



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE APLICADO AO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITOS**

FELIPE SIMÕES CAYRES

Salvador / Bahia
2022



FELIPE SIMÕES CAYRES

CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE APLICADO AO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna
Prof^a. Dr^a. Ava Santana Barbosa

Salvador / Bahia
2022

FELIPE SIMÕES CAYRES

CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE APLICADO AO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITOS

Dissertação apresentada à Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna (PEI - UFBA)

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2009
Orientador

Prof^a. Dr^a. Ava Santana Barbosa (PEI - UFBA)

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo, Brasil, 2010
Coorientadora

Prof. Dr. Osiris Canciglieri Junior (PPGEPS - PUCPR)

Doutor em Automação da Manufatura pela Loughborough University, Inglaterra, 1999
Membro Externo

Prof. Dr. Danilo Marcondes Filho (PPGEst - UFRGS)

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2009
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- A minha família por todo apoio, motivação e incentivo para que eu sempre seguir o caminho do crescimento através da busca de mais conhecimento.
- Aos meus orientadores Dr. Ângelo Sant'anna e Dr^a. Ava Barbosa por toda a paciência e dedicação, por sempre se mostrar disposto a partilhar seu conhecimento e me guiar na construção deste trabalho;
- A Carlos Jefferson, orientador durante a minha graduação e entusiasta para que eu continuasse trilhando o caminho acadêmico;
- A Bruno Perminio por toda a ajuda e disponibilidade para apoiar na construção deste trabalho;
- A todos os meus colegas, funcionários e professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial (PEI);
- A todos aqueles que me apoiaram nesta caminhada; seja com palavras de apoio, sugestões ou mesmo com o olhar de acreditar que vai dar certo;
- Ao Ser Superior que rege o universo e que nos guia em nosso caminho.

DEDICATÓRIA

*Dedico esta conquista a minha mãe Juliana,
minha maior incentivadora nesta árdua jornada de busca por conhecimento.*

*"Rise and rise again,
until lambs become lions."*

- Robin Hood, 2010

CAYRES, Felipe Simões. *Controle Estatístico da Qualidade aplicado ao processo de fabricação de biscoitos*. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Brasil.

RESUMO

A demanda por alimentos é crescente no mundo sendo impulsionada pelo aumento da população. A indústria de alimentos, mais precisamente as empresas fabricantes de biscoitos, estão inseridas em um mercado que movimentou 140 bilhões de dólares em vendas e cresceu 5,49% em 2020 (ABIA, 2020). Para acompanhar o crescimento deste setor industrial, cada vez mais competitivo, as fabricantes de biscoitos têm a necessidade de aplicar ferramentas da qualidade para a melhoria dos seus processos. O objetivo principal deste trabalho foi analisar o desempenho do processo de fabricação de biscoitos de uma indústria alimentícia de grande porte baseado no Controle Estatístico da Qualidade. O controle estatístico da qualidade consistiu nas seguintes abordagens: Análise de Estabilidade; Análise de Capabilidade e Análise de Perda da Qualidade do processo. Na análise de estabilidade foram utilizadas as Cartas de controle para Atributos. Na análise de capacidade foram utilizados os índices de capacidade e de performance, além da análise do nível sigma do processo. A análise de perda da qualidade avaliou o processo através da função de perda de Taguchi. As análises concluíram que o processo é estável, e pode ser caracterizado como processo capaz ($C_{pk} > 1$) com nível sigma de $3,89\sigma$, além de apresentar pequenas perdas no processo ($k = R\$2,04$). A avaliação do nível sigma aponta que o processo pode melhorar para nível sigma = $5,85\sigma$ com ações apenas para centralizar a média do processo para o valor alvo (*target*), o que representaria uma melhoria de $1,96\sigma$.

Palavras-chave: Controle estatístico de processo, Controle de qualidade, Cartas de controle, Índices de capacidade, Função de perda de Taguchi.

CAYRES, Felipe Simões. **Statistical quality control applied to the cookie production.** 2022. Dissertation (Master's in Industrial Engineering) – Federal University of Bahia, Brazil.

ABSTRACT

The demand for food is growing in the world being driven by the increase in population. The food industry, more precisely the cookie manufacturing companies, are inserted in a market that generated 140 billion dollars in sales and grew 5.49% in 2020 (ABIA, 2020). To keep up with the growth of this increasingly competitive industrial sector, biscuit manufacturers need to apply quality tools to improve their processes. The main objective of this work was to evaluate the performance of the biscuit manufacturing process in a large food industry based on statistical quality control. Statistical quality control consisted of the following approaches: Stability Analysis; Capability Analysis and Loss Function Analysis. In the stability analysis, the Control Charts for Attributes were used. In the capability analysis, capacity and performance indices were used, in addition to the analysis of the sigma level of the process. The quality loss analysis evaluated the process through the Taguchi loss function. The analyzes concluded that the process is stable, and can be characterized as a capable process ($C_{pk} > 1$) with a sigma level of $3,89\sigma$, in addition to presenting small losses in the process ($k = R\$2,04$). The evaluation of the sigma level indicates that the process can improve to sigma level = $5,85\sigma$ with actions only to centralize the process average to the target value, which would represent an improvement of $1,96\sigma$.

Keywords: Statistical process control, Quality control, Control charts, Capability indexes, Taguchi Loss function.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das etapas de elaboração da dissertação	14
Figura 2: Exemplos da função de perda de Taguchi com a distância do alvo (constante k)	25
Figura 3: Fluxograma do processo de fabricação e pontos de coleta das variáveis	26
Figura 4: Disposição esquemática dos pontos de coleta em uma linha de produção	26
Figura 5: Ilustração do Biscoito do tipo tortinha e da Balança digital	27
Figura 6: Histograma (a) e boxplot (b) da variável razão do peso	28
Figura 7 – Cartas de Controle p para a fração de perda de peso	29
Figura 8 – Cartas de Controle $Beta$ para a fração de perda de peso	29
Figura 9 – Cartas de Controle CUSUM para a fração de perda de peso	30
Figura 10 – Cartas de Controle EWMA para a fração de perda de peso.....	30
Figura 11: Análise de capacidade para a razão de perda de peso	31
Figura 12: Gráfico da Função de Perda de Qualidade.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário estatístico da variável razão da perda de peso (p)	27
Tabela 2: Comparação entre Cpk , desvio padrão e nível sigma do processo	32
Tabela 3: Dados utilizados para a análise do processo e fabricação de biscoitos	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	DELIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	14
1.5	PRODUÇÃO CIENTÍFICA DECORRENTE DA DISSERTAÇÃO.....	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	ARTIGO	16
2.1	INTRODUÇÃO	17
2.2	CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE.....	18
2.2.1	<i>CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO</i>	<i>19</i>
2.2.1.1	<i>Cartas de Controle para Atributos (Fração de Não-Conformes)</i>	<i>20</i>
2.2.1.2	<i>Outras Cartas de Controle.....</i>	<i>21</i>
2.2.2	<i>ÍNDICES DE CAPABILIDADE</i>	<i>22</i>
2.2.3	<i>FUNÇÃO DE PERDA DA QUALIDADE</i>	<i>23</i>
2.3	ESTUDO DE CASO	25
2.3.1	<i>ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO PROCESSO</i>	<i>28</i>
2.3.2	<i>ANÁLISE DE CAPABILIDADE DO PROCESSO</i>	<i>30</i>
2.3.3	<i>ANÁLISE DE PERDA DE QUALIDADE DO PROCESSO</i>	<i>32</i>
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
3.1.1	<i>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	<i>35</i>
4	REFERÊNCIAS	36
5	APÊNDICE.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Otimizar ou melhorar os processos através da adoção de novos métodos de controle de qualidade faz com que as empresas se mantenham competitivas diante do cenário cada vez mais acirrado do mercado. Desta forma, os produtos devem corresponder às expectativas dos consumidores, sendo produzidos por um processo estável, para que sejam obtidos resultados positivos. Para que isso aconteça, as organizações utilizam uma série de ferramentas para organizar e padronizar os seus processos, de forma a melhorar a qualidade e a produtividade (SILVA *et al.*, 2005).

A indústria alimentícia é conhecida por ter produtos perecíveis, variabilidade na qualidade da matéria-prima, diversidade de receitas e técnicas de processamentos diversas. Em paralelo a este fato, os consumidores dão cada vez mais importância à qualidade nos produtos que consomem. Desta forma, as indústrias saíram em busca de soluções para melhor atender as exigências do mercado utilizando ferramentas da qualidade e as tecnologias de melhoria. (DORA *et al.*, 2013).

No setor alimentício exige-se produtos seguros e confiáveis. Com o aumento da competitividade no mercado, o setor de alimentos despertou a preocupação para a melhoria contínua de seus processos e a satisfação dos clientes, buscando identificar as principais causas que afetam a produtividade e a permanência dos seus produtos no mercado (MATIAS, 2014).

Adotar ferramentas da qualidade para a melhoria dos processos é considerado um requisito básico – e não mais considerado um diferencial – para as organizações, visto que permite melhorar a eficácia da gestão no ambiente globalizado. O conceito de gerenciamento da qualidade e as ferramentas utilizadas evoluíram ao longo do tempo. Atualmente são instrumentos essenciais para que as empresas possam permanecer competitivas no mercado (COSTA NETO & CANUTO, 2010).

A aplicação de ferramentas simples para detecção de falhas e para redução das perdas torna possível diminuir o custo de produção, o que permite ganhar mais produtividade. A implantação do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) em uma organização é uma tarefa difícil, no entanto, após a implantação, a metodologia traz uma nova padronização para a organização e busca o aproveitamento máximo dos seus processos. A partir de técnicas estatísticas, o CEQ propõe atender as expectativas de produtividade e as necessidades dos seus clientes. Com a aplicação das ferramentas do CEQ é possível identificar se a causa da falha é

devido a alterações na matéria-prima ou se está relacionado a um erro no processo produtivo. Desta forma, almeja-se alcançar a melhoria do processo ao reduzir a variabilidade em busca de qualidade para o produto. Estudos tem comprovado que utilizar ferramentas de segurança alimentar – a exemplo das boas práticas de fabricação (BPF) – associadas às ferramentas da qualidade são importantes para a proteção ao consumidor e para a garantia da qualidade dos alimentos (BADARÓ *et al.*, 2007).

Segundo Dora *et al.* (2013), o CEQ é uma das técnicas para melhoria do processo no *Food Quality Management* (FQM) no qual os autores analisaram a viabilidade e os benefícios da implantação do FQM em empresas do ramo alimentício em busca da diminuição do custo de transformação e do aumento da produtividade. Além disso, uma metodologia para implantação do CEQ voltado para indústria de alimentos foi elaborada por Lim (2014) e afirmou que o CEQ era pouco utilizado devido à falta de guias práticos para aplicação.

