



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA (FCT)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (PPGEP)

CAMILA CUMANI PAVEZZI

O método seis sigma como uma evolução do controle estatístico de processos desenvolvimento de um modelo customizado

APARECIDA DE GOIÂNIA
2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES
E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Camila Cumani Pavezzi

3. Título do trabalho

O MÉTODO SEIS SIGMA COMO UMA EVOLUÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CUSTOMIZADO

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Julio Cesar Valandro Soares, Professor do Magistério Superior**, em 24/09/2021, às 14:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CAMILA CUMANI PAVEZZI, Discente**, em 30/09/2021, às 13:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2364216** e o código CRC **E9D998A8**.

CAMILA CUMANI PAVEZZI

O método seis sigma como uma evolução do controle estatístico de processos desenvolvimento de um modelo customizado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gestão estratégica e operacional da produção.

Linha de pesquisa: Gerenciamento de sistemas produtivos.

Orientador: Professor Doutor Júlio Cesar Valandro Soares.

APARECIDA DE GOIÂNIA
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pavezzi, Camila Cumani

O método seis sigma como uma evolução do controle estatístico de processos desenvolvimento de um modelo customizado [manuscrito]
/ Camila Cumani Pavezzi. - 2021.
82 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Valandro Soares.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Aparecida de Goiânia, 2021.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Controle estatístico de processo. 2. Seis sigma. 3. Variabilidade. 4. Qualidade. 5. Indústria alimentícia. I. Soares, Júlio Cesar Valandro, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 10 da sessão de Defesa de Dissertação de **Camila Cumani Pavezzi**, que confere o título de Mestra em **Engenharia de Produção**, na área de concentração em **Gestão Estratégica e Operacional da Produção**.

Aos vinte dias do mês de setembro de dois mil e vinte e um, a partir das 14h00min, de forma virtual através da plataforma Google Meet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “O MÉTODO SEIS SIGMA COMO UMA EVOLUÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO CUSTOMIZADO”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Júlio Cesar Valandro Soares (PPGEP/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Nadya Regina Galo (PPGEP/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professora Doutora **Núbia Rosa da Silva Guimarães (PPGEP/UFCAT)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Júlio Cesar Valandro Soares**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte dias do mês de setembro de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Modelo customizado integrando seis sigma e controle estatístico de processo para redução de custos no processamento industrial de tomate



Documento assinado eletronicamente por **Julio Cesar Valandro Soares, Professor do Magistério Superior**, em 19/10/2021, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nubia Rosa da Silva Guimarães, Professora do Magistério Superior**, em 19/10/2021, às 17:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nadya Regina Galo, Professora do Magistério Superior**, em 19/10/2021, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2426537** e o código CRC



61E42544.

Referência: Processo nº 23070.044353/2021-26

SEI nº 2426537

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho, em especial ao meu orientador Professor Dr. Júlio Cesar Valandro Soares, que me apoiou e me instruiu em todos os momentos dessa caminhada, e meus familiares e amigos que me incentivaram a buscar esse desenvolvimento profissional. Agradeço também aos demais membros do corpo docente do Programa de Pós-Graduação da FCT, me sinto honrada em fazer parte da primeira turma do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção.

RESUMO

Os conceitos estatísticos são fundamentais para reduzir desperdícios causados por não qualidade em diversos processos, por meio da redução de sua variabilidade, destacando-se o controle estatístico de processos e o método seis sigma, que são voltados para monitoramento rápido. Ambos trazem os conceitos de gráficos de controle, avaliação de capacidade de processo e análises de causa raiz como propulsores da otimização nos mais diversos setores. Porém, conforme pesquisa bibliométrica realizada, ainda há poucos trabalhos envolvendo tais métodos combinados. Nesse sentido o estudo traz a relevância desse tema por meio de uma aplicação em uma indústria alimentícia, mais especificamente na fabricação de molhos de tomate, com o objetivo de estudar a variabilidade do parâmetro de formulação °brix, com base no desenvolvimento de um modelo customizado ao processo em estudo que traga uma maior previsibilidade ao processo. Para a realização da pesquisa foram coletados dados de um processo contínuo, elaboradas cartas de controle, histogramas e foi analisado o nível sigma do processo. Também foram coletados depoimentos dos principais atores do processo para avaliação das causas de variabilidade. Foi observado que inicialmente o processo estava centralizado, porém com variabilidade fora dos limites de controle, sendo constatado um nível 4,15 sigma para o processo, gerando 0,4% de produtos fora das especificações de projeto. Após as propostas de melhoria, o processo tornou-se mais centrado em seus limites, com uma redução de 9% no valor de desvio padrão e 48% no número de defeitos gerados, constatando a redução de variabilidade. Todo o estudo foi embasado pelo desenvolvimento de um modelo customizado ao processo, considerando suas particularidades, tendo um passo a passo de como aplicar os métodos combinados na organização. Por fim, a pesquisa demonstrou a relevância a aplicabilidade dos métodos CEP (Controle Estatístico de Processos) e seis sigma no âmbito científico, como uma referência para estudos similares nessa área de conhecimento.

