama de *Ishikawa* apresentou pontos críticos do processo que deveriam ser trabalhados. No item “Métodos e Procedimentos”, foi relatado no trabalho que a higienização das mãos e antebraços dos colaboradores deveria ser mais rigorosa, uma vez que a produção ainda contava com muitas etapas manuais. No item “Pessoas” o autor relatou que era necessário um treinamento mais adequado para que a higienização fosse sempre respeitada, indicando os possíveis problemas que a má higienização e a falta dela poderiam causar nos consumidores dos produtos da marca. Na produção o ambiente era quente e mal iluminado o que causa cansaço visual e mal-estar entre os funcionários, sendo necessário mais exaustores e uma averiguação das luminárias, pois algumas encontravam-se queimadas. Com a análise dos gráficos de controle da média, amplitude e desvio padrão, foi verificado que todos os pontos estavam dentro dos limites de controle especificados, o que indicou que o processo se encontrava estável. Entretanto, na análise de capacidade o autor relatou que o processo não era capaz de atender às especificações e que o mesmo não estava centrado. A média encontrada foi de 505,95 gramas, deslocada para cima do valor nominal que era de 500 gramas. Para tornar o processo capaz foi necessário agir para trazer a média mais próxima do centro das especificações com ações para reduzir as variações. O processo deveria ser readequado pois eram produzidos pacotes com média de peso de 505,95 gramas, em vez de 500 gramas para o mercado. Isso implicava em prejuízo para a

empresa porque o cliente estava adquirindo um maior peso pelo mesmo preço. Através dos resultados obtidos os autores concluíram que apesar do processo estar estatisticamente estável, a empresa precisava analisar os procedimentos para readequar o peso do pacote de massa para pastel e assim melhorar os índices de capacidade.

Fast Food

Com o aumento do consumo de refeições rápidas, houve a necessidade de aumentar o volume disponível de refeições prontas. A preocupação com a qualidade e padronização destes alimentos tornou-se um diferencial para as empresas, alimentar-se bem não é apenas consumir uma refeição saborosa do ponto de vista do consumidor, mas ter a garantia de um alimento seguro com a quantidade correta (LEAL, 2010). As refeições rápidas, também chamadas de fast foods, podem incluir desde lanches rápidos como refeições completas que podem ser produzidas industrialmente ou por pequenos restaurantes.

Ferreira (2017) avaliou o monitoramento de peso em refeições quentes, denominadas marmitas, utilizando o Controle Estatístico de Processo (CEP), na etapa de pesagem. As ferramentas da qualidade utilizadas foram: folha de verificação, histograma e cartas de controle da média e amplitude e da média e desvio padrão para analisar e tratar os dados coletados. De acordo com o trabalho, a coleta de dados ocorreu por meio de uma folha de verificação, possibilitando identificar o histórico de vendas dos tipos (tamanhos) de marmitas e permitindo elaborar um histograma para identificação do tipo mais demandado, sendo a marmita denominada de tamanho médio a escolhida para a aplicação das técnicas. Os dados foram coletados durante dez dias, em horários estratégicos iniciando às 10:30 até 13:30 em intervalos de 1 hora. Com os dados da pesagem, foram elaborados gráficos de controle da média, amplitude e desvio padrão, e em seguida foi elaborado uma folha de verificação, conforme pode ser observado na Figura 20:

Figura 20- Folha de verificação da coleta de peso das marmitas de tamanho médio.