Com o intuito de melhorar este cenário, destaca-se a utilização do Controle Estatístico da Qualidade nas indústrias alimentícias, a exemplo das fabricantes de biscoitos. É de grande relevância identificar e analisar as etapas das possíveis falhas na fabricação de biscoitos. Neste estudo, é feito a análise da variabilidade do peso dos biscoitos antes e depois do cozimento. O intuito é identificar o problema de variação no peso do produto final para que não haja prejuízos para o consumidor e para a empresa. A responsabilidade de observar, monitorar e verificar a variação de peso na linha de produção cabe aos gestores. Sendo assim, foram aplicadas ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade em busca de facilitar a tomada de decisão e de gerar conhecimento relacionado à qualidade do produto para a empresa e para o ramo industrial de alimentos como um todo.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar o desempenho do processo de fabricação de biscoitos de uma indústria alimentícia de grande porte baseado no Controle Estatístico da Qualidade.

Como decorrência do objetivo principal, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a estabilidade do processo de fabricação de biscoitos;
- b) Analisar a capacidade do processo de fabricação de biscoitos;
- c) Analisar a perda de qualidade do processo de fabricação de biscoitos;

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa empírica é realizada de maneira que possa transcrever de forma codificada a realidade social. Existem três formas de classificação da pesquisa, que pode ser dividida quanto a sua natureza, quanto aos seus objetivos e quanto aos seus procedimentos. Dessa forma, a pesquisa do artigo em questão é caracterizada quanto a sua natureza como uma pesquisa aplicada; quanto aos seus objetivos, como uma pesquisa exploratória; e quanto a natureza de seus procedimentos como um estudo de caso. Provdanov & Freitas (2013) também classifica a pesquisa pelo ponto de vista de abordagem do problema, podendo ser qualitativa e/ou quantitativa. A qualitativa não requer o uso de métodos e técnicas matemáticas, a fonte de dados para esta pesquisa é o ambiente, enquanto a pesquisa quantitativa requer o uso de técnicas estatísticas e pode quantificar todas as informações obtidas. Desta forma, este trabalho pode ser considerado uma pesquisa quantitativa.

A partir da situação-problema apontada nesta pesquisa, foi feita a revisão da literatura. Esta revisão foi mais abrangente do que apenas a indústria de alimentos, pois também investigou o cenário de outras indústrias que estão atuando em outros ramos, tais como fármacos, automobilístico e petroquímico. O objetivo da revisão foi definir parâmetros de comparação da aplicação teórica com a prática e buscar possíveis pontos de melhoria a partir da aplicação das ferramentas do controle estatístico da qualidade, além de formas de diminuir possíveis desvios durante a execução do processo. A Figura 1 ilustra as etapas estabelecidas para a realização deste trabalho.

- a) Definição de parâmetros de processos a serem monitorados a partir da definição do defeito a ser prevenido;
- b) Revisão da literatura e técnicas do controle estatístico da qualidade;
- c) Estudo e análise da Estabilidade, da Capabilidade e da Perda de Qualidade;
- d) Resultados e conclusões finais

O início da pesquisa foi a partir da revisão de literatura que abordou o processo de fabricação de biscoitos, as matérias-primas, fluxograma do processo e também o CEQ, em busca de consolidar informações e conceitos relevantes para o desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, o processo de fabricação foi analisado e partiu-se para a coleta de dados utilizados. Posteriormente, realizou-se um estudo comparativo entre as cartas de controle do tipo fração, seguido da análise de estabilidade usando as cartas de controle para Atributos do tipo P, BETA,

CUSUM e EWMA. Em seguida a análise de capacidade – capacidade, performance e nível sigma– e a análise da função de perda de Taguchi. Foi levado em consideração a facilidade de reprodução das informações por parte da indústria e a propriedade para a tomada de decisão. Por último, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Figura 1: Fluxograma das etapas de elaboração da dissertação



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Esta pesquisa busca o desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento de características da qualidade com o intuito de reduzir as variações no produto final, e com isso, reduzir as perdas do processo. As cartas de controle são utilizadas com o intuito de identificar e analisar as variações do processo, além de acompanhar a conformidade do produto que está sendo produzido. A capacidade do processo verifica se o processo atende às especificações necessárias da produção. A perda de qualidade é direcionada à avaliação da perda financeira da organização com a não-qualidade.

Os dados coletados foram referentes às variáveis de processo: 1) molde de operação e 2) temperatura de cada zona do forno (°C) e às variáveis do produto: 3) peso cru (g), 4) peso assado (g), 5) espessura (mm), 6) comprimento (mm) e 7) largura (mm). Como o objetivo deste trabalho é direcionado ao controle da perda de peso do biscoito, as variáveis de estudo foram o

peso cru (g) e o peso assado (g). Portanto, as outras variáveis não foram analisadas, podendo ser visto no trabalho realizado por Santos (2021).

1.5 PRODUÇÃO CIENTÍFICA DECORRENTE DA DISSERTAÇÃO

Cayres, F.S.; Sant'Anna, A.M.O.; Barbosa, A.S. (2021). Controle estatístico de processo para o monitoramento de produtos não-conformes na fabricação de biscoitos. In: XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais ENEGEP 2021**. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

Cayres, F.S.; Sant'Anna, A.M.O.; Barbosa, A.S. (2022). Análise do controle estatístico da qualidade no processo de fabricação de uma indústria alimentícia. In: XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais ENEGEP 2022**. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 1 apresentamos uma introdução contextualizada sobre o tema, dividida em: contextualização do problema e a justificativa da execução do trabalho; os objetivos gerais e específicos deste estudo; a metodologia de trabalho escolhida; as delimitações do estudo; as produções científicas decorrentes da dissertação; e a estrutura do estudo em si.

O Capítulo 2 apresenta o artigo proposto e os resultados obtidos. O terceiro capítulo apresenta as considerações finais obtidas com o desenvolvimento da dissertação e sugestões para pesquisas futuras a partir do que foi abordado nesta pesquisa.

2 ARTIGO

CONTROLE ESTATISTICO DA QUALIDADE APLICADO AO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITOS

Felipe Simões Cayres

Ângelo Márcio Oliveira Sant'Anna

Ava Santana Barbosa

Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA

felipe.cayres@ufba.br, angelo.santanna@ufba.br, avasb@ufba.br.

RESUMO

A aplicação do controle estatístico da qualidade nas indústrias de manufatura não é uma tarefa fácil, no entanto, a metodologia fornece uma nova padronização para os processos, detecção de falhas e redução das perdas, tornando possível diminuir o custo de produção, o que permite ganhar mais produtividade. Este artigo objetiva analisar o desempenho do processo de fabricação de biscoitos de uma indústria alimentícia de grande porte baseado no Controle Estatístico da Qualidade. Esta pesquisa contemplou as abordagens: Análise de Estabilidade; Análise de Capabilidade e Análise de Perda da Qualidade do processo. Na análise de Estabilidade foram utilizadas as cartas p , $Beta$, CUSUM e EWMA para monitorar alterações e verificar a estabilidade do processo. Na análise de Capabilidade, foi feito um comparativo a partir dos índices de capacidade potencial (C_p), capacidade efetiva (C_{pk}) e o nível sigma (σ) do processo. Na análise de Perda de Qualidade, é apresentado o custo da não-qualidade através da função perda de Taguchi. Os resultados obtidos mostram que as análises realizadas permitiram o reconhecimento dos padrões de não-conformes, bem como um diagnóstico preciso da perda de qualidade do processo.

Palavras-chave: Controle Estatístico da Qualidade, Cartas de Controle, Capabilidade, Nível Sigma, Indústria Alimentícia.

ABSTRACT

The application of statistical quality control in manufacturing industries is not an easy task, however, the methodology provides a new standardization for the processes, fault detection and loss reduction, making it possible to reduce the production cost, which allows you to gain more productivity. This paper aims to analyze the performance from biscuit manufacturing process in a large food industry based on Statistical Quality Control. This research included the approaches: Stability analysis; Capability analysis, and Loss function analysis. In the Stability analysis, the p , $Beta$, CUSUM and EWMA charts were used to monitor changes and to verify the stability of the process. In the Capability analysis, a comparison was made from the indices of potential capacity (C_p), effective capacity (C_{pk}) and the sigma level (sigma) of the process. In the Loss function analysis, the cost of non-quality is presented through the Taguchi loss function. The results obtained show that the analyzes allowed the recognition of non-conforming patterns, as well as an accurate diagnosis of the loss of process quality.

Keywords: Statistical Process Control, Control Charts, Capability; Sigma Level; food industry.

2.1 INTRODUÇÃO

A palavra biscoito foi criada na idade média, e faz referência a um alimento que era cozido duas vezes. Fabricados utilizando como base, a farinha e a água, eles eram muito atrativos e populares. Hoje os biscoitos são fornecidos como complementos de dieta, como presentes, como petiscos para animais, dentre outras coisas, podendo ser feitos dos mais diversos tamanhos, sabores e recheios (MANLEY, 2011).

No panorama atual, a produção de biscoitos está em um cenário de alta competitividade de mercado e de avanços tecnológicos, e assim impulsionam as companhias a buscarem caminhos para aumentar sua produtividade, reduzir suas perdas e diminuir o número de defeitos. Além disso, o setor alimentício requer produtos seguros e confiáveis. Para que a produção destes alimentos seja melhorada, as indústrias podem recorrer a métodos baseados em estatística para garantir a confiabilidade de seus processos.

A implantação do CEQ para a indústria alimentícia tem dois fatores primordiais como referência: o interesse dos produtores em controlar melhor o processo e a necessidade de cumprimento da legislação específica. Existem muitos parâmetros críticos na indústria de alimentos – destaque para os atributos sensoriais e os de segurança – que visam manter a integridade e a qualidade do produto final. A aplicação do CEQ está diretamente relacionada com a segurança de alimentos, com a preservação das características sensoriais e com a redução de custos, embora ainda exista dificuldade de percepção desse fato por parte dos empresários e colaboradores (LIM, 2014).

Vining et al. (2016) apresenta os desafios de aplicação da engenharia da qualidade no ramo de alimentos, enquanto Lim et al. (2014) afirma existir uma lacuna de trabalhos com métodos de aplicação prático que torne mais fácil a implantação do controle estatístico da qualidade no ramo alimentício. Lizarelli et al. (2016) analisaram as publicações relacionadas ao CEQ. Foram verificados 3.683 artigos, com 62% ocorrendo entre 2004 e 2013, reafirmando a busca e o interesse no desenvolvimento desse tema. Soriano et al. (2018) desenvolveram mais de 44 fatores críticos para o sucesso na implantação do CEQ ao dividir os fatores em dimensões (estatísticas, metodológicas e gerenciais) e em níveis de decisão (estratégico, tático e operacional) para que os gestores conseguissem direcionar melhor os esforços e recursos.