Palavras-chave: Controle estatístico de processo. Seis sigma. Variabilidade. Qualidade. Indústria alimentícia.

ABSTRACT

Statistical tools are fundamental to reduce waste caused by non-quality in several processes, through the reduction of their variability, highlighting the statistical process control and the six sigma method, which are focused on fast monitoring. Both bring the concepts of control charts, process capability assessment and root cause analysis as drivers of optimization in various sectors, however, according to the bibliometric research carried out, there are still few studies involving such methods combined. In this sense the study brings the relevance of this theme through an application in the food industry, more specifically in the manufacturing of tomato sauces, aiming to study the variability of the formulation parameter °brix, based on the development of a customized model to the process under study that brings greater predictability to the process. To conduct the research, data from a continuous process were collected, control charts and histograms were elaborated, and the process sigma level was analyzed. Statements were also collected from the main actors in the process to evaluate the causes of variability. It was observed that initially, the process was centralized, but with variability outside the control limits, being verified a 4.15 sigma level for the process, generating 0.4% of products outside the design specifications. After the optimization proposals, the process became more centered in its limits, with a 9% reduction in the standard deviation value and a 48% reduction in the number of defects generated, verifying the variability reduction. The entire study was based on the development of a customized model for the process, considering its particularities, with a step-by-step guide on how to apply the combined methods in the organization. Finally, the research demonstrated the relevance and applicability of the SPC and six sigma methods in the scientific field, as a reference for similar studies in this area of knowledge.

Keywords: Statistical process control. Six sigma. Variability. Quality. Food industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípios básicos do controle estatístico	24
Figura 2 - Modelo de diagrama de causa e efeito	29
Figura 3 - Número de publicações de CEP/seis sigma por ano	31
Figura 4 - <i>Clusters</i> de palavras chave	32
Figura 5 - Principais áreas de conhecimento de publicações CEP/seis sigma	33
Figura 6 - Etapas gerais de processamento industrial de molhos de tomate	36
Figura 7 - Teste <i>1 Sample t</i> para tamanho de amostra	38
Figura 8 - Modelo de refratômetro utilizado para coleta de dados	39
Figura 9 - Estrutura e sequência de procedimentos da pesquisa	44
Figura 10 - Fluxograma do processamento industrial de tomate	45
Figura 11 - Sistema de visão para separação de tomates	46
Figura 12 - Principais desvios no processo produtivo	48
Figura 13 - Fluxograma específico das etapas de evaporação e mistura	50
Figura 14 - Teste de normalidade dos dados	52
Figura 15 - Carta I-AM inicial	55
Figura 16 - Carta I- AM inicial contendo regras de alarmes	57
Figura 17 - Histograma do comportamento do parâmetro °brix	60
Figura 18 - Capacidade a nível sigma do processo	61
Figura 19 - Comparação de variabilidade entre turnos produtivos	62
Figura 20 - Diagrama de causa e efeito	64
Figura 21 - Gráfico de Pareto	66
Figura 22 - Carta de controle após resultados	69
Figura 23 - Modelo customizado proposto para o caso estudado	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de defeitos de acordo com nível sigma de um processo	27
Tabela 2 - Estatística descritiva para os dados iniciais	53
Tabela 3 - Teste de <i>Grubbs</i> para detecção de <i>outliers</i>	54
Tabela 4 - Número de ocorrências de alarmes	58
Tabela 5 - Comparação dos principais parâmetros antes e depois do estudo	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definição da variável do processo	37
Quadro 2 - Plano de amostragem do processo	40
Quadro 3 - SIPOC do processo	51
Quadro 4 - Análise 5 porquês do processo	67
Quadro 5 - 5W1H aplicado às principais causas	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AM – Amplitude Móvel
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- C_p – Índice de Capabilidade
- C_{pk} – Índice de Capabilidade Unilateral
- CEP – Controle Estatístico de Processo
- DMAIC – *Define Measure Analyze Improve and Control*
- DPMO - Defeitos por Milhão de Oportunidades
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FDA – *Food and Drug Administration*
- GUT – Gravidade Urgência e Tendência
- ISO – *International Organization for Standardization*
- LC – Linha Central
- LIC – Limite Inferior de Controle
- LIE – Limite Inferior da Especificação
- LM – Linha Média
- LSC – Limite Superior de Controle
- LSE – Limite Superior da Especificação
- NBR – Norma Brasileira
- P_d – Poder de teste
- PIB – Produto Interno Bruto
- P_{pk} – Índice de capacidade global
- Ppm – Partes por milhão
- RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
- SIPOC – *Suppliers Inputs Process Outputs and Customers*
- 5W2H – *What Who Where When Why How and How Much*
- 6M – Material, Medida, Mão de obra, Método, Máquina e Meio ambiente