Horário de Coleta das Amostras								
Data	Amostras	10:30	11:30	12:30	13:30	\bar{X}	\bar{R}	\bar{S}
09/05/2017	1	785,18	798,67	807,00	793,61	796,11	21,82	9,11
10/05/2017	2	794,13	778,00	801,36	792,13	791,40	23,36	7,33
11/05/2017	3	788,64	798,00	796,25	787,18	792,51	10,82	4,19
12/05/2017	4	793,74	797,00	797,13	790,99	794,71	6,14	2,33
13/05/2017	5	797,85	795,69	795,58	793,25	795,59	4,6	6,20
14/05/2017	6	797,44	795,67	793,66	778,63	791,35	18,81	7,27
15/05/2017	7	801,22	802,13	796,99	794,32	798,66	7,81	2,97
16/05/2017	8	798,88	801,52	797,44	795,16	798,25	6,36	3,21
17/05/2017	9	801,55	803,13	795,47	795,19	798,83	7,94	3,44
18/05/2017	10	798,87	800,88	795,77	794,01	797,38	6,87	7,00
19/05/2017	11	815,03	795,16	793,36	800,11	800,91	21,67	9,83
Média das médias $\bar{\bar{X}}$						795,97		
Média das amplitudes \bar{R}							12,39	
Média dos desvios padrões \bar{S}								6,21

Fonte: Ferreira (2017)

Com o auxílio da folha de verificação, os autores, plotaram os gráficos de controle da média amplitude e desvio padrão e concluíram que o processo estava sob controle estatístico. A aplicação das ferramentas foi eficaz no monitoramento de peso, e foi sugerido pelos autores o aprofundamento das cartas de controle para os outros tipos (tamanhos) de marmitas do restaurante avaliado, além do monitoramento da temperatura das mesmas, uma vez que esta variável influencia na segurança do produto e na percepção do cliente quanto a qualidade do produto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreendeu-se, com essa pesquisa e por meio dos mais diferentes trabalhos analisados, que as técnicas de aplicação do controle estatístico de processo nas operações de fabricação de alimentos desempenham um papel importante de controle de qualidade e segurança nos estudos analisados. Em contraste com outras indústrias, a indústria de alimentos ainda apresenta baixos níveis de implementação do CEP. Entretanto, na maioria dos estudos em que essa ferramenta foi implementada, de forma isolada ou juntamente com as demais ferramentas da qualidade, verificou-se melhorias significativas nos processos produtivos. Dentre essas melhorias, destaca-se o uso mais efetivo das ações corretivas.

Por meio dessa revisão identificou-se que os benefícios mais citados nos trabalhos que utilizaram o CEP e as ferramentas da qualidade foram a redução da variação do processo, melhor controle da segurança alimentar, melhor conhecimento sobre a variação do processo e redução de custos. Por outro lado, os desafios mais citados nos trabalhos foram a falta de apoio administrativo, falta de conhecimento estatístico suficiente, o que gera receios quanto a ferramenta ou a errônea compreensão quando a sua complexidade, o custo com a implementação das ferramentas da qualidade e a resistência à mudança. Todos esses fatores, de modo geral, são comuns as organizações.

Os resultados desta revisão sugerem também que a maioria das empresas de alimentos implementou CEP por vontade própria, experimentando uma maior extensão de vantagens; mas quando implementado como um mecanismo de defesa contra as auditorias e para cumprir a legislação alimentar, foram mais propensos a fornecer apenas melhorias de curto prazo e restringir o sucesso a longo prazo conforme destacado nos trabalhos de Vilaça e Oliveira (2011) e Ferreira (2017). Geralmente a falta de conhecimento claro e profundo sobre as ferramentas pode resultar apenas no seu uso quando obrigatório, levando a uma mudança pontual e não efetiva (de longo prazo).

Por fim, espera-se que as vantagens do uso das ferramentas da qualidade sejam mais evidenciados, considerando que na sua grande maioria estas ferramentas são acessíveis aos usuários, para que as empresas consigam melhorar seus processos e serviços, atingindo a competitividade nos mercados internacionais.