O contexto desse trabalho diz respeito a uma indústria alimentícia localizada na região metropolitana de Salvador, na Bahia, que apresenta problemas na variação do peso dos seus biscoitos que afeta o processo de embalagem e empacotamento. O objetivo geral do estudo é

avaliar a qualidade do processo de fabricação de biscoitos em uma indústria alimentícia de grande porte.

2.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

O Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) surgiu com a necessidade de obter informações mais precisas em relação ao processo produtivo, que auxiliou na detecção e prevenção dos defeitos, assim como na análise da variabilidade (MELLO, 2011). O CEQ é apresentado por Silva et al. (2019) como uma metodologia de atuação preventiva no processo produtivo, que utiliza estatística para avaliar e monitorar alterações em busca da melhoria contínua da qualidade. Esta metodologia busca descrever e interpretar as variabilidades do processo – que podem resultar em produtos fora da especificação do cliente – e pode auxiliar a identificar causas de variabilidade e na tomada de decisão.

A metodologia do CEQ é muito vasta quando as suas aplicações práticas. Gomes (2020) utilizou o controle estatístico no ramo da agricultura e reforçou que o CEQ é imprescindível na avaliação da uniformidade de distribuição de água na irrigação por gotejamento. Feitosa (2019) utilizou a ferramenta para analisar a variabilidade estatística no ramo da construção civil ao analisar a conformidade da fabricação de postes de concreto, e assim identificar que o processo teve resultados satisfatórios na produção. Rodrigues (2019) aplicou o CEQ na indústria alimentícia, especificamente para avaliar a conformidade de peso do leite estabelecidas pela empresa quando o produto é submetido a etapa de envase, e assim constatou que o processo estava sob controle estatístico e atendia às especificações estabelecidas. Abrão (2020) utiliza as ferramentas de CEQ na indústria química para analisar o peso das embalagens produzidas, tomar ações para diminuir a variabilidade do peso da linha de produção e alcançar a estabilidade do processo, além de reforçar a necessidade de monitoramento constante da perda de peso para manter a estabilidade. Torrezani (2015) aplicou os conceitos de CEQ na área química e constata que a metodologia de controle de qualidade é essencial para manter a qualidade das medições do processo de análises de cátions utilizando a espectrometria de emissão óptica. Correa et al., (2015) aplica a metodologia no ramo industrial na busca de melhoria da performance de equipamentos e mostra que o CEQ possibilita identificar as variáveis de maior impacto no processo e direciona o desenvolvimento de planos de ação para atuar na causa-raiz do problema e melhorar o rendimento do maquinário.

Ao implementar o CEQ em processos industriais é possível analisar com facilidade o comportamento do processo ao longo do tempo, de forma a permitir a antecipação das ações dos responsáveis na tomada de decisão, a visualização clara do comportamento do processo e da identificação das causas que afetam o processo a fim de reduzir a quantidade de produtos não-conformes (MARTINS et al., 2008).

2.2.1 *CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO*

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta da qualidade utilizada para inspecionar um processo através do acompanhamento das medições para redução de defeitos e melhoria contínua dos produtos. O CEP foi criado por Walter Andrew Shewhart na década de 1920 (SHEWHART, 1924), entretanto esta metodologia ganhou destaque após a segunda guerra mundial com a atuação do americano William Deming no período pós-guerra japonês. Estes ensinamentos culminaram em uma verdadeira revolução no sistema produtivo japonês e auxiliou o Japão na reconstrução do país. A análise de estabilidade de processo é realizada através da aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) e consiste em avaliar o comportamento de uma característica da qualidade ao longo do tempo, usando as Carta de Controle (COSTA et al., 2008).

Quando se trata de avanços em relação ao conhecimento vinculado a estatística no setor produtivo, o CEP apresenta-se como um conjunto de ferramentas para resolução de problemas, utilizado para obtenção da estabilidade do processo e na melhoria de capacidade a partir da redução da variabilidade e consequentemente prevenção de perdas (MONTGOMERY, 2016). Todo processo sofre variações por causas naturais, que são as variações dentro dos limites de controle. Entretanto, as variações ocorridas fora dos limites de controle podem ser consideradas como uma possível causa especial, já que para todo processo existe uma variabilidade, que são as diferenças existentes entre as unidades produzidas (CORRÊA et al., 2008; COSTA et al., 2008). Se existe causa especial, o processo é passível de interrupção para identificar e corrigir o problema. Para ter o controle do processo, é preciso identificar as causas, e para isso é necessário que seja feito o monitoramento do processo de forma a controlar e medir sua variabilidade (SLACK, 2009).

A ferramenta de maior utilização é a carta de controle, pois ela apresenta um entendimento claro das variabilidades do processo e a avaliação do seu estado, além de permitir a manutenção de itens não conformes em quantidades aceitáveis (WOODALL & MONTGOMERY, 2014). A aplicação correta desta ferramenta detecta produtos fora do padrão

no processo. As cartas de controle são compostas por uma linha central (LC) e limites de controle inferior (LIC) e superior (LSC). Processos que estão sob influência de causas especiais quando acontece o levantamento de dados podem causar estimativas errôneas para o LC, LSC e LIC (FRANCO et al., 2014).

Os limites tem variação em $\mu \pm 3\sigma$, que são chamados de limites 3σ . O intervalo de confiança é de 99,73%. Dessa forma, a probabilidade de ter dados fora de controle é $\alpha = 0,27\%$. O processo é titulado como fora de controle caso alguma medição ultrapasse os limites. Neste caso, é necessário analisar as possíveis causas e intervir de forma a manter o processo controlado (MONTGOMERY, 2016).

As cartas podem ser divididas em dois tipos: cartas para variáveis e para atributos. As cartas de controle para variáveis são utilizadas para o monitoramento de características mensuráveis como peso, comprimento, temperatura, pressão, entre outros. As cartas para atributos são aquelas em que os resultados decorrem de uma classificação ou contagem, a exemplo de número de defeitos, fração defeituosa, entre outras. Estas devem ser utilizadas quando a análise do item produzido é do tipo conforme ou não conforme, baseado no fato de ter certos atributos presentes no produto (RAMOS, 2000; VIEIRA, 2012; WOODAL & MONTGOMERY, 2014).

2.2.1.1 *Cartas de Controle para Atributos (Fração de Não-Conformes)*

As cartas de controle para atributos do tipo p e np são as principais ferramentas do CEP para monitorar características de qualidade do tipo atributos. Para que seja realizada a aplicação das cartas de controle, os parâmetros observados devem seguir a distribuição de probabilidade Normal.

Entretanto, as cartas de controle para atributos seguem a distribuição Binomial, e a aproximação pela distribuição Normal é indicada quando os parâmetros são $np \geq 10$ e $0,1 \leq p \leq 0,9$ (XIE et al., 2002). Fora deste intervalo de valores para os parâmetro, a aplicação não é indicada devido a assimetria da distribuição Binomial e a aproximação para a distribuição Normal gera estimativa de valores negativos ou maiores que 1 (MONTGOMERY, 2016).

O grande fator limitante da Carta p está na aplicação quando a fração de produtos não-conformes é pequena, e é uma situação bastante comum em processos produtivos com alto nível de qualidade. Quando isto ocorre, há uma assimetria na distribuição dos dados que é Binomial, de forma que as tentativas de analisar o valor de p com limites de controle simétricos irá disparar diversos alarmes falsos, dada a discrepância entre a forma da distribuição dos dados e a

distribuição Normal (LANEY, 2002). Outra limitação das cartas p é calcular limites de controles que extrapolem o intervalo $[0,1]$, o que prejudica a detecção de variações nas características estudadas (BERMISIS *et al.* 2014). Sant’Anna & Caten (2012) verificaram que a aproximação da distribuição Binomial para distribuição Normal é inapropriada para pequenos valores de p , e propuseram a carta de controle Beta, que se baseia na distribuição de probabilidade Beta. Em comparação com outras três cartas que seguem a aproximação pela distribuição Normal, os resultados mostraram superioridade da carta de controle Beta em monitorar a distribuição assimétrica dos dados comumente encontrada em cenários industriais.

2.2.1.2 Outras Cartas de Controle

Há na literatura outras alternativas de Cartas de Controle que podem ser aplicadas para monitorar processo que mensuram a característica de qualidade do tipo fração de não conformes, que são as cartas de Soma Acumulativa, do inglês *Cumulative Sum* (CUSUM) e de Média Móvel Exponencialmente Ponderada, do inglês *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA).

A carta CUSUM foi proposta por Page (1954) para fazer a análise do processo a partir de informações acumuladas em diversas amostras anteriores, e são indicadas para a detecção de pequenas e persistentes variações. Esta carta analisa cumulativamente o número de não conformidades em uma sequência de amostra e por isto esta carta é eficaz na identificação de variações, assim como na identificação do tempo em que ocorre a alteração do processo (HENNING *et al.*, 2011). Estes são calculados através das Equação 7:

$$\begin{aligned} c_i^+ &= \max[0, \bar{x}_i - (\mu_0 - K + c_{i-1}^+) \\ c_i &= c_{i-1} + (\bar{x}_i - \mu_0) \\ c_i^- &= \max[0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + c_{i-1}^-] \end{aligned} \quad (7)$$

A carta de média móvel exponencialmente ponderada (EWMA) foi apresentada por Roberts (1959) e busca incorporar o comportamento passado no presente ao atribuir pesos diferentes a cada observação anterior. Esta carta também é usada para detectar com facilidade e rapidez até mesmo pequenas alterações na média de uma série, e também pode pesar a importância do histórico de dados e dados históricos na análise (MONTGOMERY, 2004; LUCAS & SACCUCCI, 1990). Tem seus limites de controle calculados a partir da Equação 8:

$$\begin{aligned}
LSC &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \\
LC &= \mu_0 \\
LIC &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}
\end{aligned} \tag{8}$$

A análise de estabilidade pode ser utilizada para avaliar diversos processos. Alencar et al. (2007) utilizou no ramo farmacêutico para estudar o desempenho da etapa de compressão de formas farmacêuticas sólidas e verificar a estabilidade do processo, e assim traçar planos de ação para reduzir a variabilidade e alcançar a estabilidade do processo.