LISTA DE SÍMBOLOS

μ – Média da população

σ – Desvio padrão da população

t – Distribuição t de Student

α – Nível de significância

Z – Distribuição normal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Considerações iniciais	16
1.2 Contextualização do estudo	18
1.2.1 Delimitação do tema do problema de pesquisa	18
1.2.2 Objetivos gerais e específicos	19
1.2.3 Justificativa	20
1.3 Estrutura da dissertação	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 Controle de qualidade	22
2.2 Controle estatístico de processos	23
2.2.1 Cartas de controle	23
2.2.2 Capabilidade de processos	25
2.3 Método seis sigma	26
2.3.1 Estrutura DMAIC	28
2.4 Ferramentas utilizadas em projetos CEP e seis sigma	28
2.5 Relação entre CEP e seis sigma – considerações de cunho bibliométrico	31
2.6 Aplicações de CEP e seis sigma – cases	34
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	35
3.1 Tipificação da pesquisa	35
3.2 Objeto de pesquisa	36
3.3 Coleta de dados	37
3.3.1 Pesquisa Bibliométrica	37
3.3.2 Variável de medição	37
3.3.3 Plano de amostragem	38
3.4 Análise dos dados	40
3.4.1 Análise de normalidade dos dados	40
3.4.2 Análises estatísticas descritivas	41
3.4.3 Análise das ferramentas de CEP	41
3.4.4 Análise das ferramentas de seis sigma	42

3.4.5	Proposição de modelo adaptado ao estudo	43
3.5	Estrutura da pesquisa	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Caracterização geral do processo estudado	45
4.2	Análise inicial do contexto pesquisado	48
4.3	Aplicação do método CEP/ seis sigma no objeto de estudo	51
4.3.1	Análises descritivas básicas acerca dos dados coletados	51
4.3.1.1	Normalidade dos dados	51
4.3.1.2	Estatística descritiva	52
4.3.1.3	Teste de <i>outlier</i>	54
4.3.2	Análises descritivas CEP	55
4.3.3	Análises descritivas seis sigma	59
4.3.3.1	Histograma	59
4.3.3.2	Análise de capacidade/variabilidade	60
4.3.3.3	Análise <i>box plot</i>	62
4.3.3.4	Diagrama de causa e efeito	63
4.3.3.5	Priorização de causas especiais	65
4.3.4	Propostas de melhoria	66
4.3.5	Validação das propostas de otimização	69
4.4	Modelo customizado e simulado para implementação de CEP/seis sigma	70
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE A – QUADRO MATRIZ GUT	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A constante busca pela qualidade para atender a satisfação dos consumidores é um dos grandes desafios das empresas que buscam destaque no mercado. O crescimento da pressão competitiva e as demandas de inovação fazem com que as empresas se concentrem em novas estratégias para melhorar os processos de produção, variedade de produtos e qualidade a fim de satisfazer as necessidades de seus clientes (SIBANDA; RAMANATHAN, 2020). Muitas empresas possuem altos custos com a não qualidade de seus produtos, pois não conseguem ter o processo produtivo sob controle, gerando defeitos, desperdícios e conseqüentemente prejuízos financeiros, impactando diretamente nos seus negócios. Nessa linha de pensamento, Paladini (2019) destaca que deve existir estratégias de qualidade flexíveis e adaptáveis nas empresas, com conhecimentos sobre produtos produzidos e sua variabilidade.