REFERENCIAS

ACTION, Portal. **Distribuição Normal.** Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal>>. Acesso em: 11 jan. 2019

ANDRADE, L. M.; FARO, L. E.; CARDOSO, V. L.; ALBUQUERQUE, L. G. A.; CASSOLI, L. D.; MACHADO, P. F. Efeitos genéticos e de ambiente sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas em vacas holandesas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 2, p.343-349, 2007

ANDRADE, D. F.; OGLIARI, P. J. **Estatística para as Ciências Agrárias e Biológicas:** com noções de experimentação. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

AZEVEDO, Bárbara Dacal de. **CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE BANDEJAS DE OVOS.** 2017. 66 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2017.

BACKES, Juliana Andrea; PACHECO, Diego Augusto de Jesus. **Controle estatístico de processos: Análise de um processo de extrusão.** *Espacios*, Caracas, v. 38, n. 2, p.21-36, ago. 2016. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n02/a17v38n02p22.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018

BAETA, Rodrigo. **CONHEÇA OS PRINCIPAIS ERROS E DESAFIOS DE UMA GESTÃO DE PROJETOS.** 2017. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/projetos/conheca-principais-erros-desafios-de-gestao-deprojetos/>>. Acesso em: 6 jan. 2019.

BERRY, D. P.; O'BRIEN, B.; O'CALLAGHAN, K. O.; SULLIVAN, K. O.; MEANEY, W. J. Temporal trends in bulk tank somatic cell count and total bacterial count in Irish dairy herds during the past decade. *Journal of Dairy Science*, v. 89, n. 10, p. 4083-4093, 2006.

BRANDÃO, S. C. C.; REIS, J. S. J. Extinção dos Leites Tipo B e C: Utopia ou Necessidade Imperiosa?. **Revista Leite & Derivados.** n. 27, Março/Abril de 1996. pp. 52–56.

BRIDI, Luciano. **ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO EM UMA EMPRESA DE BEBIDAS.** Lages: Aprepo, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011. Aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite Tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado eo Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da União**, 2011.

BONILLA, J.A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura.** 2. ed. Contagem: Littera Maciel, 1995

BRITO, J. R. F.; BRITO, M. A. V. P.; VERNEQUE, R. S. **Contagem bacteriana da superfície de tetas de vacas submetidas a diferentes processos de higienização, incluindo a ordenha**

manual com participação do bezerro para estimular a descida do leite. Ciência Rural, v. 30, n. 5, p. 847-850, 2000.

CANTIDIO, Sandro. **Solução de Problemas com o uso do PDCA e das Ferramentas da Qualidade.** Disponível em: <<https://sandrocan.wordpress.com/2009/11/03/solucao-de-problemas-com-o-uso-do-pdca-e-das-ferramentas-da-qualidade/>>. Acesso em: 03 nov. 2009.

CARNEIRO NETO W. **Controle estatístico de processo CEP [CDROM].** Recife: UPE-POLI; 2003.

CARUSO, J. G. B.; OLIVEIRA, A. J. **Leite: obtenção e qualidade do produto fluido e derivados.** Piracicaba: FEALQ, 1996.

CÉSAR, F. I. G. **Ferramentas Básicas da Qualidade** – Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua. Editora Biblioteca 24 horas, 1ª edição, 2011.

CHAVES, J. B. P.; TEIXEIRA, M. A. **Controle estatístico de Qualidade** – inspeção por amostragem/ mapas de controle. DTA/UFV. Viçosa, MG: (s.n.), 1997. 162 p.

CHEN SC, CHEN KS, HSIA TC (2005). Promoting customer satisfactions by applying six sigma: An example from the automobile industry. Qual. Manage. J., 12(4): 21-33.

CORTIVO ZD. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo em sequências curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico.** [Dissertação] Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005.

COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K. e CARPINETTI, L.C.R. **Controle Estatístico de Qualidade.** Atlas, 2004

DALGIC ,, A. C., VARDIN, H., & BELIBA€ A€YLI, K. (2011). **IMPROVEMENT OF FOOD SAFETY AND QUALITY BY STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) IN FOOD PROCESSING SYSTEMS: A CASE STUDY OF TRADITIONAL SUCUK (SAUSAGE).** In Yukihiko Shoyama (Ed.), Processing, quality control of herbal medicines and related areas. InTech, ISBN 978-953-307-682-9.