2.2.2 ÍNDICES DE CAPABILIDADE

No Controle Estatístico da Qualidade também é possível avaliar a capacidade do processo. A análise de capacidade avalia a performance em atender as especificações da característica da qualidade do produto definido através da comparação direta entre as especificações do cliente e o desempenho do processo. Estes se baseiam no fato de que os limites naturais ou efetivos os limites de um processo são aqueles entre a média e ± 3 desvios-padrões (CANO et al, 2012).

O índice de capacidade potencial (C_p) é a distância entre limites superiores e inferiores de especificação divididos por seis desvios-padrão, ou seja, a dispersão total do processo. Para um processo ser considerado capaz, ele deve atender limites especificados e que tenha as causas comuns de variação dentro dos limites de controle (SAMOHYL, 2009; RODRIGUES, 2012). O cálculo do índice de capacidade pode ser obtido através das equações:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \tag{9}$$

O índice de capacidade efetiva (C_{pk}) avalia se o processo está fora de centro a partir da menor distância entre a linha média e o limite especificado, ou seja, analisa se o processo está fora do centro e considera o menor valor (RAMOS, 2000).

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \tag{10}$$

O nível sigma do processo é utilizado para indicar a quantidade de desvios padrão que ocorrem entre o LSE e o LIE. Quanto maior o número de desvios padrão entre os limites de

especificação, menor será a chance de ocorrência de causas especiais e desvios no processo. (ROTONDARO et al., 2002). No longo prazo, diversos fatores provocam o deslocamento da média para cima ou para baixo, geralmente não superando o valor de $1,5\sigma$, que deve ser adicionado a “Z” para revelar o valor para o curto prazo (PANDE et al., 2001).

O índice de capacidade (C_{pmk}) foi proposto por Pearn et al. (1992), como uma extensão do índice de capacidade efetiva do processo (C_{pk}), analisando se a variação do processo aumenta à medida que a média (μ) do processo se desvia de seu valor alvo (τ). O índice C_{pmk} , às vezes chamado de “índice de capacidade de terceira geração”, foi definido da seguinte forma:

$$C_{pmk} = \left(\frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - \tau}{\sigma}\right)^2}} \right) \quad (11)$$

Irwanto (2019) utiliza das ferramentas de capacidade na indústria de cosméticos, especificamente na produção de shampoo, e conclui que o estudo de capacidade é essencial para o monitoramento e a correção de falhas na produção. Crespo (2018) utiliza a capacidade no ramo automotivo para aprovação de processo de melhoria de transmissões mecânicas para veículos automotores.

Outras aplicações de análise de capacidade são: Oliveira (2018) aplica as ferramentas de capacidade para avaliar a performance do processo industrial de adesivos; Moraes (2019) utiliza na indústria química para avaliar a composição química de ligas de ferro; Viana utiliza no ramo de tratamento de águas para melhor detecção de problemas; Haber (2018) utiliza na indústria alimentícia para avaliar a performance de produção de massas frescas em uma indústria de grande porte; Cavalcante (2019) utiliza no ramo vestuário em um processo de produção de artigos em couro; e Donin (2018) utiliza na área de saúde para propor melhorias em unidades de pronto atendimento.

2.2.3 FUNÇÃO DE PERDA DA QUALIDADE

O controle de qualidade tradicionalmente está relacionado à ideia de o processo atender às especificações. Esta abordagem do controle de processo considera todas as unidades fabricadas dentro dos limites de especificação como boas, e aquelas fabricadas fora dos limites como defeituosas. Na abordagem clássica de qualidade, os procedimentos de melhoria contínua terminam quando se atinge a condição de produzir todas as unidades dentro das especificações. (Zhang et al., 2014).

Na ótica da função de perda de Taguchi, os procedimentos de melhoria contínua irão continuar até que o processo esteja centrado e com variabilidade zero. Para Cano *et al.* (2015), a definição de qualidade sob a abordagem da função de perda está relacionada à aproximação do alvo tendo a menor variação possível. Dessa forma, a função de perda deve estar relacionada com a distância até o alvo. O conceito apresentado por Taguchi redefiniu o conceito de qualidade para “atingir o alvo com a menor variabilidade possível” e criou uma maneira de avaliar a qualidade usando o conceito de Função de Perda que aponta o impacto da variação da qualidade. Ele mostra que a variação do alvo desejado acarreta perdas para a organização (ROY, 1990).

Esta nova abordagem utiliza da função de perda para avaliar o processo, pois esta é utilizada para quantificar a perda que um produto impõe à sociedade pela falta de qualidade. A função de perda é um índice mais consistente do que os índices de capacidade (C_p e C_{pk}). Isso acontece, pois, a função de perda considera tanto a perda devido à dispersão como a perda devido a desvios da meta. Os índices usuais de capacidade não consideram diretamente o desvio da meta, de forma que é possível ter processos bastante descentrados e ainda assim com um índice de capacidade alto (RIBEIRO & CATEN, 2012).

Rajnish (2019) utiliza a função de perda no ramo automotivo, especificamente na seleção de fornecedores de uma produção de locomotivas pesadas na Índia, de maneira integrada com outras ferramentas para validar a melhor escolha dos fornecedores. No ramo aeronáutico, Shojaei et al (2018) propôs um modelo de avaliação e classificação de aeroportos utilizando função de perda de Taguchi de forma que os tomadores de decisão definam diferentes valores-alvo para critérios de avaliação dos aeroportos.

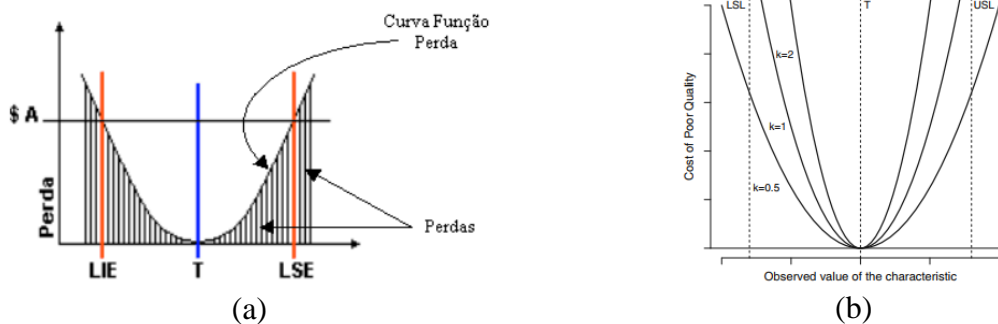
Akella (2021) utiliza a função perda de Taguchi para avaliar a performance acadêmica dos alunos comparando disciplinas ofertadas no período pré e pós pandemia do COVID-19 e conclui que houve uma diminuição de 20% no valor da perda total para a sociedade devido à maior aprovação dos alunos em disciplinas online. Outras aplicações diversas da função perda de Taguchi são: Medri et al (2018) utiliza a perda de Taguchi na criação de peixes tilápia; Teixeira (2018) utiliza no estudo do curtume do couro; e Mendes (2018) utiliza na otimização de parâmetros de corte no torneamento CNC.

A função de perda deve estar relacionada com a distância até o alvo. Em muitos casos, essa perda resulta é aproximadamente proporcional ao quadrado do desvio do valor alvo (τ) estabelecida para uma certa característica de qualidade, sendo definida pela equação:

$$L_F = k(y_i - \tau)^2 \quad (12)$$

em que L_F é a perda financeira associada com a variação do valor alvo; k é o coeficiente monetário de perda em relação à variação do valor alvo; y_i representa o valor mensurado da característica de qualidade; e τ representa o valor alvo/meta para a característica da qualidade escolhida (ZHANG et al., 2014; CANO et al, 2015).

Figura 2: Exemplos da função de perda de Taguchi com a distância do alvo (constante k)



Fonte: Adaptado de Mendes (2019) e de CANO et al. (2015)

2.3 ESTUDO DE CASO

Pode-se verificar a influência de cada etapa nos defeitos de fabricação de acordo com o processo produtivo dos biscoitos. Assim é possível determinar áreas críticas para a análise da produção. O processo de fabricação de biscoitos é do tipo semicontínuo, sendo que a etapa de masseria a produção é por bateladas e as fases posteriores são intermitentes. A estruturação do biscoito ocorre até a etapa de aplicação de recheio. Nestas etapas é possível alterar características básicas do biscoito como comprimento, largura, espessura e peso – indispensáveis para uma boa performance no processo de embalagem na etapa empacotamento.

A Figura 3 ilustra o fluxograma do processo de fabricação e a disposição das áreas do processo na qual as variáveis foram coletadas. Observa-se que as variáveis encontram em áreas de produção distintas e pode haver correlação entre elas. A coleta das informações aconteceu a cada horas e foram tabeladas para serem analisadas a partir do programa Microsoft Excel® e do *software* R® v. 4.1.0. A linha de produção em questão não estava sob interferências de fatores externos ao processo que pudesse gerar impacto nas variáveis. No apêndice está disponível as medições efetuadas neste trabalho. A Figura 4 apresenta a disposição esquemática da linha de produção de biscoitos e a localização dos pontos de coleta – lado esquerdo, meio e lado direito.

Na operação, estas posições são chamadas respectivamente de lado não operacional (NOP), meio e lado operacional (OP). Este último se refere ao lado onde está concentrada a mão-de-obra e os comandos do maquinário.