Para cumprir os requisitos dos clientes as empresas necessitam oferecer produtos em conformidade com as especificações e legislações vigentes. Filgueiras (2013) traz a concepção de que a maioria dos processos são analisados predominantemente em termos de objetivos de especificação, não necessariamente operando em condições ótimas ou mantendo o processo controlado estatisticamente. Nesse sentido, os conceitos estatísticos, voltados à melhoria contínua, têm se mostrado fundamentais para impulsionar e potencializar a competitividade. Ahmed (2018) defende que há muitos benefícios em utilizar tais conceitos em atividades de desempenho organizacional, como redução de custos, melhora de desempenho, redução de tempo de ciclo, tempo total de fabricação ou processo de serviço.

Um método estatístico tradicional muito utilizado para avaliar o comportamento de um processo é o CEP (Controle Estatístico de Processo), onde compara-se os resultados de um processo com os padrões exigidos, identificando tendências e variações com base em dados estatísticos (PEINADO; GRAEML, 2007). Santos; Martins (2008), sugerem que uma evolução desse conceito é o seis sigma, que tem o foco na redução da variação, medição, coleta de dados, foco em processos e satisfação de cliente. Para Werkema (2011), o conceito de seis sigma é reduzir a variabilidade a seis desvios padrão para gerar menos defeitos. Vinod (2015) defende que o seis sigma tem se destacado como premissas de projetos no ambiente produtivo, pois sua implementação facilita a obtenção de uma melhoria contínua da qualidade sem perder a rentabilidade. Grandes empresas, como General Electric e Motorola, obtiveram benefícios financeiros e organizacionais com esse projetos (ABOELMAGED, 2010).

Os estudos de utilização de controles estatísticos possuem grande aplicabilidade nos processos industriais, dentre os quais o setor alimentício, que constitui a maior indústria no Brasil, representando 10,6% do produto interno bruto (PIB) brasileiro (ABIA, 2021). Desai (2015) afirma que a indústria de transformação comercial de alimentos tem uma forte ligação a práticas de qualidade, e os gestores devem assim considerar como manter a rentabilidade e proporcionar cada vez mais produtos de alta qualidade e serviço eficiente. Além disso, a ABNT (2018), em sua norma NBR ISO 22000 que estabelece as diretrizes as normas reguladoras de sistema de gestão para fabricação de alimentos, afirma que os controles estatísticos estão relacionados à garantia da qualidade fortemente associada com a segurança do consumidor e com os riscos de comprometimento da sanidade dos produtos. Por isso consequentemente o setor de industrialização necessita oferecer produtos em conformidade com as especificações e legislações, para atender aos requisitos e proporcionar maior qualidade ao produto final.

Além do risco à saúde dos consumidores pela falta de controle nos processos industriais, o desperdício de alimentos deve ser reduzido. No Brasil, 10% de tudo que é produzido se torna resíduo alimentar, um número aproximado de 26 milhões de toneladas de alimentos, quantidade suficiente para alimentar 40 milhões de pessoas, cerca de 5,5 vezes o número de habitantes famintos no país (EMBRAPA, 2018). O gasto total estimado na geração de todo esse lixo no planeta é o equivalente a 1 trilhão de dólares, valores superiores ao PIB de muitos países, tendo como efeito mundial grandes impactos econômicos (CEDES, 2018). Dentro dessa perspectiva, o estudo de controle estatístico de processos voltado para esse tipo de indústria, especialmente quando trata-se de produtos perecíveis, como por exemplo a indústria de derivados de tomate, torna-se fundamental para contribuir com os patamares competitivos, justamente em função dos benefícios referidos anteriormente.