DAMINELLI, L. M. **Análise do peso do biscoito laminado:** aplicação do controle estatístico do processo. 2013. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

DATALYZER. **Abordagem factual para tomada de decisão:** Cartas de Atributo u. 2004. Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info38/38.html>. Acesso em: 17 set. 2018

DELLIFRAINE, J.L; LAMGABEER, J.R.; NEMBHARD, I.M. **Assessing the evidence of Six Sigma and Lean in the health care industry.** *Quality Management in Healthcare*, v. 19, n. 3, p. 211-225, 2010.

DINIZ MG. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber; 2001. p.39-62.

DINIZ, Morgana Maia Couto. **CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA PRODUÇÃO DE LEITE UHT**. Disponível em: <www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/CONTROLE%20ESTATÍSTICO%20DO%20PROCESSO%20NA%20PRODUÇÃO%20DE%20LEITE%20UHT.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

DORA, M., KUMAR, M., VAN GOUBERGEN, D., MOLNAR, A., & GELLYNCK, X. (2013). **Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs**. Trends in Food Science & Technology, 31(2), 156e164.

DOTTI, D; BAGETTI, J. H. **Análise de causas de paradas em máquinas de envase de leite UHT**. In: XXX

III Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Salvador, BA, Anais, 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_013_21847.pdf>. Acesso em 22 dez. 2018

EDITH, I. N., & OCHUBIOJO, E. M. (2012). **Food quality control: history, present and future**. In Valdez. (Ed.), Scientific, health and social aspects of the food industry. InTech, ISBN 978-953-307-916-5. <http://dx.doi.org/10.5772/33151>

FERREIRA, E. B.; JÚNIOR, L. E.; MILITANI, M. V. B. Controle estatístico de processo no resfriamento de aves: um estudo de caso. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 9, n. 2, p. 119-128, 2011.

FERREIRA, João Lucas. Monitoramento do peso de refeições quentes: estudo de caso em um RESTAURANTE X. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7., 2017, Ponta Grossa. **Monitoramento do peso de refeições quentes: estudo de caso em um RESTAURANTE X**. Ponta Grossa: Aprepo, 2017. v. 7, p. 1 - 12.

GONÇALEZ, P.U. WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Revista Gestão e Produção**, v 16, n. 01, p 121-132, 2009.

GUPTA, M.; SHARMA, P.I. *Factor credentials boosting quality of work life of BSNL employees in Jammu region*. **Asia Pacific Journal of Research in Business Management**, v. 2, n. 1, p. 79-89, 2011.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. 11. ed. Tradução: Dario Ikuo Miyake, São Paulo: Editora Gente, 1993.

LEAL, D. Crescimento da Alimentação Fora do Domicílio. Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas. ESALQ/USP. Araçoiada da Serra -SP.2010.

LEITE, Suelen Jaqueline Silva. **APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE EMBALAGEM DE BISCOITOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**. 2015. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

LIM, Sarina Abdul Halim. **Statistical Process Control (SPC) in the food industry – A systematic review and future research agenda**. Trends In Food Science & Technology, Malasia, v. 37, n. 2, p.137-151, jun. 2014.

LUNING, P. A., & MARCELIS, W. J. (2006). **A techno-managerial approach in food quality management research**. Trends in Food Science & Technology, 17, 378e385.

MAGALHÃES, Juliano M. de. **As Sete Ferramentas da Qualidade**. 2014. Disponível em: <aprendersempre.org.br/arqs/9 - 7_ferramentas_qualidade.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2019.

MAGRI, Juliana Maria. **APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD NO SETOR DE SERVIÇOS: ESTUDO DE CASO EM UM RESTAURANTE**. 2009. 29 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

MALDONADE, I. (2009). **Pepinos em Conserva**. Revista Eletrônica Embrapa: Circulares Técnicas, 4 (72).