Figura 3: Fluxograma do processo de fabricação e pontos de coleta das variáveis

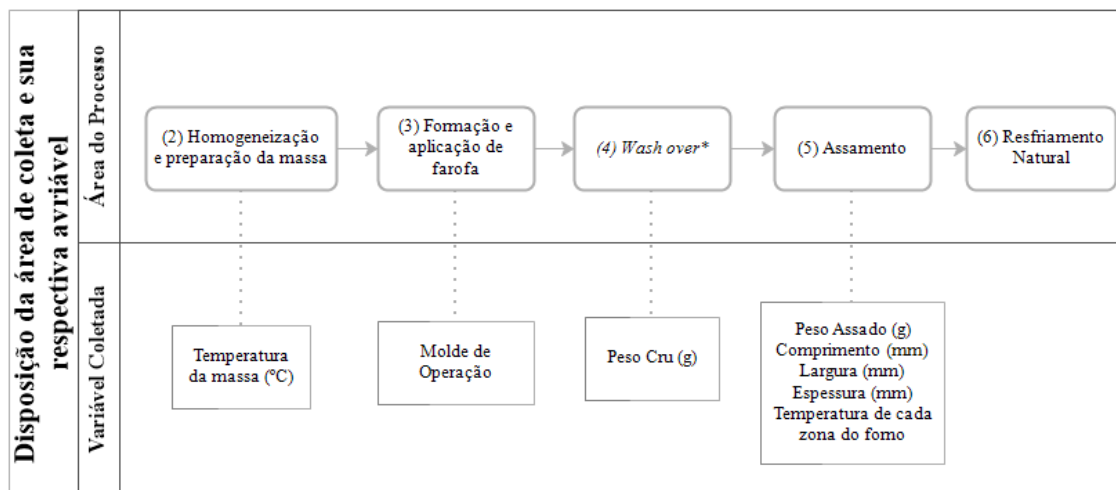
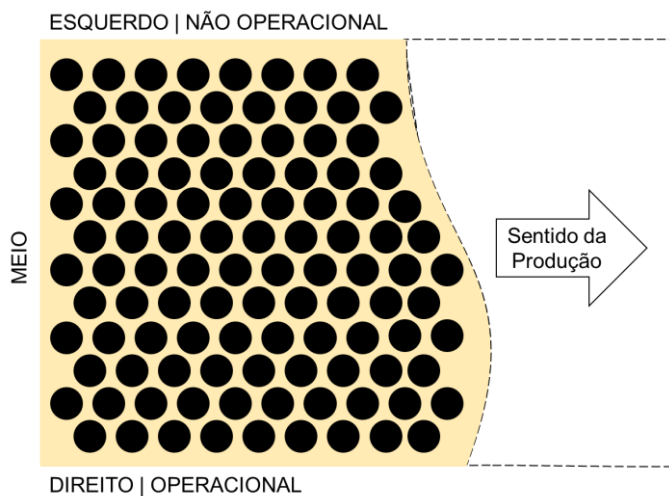


Figura 4: Disposição esquemática dos pontos de coleta em uma linha de produção



A linha de produção analisada possui 1,52 m de largura. Uma linha de biscoitos pode chegar a ter mais de 250 metros de comprimento devido a extensão dos equipamentos e a necessidade de tempo para finalizar determinadas etapas. Utilizou-se formulários de registro de processos preenchidos pela operação ao longo da rotina de trabalho. Foram feitas 576 aferições por variável em um único mês – caracterizando uma amostra de tamanho grande. Na linha de produção onde este trabalho foi aplicado são produzidos 7.168 biscoitos por minuto, ou 119,5 biscoitos por segundo.

O biscoito considerado no estudo foi do tipo tortinha produzido por uma indústria alimentícia de grande porte (ver Figura 5a). Os dados foram coletados *in situ* a partir da retirada de amostras a cada quinze minutos nas etapas do processo de fabricação do biscoito. Ademais, foram mensuradas as medidas de temperatura da massa (°C), molde de operação, temperatura de cada zona (°C), e as dimensões do biscoito, como espessura (mm), comprimento (mm), e largura (mm). No entanto, o estudo destas variáveis do processo estão descritas no trabalho realizado por Santos (2021). O parâmetro de análise deste estudo foi a perda de peso após o processo de assamento do biscoito, aferida por uma balança digital de alta precisão (ver Figura 5b). As variáveis para estudo são o peso cru (g) e peso assado (g) dos biscoitos, onde investigou-se a razão de peso perdido do biscoito assado e do biscoito cru, sendo calculada a partir da equação:

$$p = \frac{\text{peso biscoito cru (g)} - \text{peso biscoito assado (g)}}{\text{peso biscoito cru (g)}} \quad (13)$$

Figura 5: Ilustração do Biscoito do tipo tortinha e da Balança digital



(a)



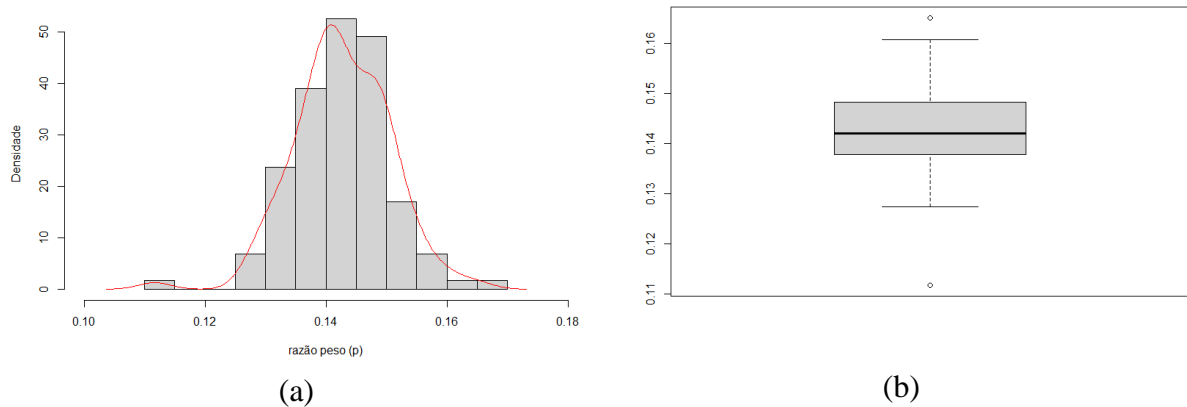
(b)

A característica de qualidade monitorada neste estudo foi a razão entre a variação de peso do biscoito e o peso do biscoito cru (p), e observado a perda de peso fora da especificação no processo de cozimento. Após o levantamento dos dados realizado pela operação foram analisadas as estimativas dos parâmetros de mínimo, máximo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Em seguida, as cartas de controle foram aplicadas e comparadas com os resultados obtidos para as perdas de qualidade. A Tabela 2 ilustra as estimativas estatísticas da fração de perda de peso dos biscoitos. As Figuras 6(a) e (b) ilustram o histograma e o boxplot da variável estudada.

Variável	Mín.	Máx.	Média	Desvio	C.V
Fração de perda peso (p)	0,1117	0,1651	0,1421	0,00791	0,055%

Tabela 1: Sumário estatístico da variável razão da perda de peso (p)

Figura 6: Histograma (a) e boxplot (b) da variável razão do peso



2.3.1 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO PROCESSO

Com os dados da produção coletados e inseridos no sistema, foram realizadas as análises iniciais. As cartas de controle de atributos para proporção – Carta p e Carta $Beta$ – foram aplicadas para avaliar o comportamento da característica de qualidade indicada. Estas cartas de controle são indicadas para monitorar grandes variações nas médias do processo.

A Figura 8 apresenta o resultado para a Carta p , onde observa-se que não há ocorrência de causas especiais (pontos fora do limite de controle). Dessa forma, para a Carta p , o processo é tido como controlado, ou seja, não existem biscoitos que apresentam medições de peso fora dos padrões normais do processo. Para a Carta $Beta$, nota-se a ocorrência de causas especiais (pontos fora dos limites de controle) representados em vermelho, entretanto este ponto indica um provável alarme falso, visto que os próximos pontos analisados seguem dentro dos limites de controle. (ver Figura 9).

A análise de estabilidade para monitorar pequenas variações na média do processo pode ser obtida através das cartas de controle dos tipos: Soma Cumulativa (CUSUM) e Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA). A Figura 10 apresenta o resultado da carta de controle CUSUM e nota-se que não há ocorrência de causas especiais (pontos fora dos limites de controle). Dessa forma a carta CUSUM apresentou o processo como controlado, com todos os seus pontos dentro dos limites de controle. A Figura 11 mostra o resultado da carta de controle EWMA e observa-se que não há ocorrência de causas especiais (pontos fora dos limites de controle). A carta EWMA apresentou todos os pontos dentro do limite de controle, tendo seu resultado alinhado com a carta CUSUM.

Portanto, estas quatro cartas de controle apresentadas ilustram a análise de estabilidade do processo para monitorar grandes e pequenas variações na média da característica de qualidade do produto.

Algoritmo 1 – Análise de Estabilidade

```
require (SixSigma)
require (bcc)
require (qcc)
perda_pesos <- dataset
pesos <- data.frame (perda_pesos)
p.graf <- qcc (data = pesos, type = "p", size = 1000)
beta.graf <- bcc (data = pesos, type = "2")
cusum.graf <- cusum (data = pesos)
ewma.graf <- ewma (data = pesos)
```