No caso do processamento de derivados de tomate, estes dão origem a uma série de produtos, como purês, extratos, molhos, tomates descascados, *ketchup*, e molhos de pimenta, entre outros. Nesta perspectiva e considerando a variedade de produtos, essa pesquisa contempla o estudo do processamento de molhos de tomate, os quais são produzidos a partir da mistura de polpa de tomate e demais ingredientes em um processo contínuo. Conforme Silva; Giordano (2000), a principal matéria-prima para a fabricação de extratos e molhos é a polpa de tomate. Na elaboração da polpa concentrada a qualidade da matéria-prima depende do cultivo utilizado, das condições climáticas das áreas de produção, do processamento, do estágio de maturação, dos cuidados na colheita e no transporte, e do intervalo de tempo transcorrido entre a colheita e o processamento (EMBRAPA, 2003).

A polpa de tomate apresenta uma variabilidade em relação aos parâmetros físico-químicos necessários para garantir a qualidade do produto final, dentre estes o °brix, viscosidade, pH, cor e acidez. De acordo com os cultivares de tomate utilizados e condições climáticas pode-se perceber características diferentes que necessitam ser consideradas ao longo do processo produtivo para atendimento às especificações. Dentro desse contexto, os métodos CEP e seis sigma mostram-se muito úteis para essa aplicação, uma vez que tais conceitos visam garantir um processo mais estável e previsível.

Nesse sentido, o presente trabalho traduz-se em uma abordagem para fortalecer a representatividade do tema no âmbito científico, a partir de um estudo realizado com base nas ferramentas de controle estatístico de processos e método seis sigma para redução de variabilidade de processos contínuos em larga escala. Dessa maneira, esse trabalho foi desenvolvido no contexto de um processo produtivo de uma indústria alimentícia no estado de Goiás, e será melhor detalhado e caracterizado na sequência desse documento. Assim sendo, foi investigada a aplicabilidade dos métodos apresentados, porém considerando particularidades inerentes ao objeto desse trabalho, de modo a gerar um produto com menor variabilidade, por meio da identificação e eliminação das principais causas de alarmes neste respectivo processo.

1.2 Contextualização do estudo

1.2.1 Delimitação do tema do problema de pesquisa

A problemática desse estudo envolve um dos principais parâmetros de qualidade avaliados no processamento de molhos de tomate que é o °brix, que diz respeito ao teor de sólidos solúveis na solução. Este atributo afeta diretamente as características do produto acabado, sendo este teor uma das principais características utilizadas para estimar o rendimento fabril. Qualquer desvio de °brix no processo pode acarretar em geração de defeitos, causando descartes e aumentando os custos.

Dentro dessas considerações, anuncia-se o tema deste trabalho, o qual volta-se para a “método seis sigma como uma evolução para controles estatísticos aplicados a uma organização industrial alimentícia”. Cabe ressaltar que a abordagem do trabalho envolve uma etapa específica do processo produtivo em análise. O estudo foi estabelecido para a etapa de processamento de molhos de tomate, que envolve a indústria da respectiva cadeia, desde a produção da matéria-prima até a etapa precedente ao envase do produto acabado.

A matéria-prima (tomate) trata-se de um produto perecível, com suas peculiaridades inerentes à toda a cadeia de produção agrícola. Sendo assim, o problema deste estudo pode ser traduzido pela seguinte questão de pesquisa: “Como elaborar um sistema de controle de processo, utilizando-se de forma integrada o CEP e o seis sigma, para diminuir os desperdícios, reduzir a variabilidade e melhorar previsibilidade no processo de fabricação de molhos de tomate?”