MANTELATTO, Maria Augusta Motta. **UTILIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NA UNIDADE DE PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE DERIVADOS DE SOJA**. 2008. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

MARINO, Eduardo Silva. **Estudo e Implantação do Controle Estatístico no Processo de Envase de Pó de Refresco em uma Indústria Alimentícia**. 2014. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

MELO, Karine Coelho de. **UTILIZAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE DE MÉDIA PARA AVALIAÇÃO DE PESO EM SORVETES**. 2004. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Católica de Goiás “UCG, Goiânia, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NETO, M. V. J. **Método para a redução das perdas da produtividade através da análise dos defeitos durante o processo de montagem em uma empresa fabricante de máquinas têxteis**. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

OAKLAND, J. S. **Statistical Process Control**. Butterworth-Heinemann, Elsevier Science, 5 ed. 2003

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

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2012.

ROSARIO, K. P.; DANTAS, L. M.; OEIRAS, E. N. Aplicação do controle estatístico de processo no monitoramento do peso médio de polpas de frutas: um estudo de caso realizado em uma empresa de médio porte. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza: ENEGEP, 2015.

RIBEIRO, J. L.D.; CATEN, C.S.T. Controle estatístico do processo. **Monografia** (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ROLIM NETO, Pedro José. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Recife, v. 27, n. 3, p.177-187, jan. 2009.

SANTOS, Magali. **Utilização do controle estatístico de processo para redução da variabilidade de peso de produtos em conserva**. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 9, p.1-19, out. 2017.

SCARATTI, D; SILVA, M. B. Implantação de ferramentas de controle estatístico de processo no ensaque de farinha de soja integral micronizada. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 1, n. 1, p. 39-48, 2010.

SCHUKKEN, Y. H.; WILSON, D. J.; WELCOME, F.; GARRISON-TIKOFSKY, L.; GONZALEZ, R. N. **Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts**. *Veterinary Research*, v. 34, n. 5, p. 579-596, 2003

SILVA, Luciana Santos Costa Vieira da. **Aplicação do controle estatístico de processos na indústria de laticínios Lactoplasa: um estudo de caso**. 1999. 97 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SILVA, A. P. G; BÁGGIO, M.A.; MAÓSKI. A. **O uso do controle estatístico de processos para melhorar o desempenho das empresas de saneamento**. Tema V: Institucionalização do setor. Organização e gestão dos Serviços Autônomos de Saneamento. Formulação e implantação de políticas públicas, 2005.

SOUZA, B. R. O. et al. **A utilização do controle estatístico do processo (CEP) para análises dos parâmetros de composição do leite cru refrigerado**. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, v. 2, n. 3, p. 17-28, 2014.

SRIKAEAO, K.; HOURIGAN, J. A. **The use of statistical process control (SPC) to enhance the validation of critical control points (CCPs) in shell egg washing**. *Food Control*, v. 13, n. 4-5, p. 263-273, 2002.

TAKAHASHI, Fabio Henrique et al. **VARIAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO LEITE ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS**. *Ciência Animal Brasileira*, São Paulo, v. 13, n. 1, p.99-107, 30 mar. 2012. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/cab.v13i1.14870>.

TELLES, L. B. **Ferramentas e sistema de custo aplicados a gestão da qualidade no agronegócio**. 2014. **Dissertação** (Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1570/1/PG_PPGEPI_M_Telles%2c%20Leomara%20Battisti_2014.pdf>. Acesso em: 03 out. 2018.

TOLEDO, J. C. e ALLIPRANDINI, D. H. **CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE**. São Carlos. 2004.

TONDELLI, Camila. **PDCA e SDCA: você sabe a diferença?** 2016. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/pdca-e-sdca-voce-sabe-a-diferenca/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

TRIVELLATO, A. A. **Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças**. 2010. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2010.