Figura 7 – Cartas de Controle p para a fração de perda de peso

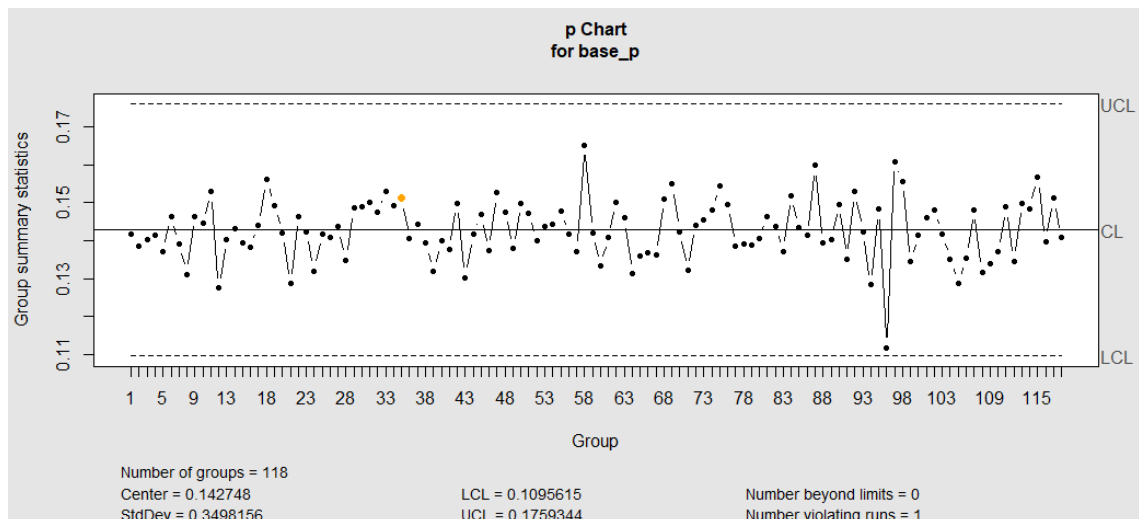


Figura 8 – Cartas de Controle $Beta$ para a fração de perda de peso

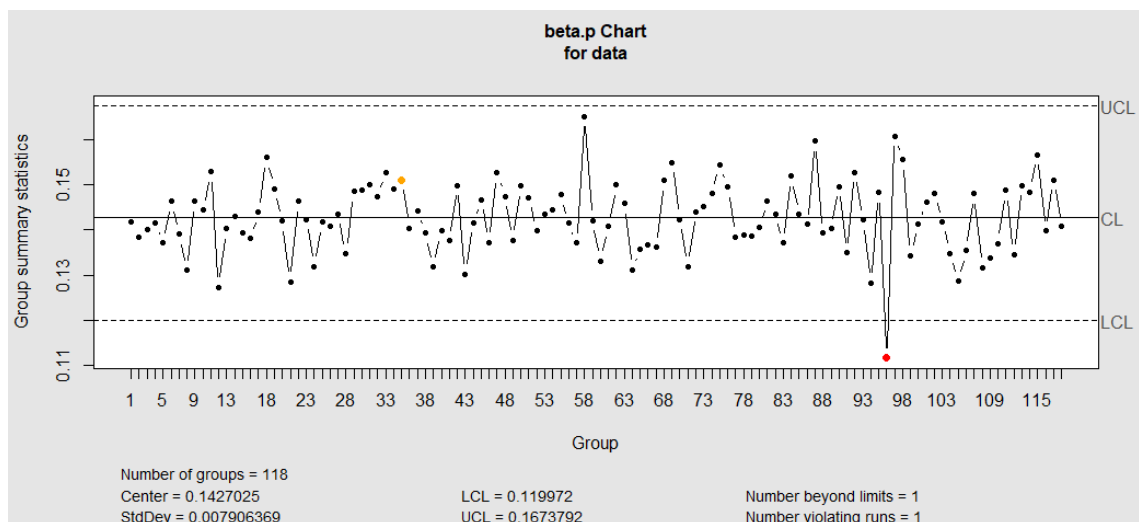


Figura 9 – Cartas de Controle CUSUM para a fração de perda de peso

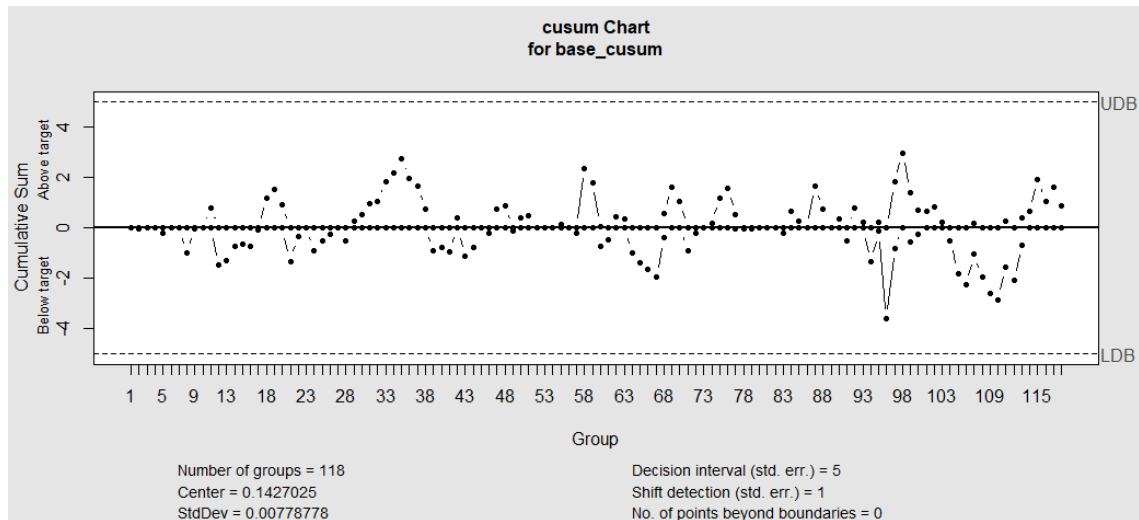
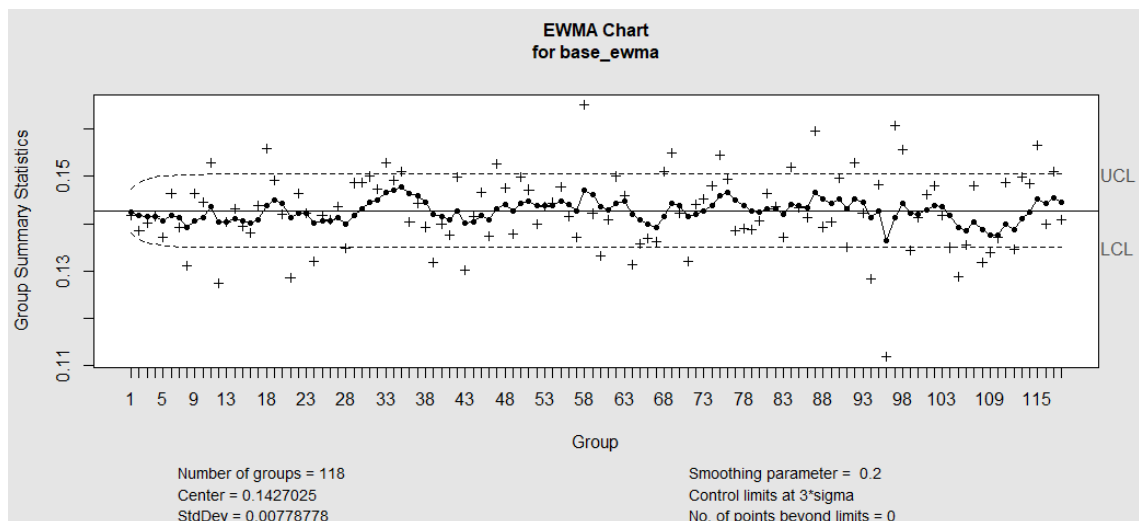


Figura 10 – Cartas de Controle EWMA para a fração de perda de peso



2.3.2 ANÁLISE DE CAPABILIDADE DO PROCESSO

A capacidade do processo compara a saída de um processo sob controle com os limites de especificação. Estes índices nos ajudam a determinar o quão bem um processo está cumprindo com as especificações esperadas. A Figura 12 apresenta o resultado da análise da capacidade do processo para os valores da razão da perda de peso do biscoito após a análise de estabilidade usando as cartas de controle.

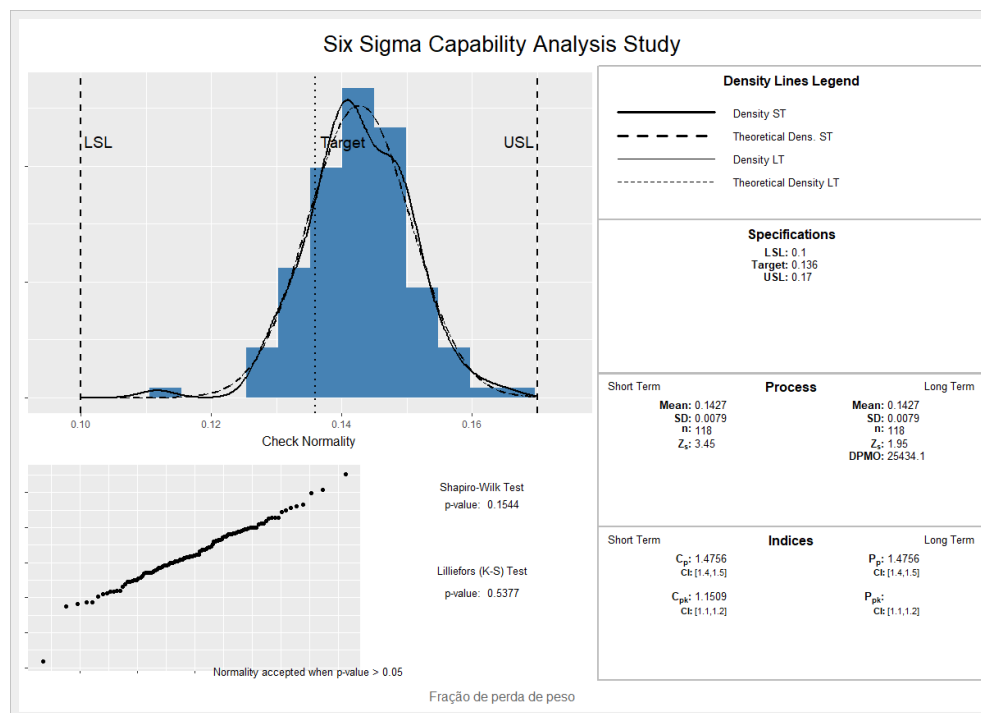
De acordo com a pressuposição de normalidade para a análise de capacidade, foram feitos os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Lilliefors para as medições da característica de qualidade coletadas. Os resultados do valor-p para os dois testes (SW $p = 0,1544$; LL $p =$

0,5377) apontam que os dados são aderentes à distribuição Normal ($p > 0,05$). A análise de capacidade do processo considerando os limites de especificação definidos por $\tau = 0.136$, $LIE = 0,10$ e $LSE = 0,17$ forneceu os índices de capacidade $C_p = 1,4756$ e $C_{pk} = 1,1509$ estando aderentes aos resultados dos indicadores de qualidade da empresa (ver Figura 12).

Algoritmo 2 – Análise de Capacidade

```
require (SixSigma)
require (qcc)
perda_pesos <- dataset
pesos <- data.frame (perda_pesos)
p <- ss.ca.cp(perda_peso, 0.10, 0.17)
print(cp)
cpk <- ss.ca.cpk(perda_peso, 0.10, 0.17)
print(cpk)
ss.study.ca (perda_peso, perda_peso, LSL = 0.10, USL = 0.17,
  Target = 0.136, alpha = 0.5,
  f.su = "Fracao de perda de peso")
```

Figura 11: Análise de capacidade para a razão de perda de peso



O nível sigma é a medida de a probabilidade de um processo gerar defeitos. Quanto maior for probabilidade de gerar defeito, menor será a capacidade do processo e menor será o nível sigma. A avaliação do nível sigma (σ) do processo é $3,89\sigma$ e a PPM (perda por milhão) é de 1160 PPM. A Tabela 6 apresenta uma comparação dos índices de capacidade e nível sigma dos processos considerando o processo atual e as projeções para processo altamente capaz ($C_{pk} = 1,34$) e para o processo centralizado na média ($C_p = C_{pk}$).

Referência	C_{pk}	Desvio-padrão	Nível Sigma
<i>Processo atual</i>	1,15	0,0079	3,89
<i>Processo altamente capaz</i>	1,34	0,0067	5,03
<i>Processo centralizado na média</i>	1,47	0,0079	5,85

Tabela 2: Comparação entre C_{pk} , desvio padrão e nível sigma do processo

A partir da Tabela 6, percebe-se que o C_{pk} do processo centralizado na média é maior do que o C_{pk} para processo altamente capaz, não implica em variação de desvio padrão, além de apresentar nível sigma final maior. Esta análise é importante pois irá nortear o plano de ações corretivas, indicando para a equipe que as ações devem ser direcionadas para a centralização da média no valor alvo do processo, em detrimento de executar ações direcionadas para reduzir o desvio padrão das amostras. As ações de aproximação da média geralmente têm custo menor e maior facilidade para serem implementadas.