1.2.2 Objetivos gerais e específicos

Dentro do contexto da pesquisa foram utilizados os conceitos da estatística de controle de processos com o método seis sigma para avaliar o comportamento do parâmetro °brix da formulação de molhos de tomate. Dessa maneira, anuncia-se o objetivo geral do trabalho, que traduz-se em estruturar e aplicar uma solução customizada ao processo em estudo, utilizando-se, de forma integrada, do CEP e do seis sigma, no contexto do processo produtivo supracitado, na perspectiva de otimizá-lo, em termos de reduzir sua variabilidade e torná-lo mais previsível, reduzindo desperdícios relacionados à qualidade do produto final.

Para alcançar os objetivos do estudo serão realizadas as seguintes etapas:

- a) Pesquisar e descrever os princípios teóricos do controle estatístico de processos e seis sigma e correlacionar com o objetivo de estudo no sentido de investigar e adaptar ao contexto em estudo;
- b) Realizar um estudo bibliométrico sobre principais publicações recentes relacionadas ao tema;
- c) Coletar dados do parâmetro °brix no processo produtivo, por meio da realização de análises físico-químicas no ambiente fabril, para entender o comportamento real do processo junto à organização objeto desse estudo;
- d) Analisar o comportamento do atributo a ser estudado, por meio da construção de cartas e gráficos de controle, e nível sigma do processo, a fim de verificar a variabilidade do mesmo, utilizando-se de ferramentas do seis sigma para identificar a existência de causas de instabilidade e propor otimizações;
- e) Estruturar e propor normatizações de como utilizar a abordagem seis sigma na organização, quais os controles e padrões que devem ser criados para viabilizar um sistema de controle com acurácia e versátil ao respectivo processo, e que sirva de base para trabalhos futuros nessa área de conhecimento, com a

elaboração dos procedimentos operacionais customizados ao processo produtivo, além de trazer os benefícios da utilização de ferramentas estatísticas para a organização em termos financeiros.

- f) Com base na experiência vivenciada, estruturar um modelo, com base nos métodos seis sigma e CEP, adaptado e customizado ao contexto em estudo, na perspectiva de aferir um controle mais previsível e que gere menos desperdícios ao processo produtivo.

1.2.3 Justificativa

Primeiramente, no âmbito científico, conforme pesquisa realizada na base de dados *Scopus*, que será melhor caracterizada no tópico 2.5, ainda há poucos trabalhos publicados com a utilização dos métodos CEP e seis sigma combinados. A maioria das publicações envolvem os temas aplicados separadamente, por isso torna-se relevante o estudo com a complementação de um método com o outro, em busca de um modelo customizado. Pelo fato de o estudo ter um caráter aplicado envolvendo a indústria alimentícia, em um processo em larga escala, caracterizado por fabricação de um produto perecível, tais particularidades endossam a relevância da pesquisa.

De outro lado, do ponto de vista empresarial, Mahanti e Antony (2009) identificaram que a aplicação do seis sigma tem tornado possível às empresas, além de produzirem com maior qualidade, melhorarem o desempenho de seus processos e dos produtos, obtendo maior produtividade, reduzindo custos e aumentando a satisfação dos clientes. De acordo com Aboelmaged (2010), as economias registradas pela empresa Motorola ao aplicar o seis sigma foram mais de 16 milhões de dólares, colecionando mais empresas interessadas, como a Allied Signal, IBM e General Electric, que adotaram o seis sigma como requisito corporativo para as operações estratégicas e táticas em projetos de melhoria. Considerando o contexto da indústria de alimentos, esses métodos vieram posteriormente para auxiliar a melhoria de performance do processo fabril em termos de melhor desempenho.

Em relação à regulamentação de normas, a Anvisa (2003), que é o órgão que determina as normas relacionadas à rotulagem de alimentos, estabelece em uma resolução RDC 360 que a rotulagem nutricional compreende a declaração de valor energético e propriedades nutricionais, e deve ser seguida pelos fabricantes de alimentos visando conformidade com requisitos legais. O órgão ainda acrescenta que os alimentos podem ter uma variação de até 20% entre a informação da tabela nutricional e o valor real do nutriente do alimento. Em outras

palavras, estabelece-se que qualquer variação maior que 20% é considerada irregular. Nesse contexto, um dos principais motivos de descartes de produto acabado na organização em estudo são os desvios de tabela nutricional devido variações de parâmetros físico-químicos, chegando a ter prejuízos financeiros anuais significativos. Neste sentido, a investigação aqui desenvolvida pôde contribuir para diminuir a quantidade de defeitos na fabricação, pois quando há esse tipo de desvio há grandes riscos de o produto ter a sua composição alterada na tabela nutricional, gerando descartes e prejuízos financeiros para a empresa.