TURCATO, C. R. S.; KLIDZIO, R; ANTONELLO, N. R. B. Aplicação do Controle Estatístico de Processo (CEP) para avaliar o processo de defumação do salame. In: **XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, v. 13, 2009.

VILAÇA, A.C.; OLIVEIRA, R. C. B. (2011). Utilização do Controle Estatístico de Processo para Avaliação de Peso de Massas para Pastel. FAZU em Revista, Uberaba, n. 8, p. 137-146.

WEKERMA, M. C. C. Ferramenta estatística básica para o gerenciamento de processos. 1ª edição. Belo Horizonte: Werkema, 2006. 302p.

ANEXO

Tabela 1: Referências que aplicaram o CEP na indústria de alimentos

Produto	Parâmetro da qualidade avaliado	Questões	Tipo de ferramenta do CEP	Autor
Leite Cru refrigerado	Composição do leite	Avaliação dos índices das análises de teor de gordura, proteína, alizarol, acidez e extrato de seco desengordurado (ESD) em conformidade com a normativa 62.	Gráfico de controle da média e amplitude.	(SOUZA et al., 2014)
Leite UHT	Desperdícios de embalagens de leite UHT	A avaliação do desperdício de leite UHT visando verificar os seguintes parâmetros: quantidade de produção leite nas embalagens, quantidade de desperdício de embalagens nas máquinas de envase e percentuais de perdas.	Gráfico de Pareto	(DOTTI E BAGETTI (2013))
Leite	Desempenho do processo produtivo de leite tipo B e C	Avaliação das etapas consideradas mais importantes na produção de leite, sendo estas pasteurização, desnatadeira e embaladeira, afim de garantir que o peso dos sacos, o percentual de gordura e a temperatura do pasteurizador, fosse condizente com os padrões exigido pela empresa.	Cartas de controle Xbar-S, amplitude e somas acumuladas	(SILVA,1999)
Leite	Parâmetros higiênico sanitários	Avaliação dos parâmetros higiênico-sanitários, como contagem bacteriana total (CBT) e contagem de células somáticas (CCS), analisados de acordo com a sazonalidade, afim de garantir o controle de qualidade e segurança.	Gráfico de controle da média, desvio padrão e amplitude móvel.	(TAKAHASHI, 2012)

Continuação

Continuação

Sorvete	Peso médio de sorvete	Avaliação da etapa de pesagem de sorvete napolitano em embalagens de 2L, em conformidade com os critérios do INMETRO	Cartas de controle da média e amplitude	(MELO, 2004)
Salame	Temperatura do fumeiro	Avaliação do monitoramento da temperatura afim de verificar a capacidade do processo na etapa de defumação de salame.	Histograma, Gráfico de controle da média e amplitude móvel;	(TURCATO; KLIDZIO; ANTONELLO, 2008)
Carne de frango	Temperatura da câmara fria	Avaliação da temperatura no interior da câmara fria afim de verificar se processo de resfriamento encontrava sobre o controle estatístico de processo.	Cartas de controle para média e amplitude, Histograma, Índice de capacidade	FERREIRA, JÚNIOR E MILITANI (2011)
Ovos	Temperatura, pH e nível de cloro da água de lavagem	Avaliação do pH, temperatura de lavagem e enxague, e nível de cloro da água, no processo de lavagem de ovos, a fim de verificar falhas que alteravam a qualidade do produto final.	APPCC e cartas de controle da média e desvio padrão	(SRIKAE0 E HOURIGAN, 2002)
Bandeja de ovos	Peso médio, espessura e número de bandejas defeituosas por amostra	Avaliação do processo de produção de bandejas de ovos afim de verificar o peso e espessura e o número de bandejas defeituosas por amostra, visando melhorar o nível de qualidade do processo produtivo e do produto da empresa.	Gráficos de controle da média e desvio-padrão, e gráfico de número de não-conformes (Np), ferramentas <i>Ishikawa</i> e 5W2H	(AZEVEDO, 2017)
Salsicha	Parâmetros sensórias e organolépticos	Avaliação dos índices de umidade, alteração de pH, sabor, textura e salinidade no processo de produção de salsicha, visando garantir o controle de qualidade e segurança.	-Folhas de verificação, Diagramas de causa e efeito, Histogramas Gráficos de Pareto, Cartas de controle de processo da média e amplitude e Análise de falha e efeito	(DALGIC, 2011)