2.3.3 ANÁLISE DE PERDA DE QUALIDADE DO PROCESSO

A função perda de Taguchi busca associar um valor financeiro ao desvio de uma determinada característica do produto com relação ao valor nominal. Este índice auxilia a determinar o quão adequado um processo está cumprindo com as especificações esperadas. A Figura 13 apresenta o resultado da análise da função de perda de Taguchi do processo para os valores da fração de perda de peso dos biscoitos.

Para este processo de fabricação de biscoitos, as métricas registradas são: uma produção de 7168 unidades de biscoitos por minuto; um o custo da perda por unidade de R\$ 0,0051; um valor alvo (τ) do processo de 0,136 (13,6% de perda de massa do biscoito); e uma variação da tolerância (Δ) de 0,05. A definição destas métricas estabeleceram um coeficiente de perda da qualidade (k) de R\$ 2,04 e uma função perda de Taguchi que pode ser representada pela equação $L_F = 2,04 (y - 0,136)^2$.

Algoritmo 3 – Análise da Função de Perda

```

require (SixSigma)
require (qcc)
y0 <- 0.136
delta <- 0.05
L0 <- 0.0051
k = L0/delta
perda_pesos <- dataset

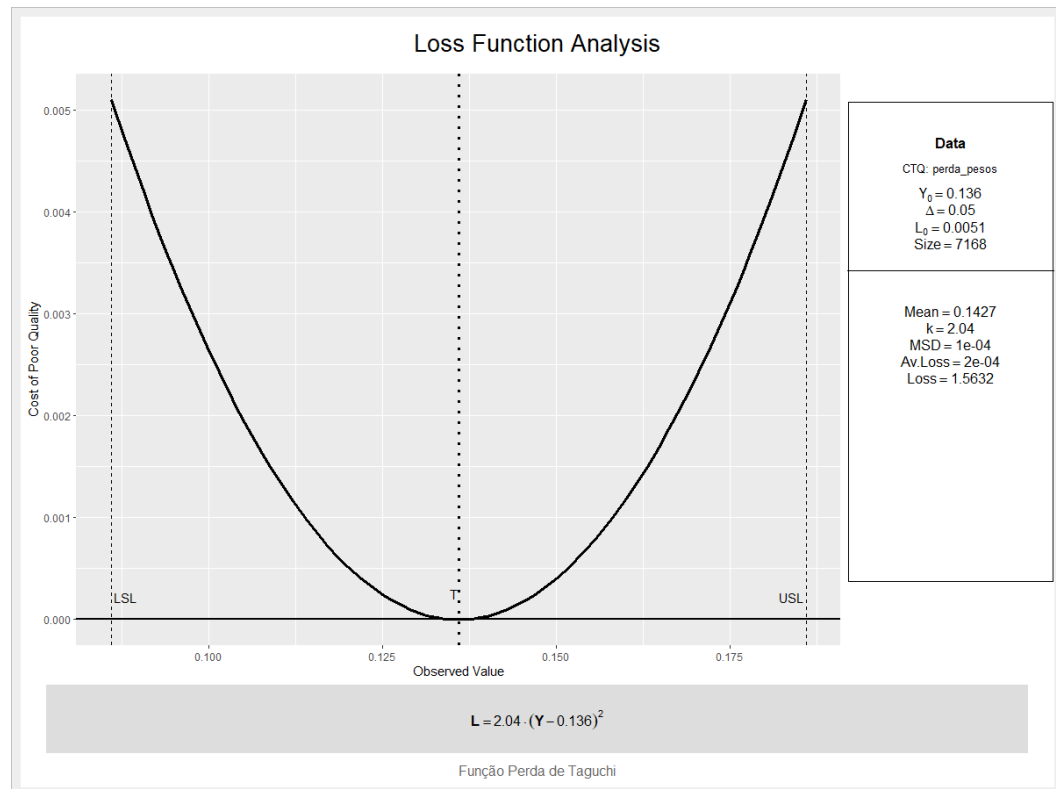
```

```

pesos <- data.frame(perda_pesos)
aL <- k * (sum((pesos$perda_pesos - 0.136)^2))/length(pesos$perda_pesos)
print(aL)
prod.m <- 7168
pem <- prod.m * aL
print(pem)
ss.lfa(pesos, "perda_pesos", delta, y0, L0,
      lfa.sub = "Função Perda de Taguchi",
      lfa.size = prod.m, lfa.output = "both")

```

Figura 12: Gráfico da Função de Perda de Qualidade



As análises de Estabilidade, de Capabilidade e de Perda de qualidade realizadas permitiram diagnosticar o comportamento do processo para subsidiar as ações corretivas, evitando a fabricação de produtos de qualidade inferior as especificadas e contribuir para os programas de melhoria contínua. Estas análises podem ser consideradas relevantes, pois a empresa ainda não havia implementado este tipo de estudo do controle estatístico da qualidade.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o desempenho do processo de fabricação de biscoitos de uma indústria alimentícia de grande porte baseado no Controle Estatístico da Qualidade. A aplicação desta abordagem foi dividida em 3 etapas: a Análise de Estabilidade, a Análise da Capabilidade e a Análise da Função de Perda da Qualidade para avaliar o desempenho do processo de fabricação de biscoitos do tipo tortinha de uma empresa de grande porte.

Na análise de Estabilidade realizada neste trabalho, a carta de controle para proporção (Carta p) não apresentou pontos fora dos limites de controle, o que caracteriza um processo estável. Entretanto os limites de controle obtidos pela Carta *Beta* apontaram a ocorrência de causas especiais (ponto fora dos limites de controle). Este fato é devido à carta Beta apresentar limites de controle mais próximos da linha média quando comparada com a carta p tradicional, e no caso indica um provável alarme falso, pois os pontos seguintes estão dentro dos limites de controle. Nas cartas de controle CUSUM e EWMA não foram identificados pontos fora dos limites de controle, e dessa forma pode ser considerado como processo estável, pois a variação está dentro dos limites de controle. Este estudo permitiu um diagnóstico de um processo estável ao utilizar cartas de controle robustas o monitoramento, permitindo uma melhor precisão do processo, aderente aos resultados dos indicadores de qualidade da empresa.

Na análise de Capabilidade do processo, os índices de capacidade foram calculados considerando os limites de especificação para a razão da perda de peso definidos para a produção de $LIE = 0,10$ e $LSE = 0,17$, forneceu os valores de índice de capacidade C_p de 1,47 e C_{pk} de 1,15 considerando um processo capaz de atender as especificações. A partir dos dados obtidos, foi analisado o nível sigma do processo considerando os dados especificados. O nível sigma do processo atual é de $\sigma = 3,89$. Ao comparar o nível sigma com as perspectivas de processo altamente capaz e processo centralizado na média, percebe-se que direcionar esforços para centralizar o processo na média é mais vantajoso. Geralmente é mais simples e mais barato tomar medidas para centralizar o processo no alvo desejado do que atuar na redução do desvio padrão das amostras coletadas.

Na análise da Função de Perda da qualidade do processo, o valor do coeficiente de perda ($k = R\$2,04$) foi considerado baixo, indicando uma perda de qualidade pequena. O resultado encontrado do valor de k reforça a estabilidade encontrada no processo, apresentando perdas relativamente pequenas em comparação ao volume de produção.

Destaca-se que, a aplicação de técnicas do controle estatístico da qualidade proporcionou a empresa um melhor controle do seu processo produtivo, possibilitando a redução de perdas de qualidade como reprocesso, sobrepeso e descarte dos produtos. A realização deste estudo viabilizou uma maior compreensão do desempenho do processo de fabricação, buscando identificar causas especiais e contribuindo para o controle da qualidade.

3.1.1 *SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS*

Esta pesquisa buscou aplicar uma metodologia para monitorar características da qualidade com o intuito de reduzir as variações no produto final, e com isso, reduzir as perdas do processo. A partir da abordagem proposta, surgem algumas sugestões pertinentes que podem ser investigadas em trabalhos futuros:

- Como o objetivo deste trabalho foi direcionado ao controle da perda de peso (g) dos biscoitos, as outras variáveis mensuradas não foram estudadas, como: molde de operação; espessura (mm); comprimento (mm); largura (mm); temperatura da massa crua (°C); e temperatura do forno (°C). Sendo, portanto, uma sugestão de realizar um estudo usando as Cartas de Controle Multivariadas.
- No contexto de Controle Estatístico Multivariado, pode-se realizar estudos de correlação e não-linearidades dos dados do processo, e aplicar cartas de controle baseadas em Componentes Principais ou Kernel.
- Sugere-se também a aplicação de outras ferramentas de melhoria contínua baseadas nos conceitos das metodologias *Lean Six Sigma* ou *Zero Defect Manufacturing* ou *World Class Manufacturing* para avaliação da qualidade do processo de fabricação de biscoitos.

4 REFERÊNCIAS

- ABIA – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. **Relatório Anual 2020**. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/>> Acesso em: 10 abr. 2021.
- ABRÃO, O. J., CARDOSO, Á. A. **Utilização do controle estatístico de processo atrelado às ferramentas da qualidade no monitoramento do peso das embalagens do produto final: um estudo de caso em uma indústria química**. Brazilian Journal of Development, 6(9), 65241-65257, 2020.
- AKELLA, S. **Taguchi loss function estimate to evaluate the robust outcome of student's performance in a pandemic situation**. Paper ID – 1001, Lessons Learnt From Covid'19 And The Action Plans To Face Future Pandemic, 2021
- ALENCAR, J.R.B.; LOPES, C. E.; SOUZA, M. **Monitoramento do processo de compressão de comprimidos de captopril utilizando controle estatístico de processo**. Rev. Bras. Farm, pag 87-97, 2007.
- BADARÓ, A. C.; AZEREDO, R. M.; ALMEIDA, M. E. **Vigilância Sanitária de Alimentos: Uma Revisão**. Revista Digital de Nutrição: Nutrir Gerais, 2007.
- BERMISIS, S.; KOUTRAS M.V.; MARAVELAKIS, P. E. **A compound control chart for monitoring and controlling high quality processes**. European Journal of Operational Research 233 (3);595-603, 2014.
- CANO, E. L.; MOGUERZA, J.M.; REDCHUK, A. **Six Sigma with R – Statistical Engineering for Process Improvement**. Madrid, 2012.
- CANO, E.L.; MOGUERZA, J.M.; CORDOBA, M.P. **Quality Control With R – NA Standards Approach**. Spain: Springer, 2015.
- CAVALCANTE, D. J. V.; OLIVEIRA, J. A. M.; CAMARGO, A. F; HENRIQUE, R. **Aplicação do controle estatístico de processo em uma empresa do setor de artigos de couro**. 2019
- CORRÊA, H. L. et al. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2008.