Por fim, o estudo do aprofundamento das ferramentas estatísticas relacionadas ao tema em questão torna-se relevante no sentido de trazer os padrões necessários e customizados como diferencial em relação ao controle estatístico habitual, com uma abordagem atual adaptada nos conceitos seis sigma.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação é composta por cinco capítulos, apresentados brevemente a seguir:

Capítulo 1 - Introdução: Nesse primeiro capítulo, o tema é contextualizado e delimitado seu escopo, considerando a literatura e as aplicações. Além disso são apresentados os objetivos do trabalho e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 - Fundamentação teórica: O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica sobre os métodos estatísticos CEP e seis sigma, e as principais ferramentas utilizadas para estudar tais temas. Além disso é apresentada uma pesquisa bibliométrica e alguns cases contendo aplicações em ambientes produtivos.

Capítulo 3 - Procedimentos metodológicos da pesquisa: No terceiro capítulo, são explanados os procedimentos e estrutura da pesquisa, contendo a coleta de dados e suas respectivas análises que serão realizadas ao decorrer do trabalho.

Capítulo 4 - Resultados e discussões: No capítulo 4, são apresentados os principais resultados obtidos com a pesquisa, através de análises estatísticas, além da proposição de um modelo customizado com base no contexto pesquisado.

Capítulo 5 - Considerações finais: O último capítulo traz as considerações finais sobre o estudo dos métodos CEP e seis sigma combinados, assim como sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Controle de qualidade

O conceito de qualidade é abordado sobre várias perspectivas no contexto dos produtos e serviços. De acordo com Montgomery (2009), qualidade significa a aptidão para o uso de um produto ou serviço oferecido por uma empresa. Crosby (1990) traz o conceito de “qualidade é a conformidade às especificações”, ou seja, tudo o que foi produzido dentro das conformidades de projeto. Independente da abordagem de percepções, a qualidade é um fator fundamental dentro das empresas, sendo diretamente relacionado à satisfação e engajamento dos consumidores, além de contribuir para redução de desperdícios no contexto produtivo.

A conformidade de um produto ou processo mostra se o mesmo atende às especificações definidas em projeto. Tais especificações determinam as características desejadas, os valores nominais esperados e os limites de tolerância, que são designados pelos limites inferior e superior especificados (LIE e LSE). Caso um produto esteja fora das especificações definidas, é classificado como não conforme. De acordo com Vieira (2012), o produto não conforme não é, necessariamente, inadequado para o uso, o mesmo só é considerado com defeito se tem não conformidades suficientemente sérias a ponto de impedir o uso.

Nos processos de fabricação de produtos a variabilidade em relação aos valores nominais está diretamente associada às características de qualidade. A orientação de Taguchi (1999) traz que a variabilidade pode ser vista em pelo menos dois aspectos, sendo o erro cometido quando os valores medidos ficam longe do alvo da característica (viés), e quando, na média, o alvo é respeitado, mas a dispersão (desvio-padrão) dos valores das medidas é inaceitável. Já Vieira (2012) aborda que a variabilidade das características de qualidade não pode ser eliminada, mas pode ser conhecida e controlada. A partir dessa base, pode-se afirmar que a qualidade de um produto ou processo aumenta à medida em que sua variabilidade diminui. Dentre os métodos utilizados para redução de variabilidade de processos, serão estudadas na sequência do trabalho o controle estatístico de processos e o seis sigma, que fornecem de maneira prática e rápida análises do comportamento de parâmetros de um processo produtivo.

2.2 Controle estatístico de processos

O primeiro passo para o desenvolvimento do controle estatístico de processos foi dado por Walter A. Shewhart, que desenvolveu e implementou na *Bell Telephone Laboratories* os gráficos de controle em 1924 (Costa et al., 2018). Posteriormente o uso da estatística nos processos alcançou diversos setores da indústria.