Continuação

Continuação

Biscoito	Peso médio da embalagem	Avaliação da oscilação de peso em embalagens de biscoito, a fim de verificar se o peso do produto corresponde ao peso especificado na embalagem.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> , Gráfico de controle da média, amplitude e desvio padrão.	(DAMINELLI, 2013)
Biscoito	Peso médio de embalagens	Avaliar da etapa de pesagem de <i>cookies</i> integrais afim de reduzir custos com problemas de peso e perdas e no processo produtivo.	Gráfico da média e amplitude	(LEITE, 2015)
Conserva de pepino	Peso médio de pepino em conserva	Avaliação da etapa de pesagem, afim de monitorar e controlar a variabilidade do excesso de peso em conservas de pepino, buscando diminuir custos gerados no processo.	Gráficos de controle da média, amplitude e desvio-padrão	(SANTOS, 2017)
Polpa de Fruta	Peso médio da embalagem	Avaliação do monitoramento do peso médio de polpas de frutas, a fim de identificar as perdas envolvidas no processo.	Gráfico de controle da média e amplitude, diagrama de <i>Ishikawa</i> , folha de verificação e <i>Brainstorming</i> .	(ROSÁRIO DANTAS E OEIRAS, 2015)
Leite de soja	Composição química	Avaliação dos parâmetros de umidade, lipídeos, cinzas, proteínas e sólidos solúveis, na produção de leite de soja, afim de identificar se a variabilidade é aceitável dentro dos padrões estabelecidos pela empresa.	Gráfico de controle da média e desvio padrão.	(MANTELATT O, 2008)
Envase de suco em pó	Peso médio das embalagens	Avaliação da etapa de pesagem afim de verificar a variabilidade do processo de fabricação de refrescos; estabelecendo um plano de ação para que o produto chegue com um baixo custo de fabricação e com a máxima qualidade até o cliente.	Gráficos de Pareto, gráficos de controle da média e amplitude e diagrama de Causa-e-Efeito.	(MARINO, 2014)

Continuação

Continuação

Cerveja	Incorporação de oxigênio na cerveja	Avaliação do processo de produção de cerveja analisando a incorporação de oxigênio, desde o processo de fabricação, até o envasamento na garrafa, investigando possíveis problemas, visando determinar soluções e elaborar um plano de ação.	Ciclo PDCA, gráfico de <i>Shewhart</i> , ferramentas de Controle Estatístico do Processo, gráfico de Pareto	(BRIDI, 2013)
Farinha integral de soja micronizada	Peso médio da embalagem de farinha	Avaliação do monitoramento do peso da farinha integral de soja micronizada a fim de reduzir perdas em virtude do excesso de produto	Gráfico de controle da média histograma e índice de capacidade	(SCARATTI E SILVA, 2010)
Massas para pastel	Peso médio da massa de pastel	Avaliação da estabilidade do peso de massas para pastel, afim de padronizar o processo, aplicando os ajustes necessários para melhoria do rendimento e da qualidade do produto.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> , cartas de controle de média, amplitude e desvio-padrão, e índice de capacidade	(VILAÇA; OLIVEIRA, 2011)
Refeições quentes (Marmita)	Peso médio de refeições quentes	Avaliação do monitoramento de peso de refeições quentes, afim de padronizar a etapa de pesagem das marmitas.	Folha de verificação, histograma e cartas de controle da média, amplitude e desvio padrão.	(FERREIRA, 2017)

Fonte: Autora