- CORREA, J.M.; SILVA, R.F.; MOURA, L.L. **Controle Estatístico de Processo para avaliar a produção de medicamentos sob a forma de cápsulas**. INOVAE Journal of Engineering and Technology Innovation, São Paulo, 2015.
- COSTA NETO, P. L. de O.; CANUTO, S.A. **Administração com qualidade: conhecimentos necessários para a gestão moderna**. São Paulo: Blucher, 2010.
- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.C; CARPINETTI, L.R. **Controle estatístico de Qualidade**. 2ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- CRESPO, A. N.; CONTIERI, G. R.; SILVA, R. C. da. **A IMPORTÂNCIA DA CAPACIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO**. Ensaio USF, 2(1), 22–40, 2018 <https://doi.org/10.24933/eusf.v2i1.35>
- DONIN, M. **Proposta de melhoria baseada na metodologia DMAIC em uma unidade de pronto atendimento de saúde**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- DORA, M., KUMAR, M., VAN GOUBERGEN, D., MOLNAR, A., & GELLYNCK, X. **Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs**. Trends in Food Science & Technology, 31(2): 156-164, 2013.
- FEITOSA, R.F.; LAZARI, T.A. **Análise da qualidade na fabricação de postes de concreto por meio da ferramenta de cartas de controle: um estudo de caso**. UNIR – Rondônia, 2019.
- FRANCO, B. C.; CELANO, G.; CASTAGLIOLA, P.; COSTA, A. F. B. **Economic design of Shewhart control charts for monitoring autocorrelated data with skip sampling strategies**. International Journal of Production Economics, 15 (5): 121-130, 2014.
- GOMES, A. H. S.; LIMA, G.M.; FERREIRA, D. D. J. L.; VASCONCELOS, G. N.; PEDROZA, J. P.; LIMA, V. L. A. D. **Controle estatístico aplicado a uniformidade de distribuição em unidades gotejadoras operando com água residuária**. IRRIGA, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 719–727, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n4p719-727.

- HABER, J.; MEGLIORINI, E.; OLIVEIRA, M. C. **Controle estatístico de processo: estudo de caso em uma indústria de alimentos.** Brazilian Journal of Development, 4(7), 3911-3925, 2018.
- HENNING, E., ARAÚJO, N. G. A., ALVES, C. C., ZVIRTES, L. **Aplicação de gráficos de controle multivariados baseados na projeção de dados via análise de componentes principais.** Produção em Foco, 2011.
- IRWANTO, M.M.; PURBA, H.H. **Filling Capability Analysis For Shampoo Production: A Case Study In The Manufacturing Industry.** Atlantis Press, 2019.
<https://doi.org/10.2991/icbmr-18.2019.13>
- LANEY, D B. **Improved Control Charts for Attributes.** Quality Engineering, 14(4), 531-537, 2002.
- LIM, S. A. H. **Statistical Process Control (SPC) in the food industry – A systematic review and future research agenda.** Trends In Food Science & Technology, 37(2): 137-151, 2014.
- LIZARELLI F. L.; BESSI N. C.; OPRIME P. C.; AMARAL R. M.; CHAKRABORTI, S. A **bibliometric analysis of 50 years of worldwide research on statistical process control.** Gestão & Produção, São Carlos, v. 23, n. 4, p. 853-870, 2016.
- LUCAS, J. M., & SACCUCCI, M. S. **Exponentially weighted moving average control schemes: properties and enhancements.** *Technometrics*, 1990.
<http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1990.10484583>.
- MANLEY, D. **Manley's technology of biscuits, crackers and cookies.** Cambridge: Woodhead Pub., 2011.
- MARTINS, A.S., SANTOS, J.K.C., BASTISTA, N.S., OURIQUES DE OLIVEIRA, M.A. COSTA OLIVEIRA, A.T., ALENCAR, J.R.B. **Monitoramento do processo de envase de salbutamol xarope utilizando controle estatístico.** Revista Brasileira de Farmácia, Rio de Janeiro, 2008.
- MATIAS, G. C. **Utilização de Ferramentas da Qualidade na Busca de Melhoria Contínua em Indústria de Alimentos.** Revista Especialize On-line IPOG. Goiânia, 2014.

- MEDRI, V., PEREIRA, G. V., & LEONHARDT, J. H. **Função perda de Taguchi aplicada na criação de tilápia no Nilo *Oreochromis niloticus* alimentadas com diferentes níveis de levedura alcooleira alocada em caixa de amianto.** Boletim do Instituto de Pesca, 25(único), 85-94, 2018.
- MELLO, C. H. P. **Gestão da qualidade.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.
- MENDES, H. D. O. **Otimização de parâmetros de corte no processo de torneamento CNC.** (Doctoral dissertation) Instituto Politecnico de Braganca, Portugal, 2018.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control** (4.ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2004
- MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- MORAES, N. T.; GUERRA, M.; CORSO, L. L. **Controle estatístico de processo (cep) na análise da composição química de uma liga metálica de ferro fundido nodular.** 2019
- OLIVEIRA, G. D.; SANTOS, J. D.; SILVA, V. L.; Röder, C. **Aplicação do controle estatístico do processo em uma indústria de autoadesivos.** Exacta, 16(2), 135-154, 2018.
- PAGE, E.S. **Continous Inspection Schemes,** Biometrika, 41(1) 100-115, 1954.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P. & CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **METODOLOGIA DO TRABALHO CINETÍFICO: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2013.
- RAJNISH K.; SIDHARTHA, S. P.; ASHUTOSH S. **Supplier selection of na Indian heavy locomotive manufacturer: Na integrated approach using Taguchi loss function, TOPSIS, and AHP.** IIMB Management Review, Volume 31, Issue 1, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.08.008>
- RAMOS, A. W. **Cep para processos contínuos e em bateladas.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2000.

- RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.S. **Controle Estatístico do Processo**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2010.
- ROBERTS, S.W. (1959) **Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages**. *Technometrics*, 1, 239-250. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1959.10489860>
- RODRIGUES, M. V. **Ações para a qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ROTONDARO, R. et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.
- ROY, R. K. **A Primer on the Taguchi Method**. New York, 1990.
- SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico da qualidade**. 5º ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- SANT'ANNA, A.M.O.; CATEN, C.S. **Beta control charts for monitoring fraction data**. *Expert Systems with Applications* 39, 10236-10243, 2012.
- SANTOS, B.P.T. **Controle estatístico de processo aplicado à indústria de alimentos**. 2021. 103f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2021.
- SHEWHART, W. A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. Princeton: Van Nostrand Co., (1924) 501 p.
- SHOJAEI, P., HAERI, S.A.S.; MOHAMMADI, S. **Airports evaluation and ranking model using Taguchi loss function, best-worst method and VIKOR technique**. *Journal of Air Transport Management*, Volume 68, 2018, Pages 4-13, ISSN 0969-6997. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.05.006>
- SILVA, A. L. F.; NOQUEIRA, E. L.; CAMPOS, W. S. et al., **Using control charts for variables (x and R): study on the diameter of the screws using the minitab® software**. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 2019.
- 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.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

- SORIANO, F.R., OPRIME, P.C., LIZARELLI, F. L. **Os fatores que devem ser considerados para uma efetiva implantação do controle estatístico de processo (CEP): uma revisão de literatura.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, 2020.
- TEIXEIRA, M. J. M. **O método Taguchi aplicado ao estudo do curtume do couro sem crômio** (Doctoral dissertation), 2018.
- TORREZANI, L.; KIELING, A.C.; SILVA, R.N.A.; FREITAS, B.M. **Carta de controle para análise da estabilidade de processo em ICP-OESI.** American Research Thoughts-Volume 1, 2015
- VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- VINING, G.; KULAHCI, M.; PEDERSEN, S. **Recent Advances and Future Directions for Quality Engineering.** Quality and Reliability Engineering International, 32(3): 863-875, 2016.
- WOODALL, W. H.; MONTGOMERY, D. C. **Some current directions in the theory and application of statistical process monitoring.** Journal of Quality Technology, 46(1): 78-94, 2014.
- XIE, M.; GOH, T.N.; KURALMANI, V. **Statistical models and control charts for high quality processes.** Massachusetts: Kluwer Academic Publication, 2002.
- ZHANG, J.; LI, W.; WANG, K.; JIN, R. **Process adjustment with an asymmetric quality loss function.** Journal of Manufacturing Systems 33: 159-165, 2014.

5 APÊNDICE

Tabela 3: Dados utilizados para a análise do processo e fabricação de biscoitos

Amostra	Fração	Amostra	Fração	Amostra	Fração	Amostra	Fração	Amostra	Fração	Amostra	Fração
1	0,1418	21	0,1286	41	0,1376	61	0,1408	81	0,1464	101	0,1461
2	0,1385	22	0,1464	42	0,1499	62	0,15	82	0,1436	102	0,1481
3	0,1402	23	0,1423	43	0,1302	63	0,1459	83	0,1371	103	0,1418
4	0,1415	24	0,132	44	0,1416	64	0,1312	84	0,1519	104	0,1349
5	0,1371	25	0,1417	45	0,1467	65	0,1358	85	0,1434	105	0,1287
6	0,1463	26	0,1409	46	0,1373	66	0,1368	86	0,1413	106	0,1354
7	0,1391	27	0,1436	47	0,1526	67	0,1362	87	0,1597	107	0,1481
8	0,1311	28	0,1348	48	0,1475	68	0,151	88	0,1393	108	0,1317
9	0,1463	29	0,1486	49	0,1378	69	0,1549	89	0,1403	109	0,1338
10	0,1445	30	0,1488	50	0,1498	70	0,1423	90	0,1496	110	0,137
11	0,1529	31	0,15	51	0,1472	71	0,132	91	0,135	111	0,1488
12	0,1274	32	0,1473	52	0,1398	72	0,1441	92	0,1528	112	0,1346
13	0,1403	33	0,1528	53	0,1436	73	0,1453	93	0,1423	113	0,1499
14	0,1431	34	0,1491	54	0,1444	74	0,1481	94	0,1283	114	0,1484
15	0,1394	35	0,1511	55	0,1478	75	0,1545	95	0,1483	115	0,1566
16	0,1381	36	0,1404	56	0,1415	76	0,1495	96	0,1117	116	0,1398
17	0,1439	37	0,1443	57	0,1371	77	0,1385	97	0,1608	117	0,1511
18	0,156	38	0,1393	58	0,1651	78	0,1389	98	0,1556	118	0,1408
19	0,1492	39	0,1318	59	0,1421	79	0,1387	99	0,1344		
20	0,142	40	0,1398	60	0,1332	80	0,1406	100	0,1413		