O CEP é um método que tem características preventivas, onde se identificam tendências e variações significativas, a partir de dados estatísticos. Isto é possível, comparando-se continuamente os resultados de um processo com os padrões exigidos, a fim de controlar, reduzir e eliminar variações, antes que o produto apresente distorções que escapem dos limites de qualidade definidos como aceitáveis. O CEP não é uma forma de resolver problemas, mas sim de detectá-los e medir sua extensão, para que se possa buscar uma solução (PEINADO; GRAEML, 2007).

Montgomery (2009) esclarece que para o estudo do controle estatístico torna-se necessário a utilização de cartas e gráficos de controle, conforme explanado em sequência.

2.2.1 Cartas de controle

Uma das principais ferramentas para avaliação estatística do CEP são as cartas de controle. A característica típica de uma carta de controle é de fazer uma representação gráfica de uma característica de qualidade, contendo uma linha central (LC) que consiste do valor médio das amostras, uma linha superior e inferior, denominados de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Os limites de controle determinam se o processo é estatisticamente estável ou não. Correa (2012) explica que para que o processo seja considerado sob controle estatístico, os pontos amostrais de uma variável qualquer devem estar situados dentro dos limites superior e inferior de controle. Conforme apresentado na Figura 1, os limites de controle compreendem as medições correspondentes a três desvios-padrão da amostragem, variável que corresponde às medidas de dispersão de um conjunto de dados.

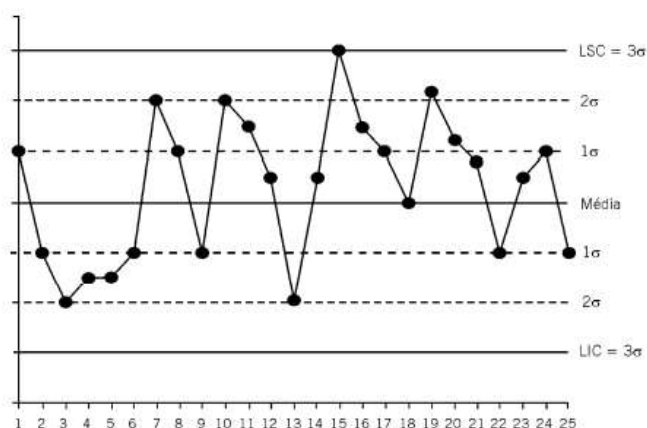


Figura 1 - Princípios básicos do controle estatístico

Fonte: Vieira, 2012.

Considerando uma distribuição normal dos resultados das medições com média μ e desvio padrão σ conhecidos, os limites de controle são calculados por meio das Equações (1), (2) e (3):

$$LSC = \mu + L\sigma \quad (1)$$

$$LC = \mu \quad (2)$$

$$LIC = \mu - L\sigma \quad (3)$$

Sendo L a “distância” dos limites de controle em relação à linha central (OLIVEIRA et al., 2013).

As cartas de controle podem ser classificadas em dois tipos: cartas de controle para variáveis, utilizadas para dados contínuos expressos por um número; e cartas de controle para atributos, utilizada para dados discretos, para determinar conformidade ou não de um item. De acordo com Oliveira (2013), as cartas de controle para variáveis mais conhecidas são:

- a) Cartas μ e R: média e amplitude;
- b) Cartas μ e s: média e desvio padrão;
- c) Cartas I e AM: valores individuais e amplitude móvel;
- d) CUSUM: soma cumulativa.

Em relação às cartas de controle para atributos pode-se citar:

- a) Cartas p: proporção de unidades não conformes;
- b) Cartas np: número de unidades não conformes;
- c) Cartas c: número de não conformidades por unidade;

d) Cartas u: taxa de não conformidades por unidade.

Em relação às cartas de controles I-AM, utilizadas neste estudo, Rodrigues (2013) aborda que as cartas de controle de variáveis de valores individuais são utilizadas quando por razões operacionais só é possível obter um valor por amostra ou lote. Estes tipos de cartas, conforme o autor, são úteis quando as medições são muito caras, quando os testes são destrutivos, quando não é possível a recolha de amostras com mais de uma observação ou ainda quando há sistemas computadorizados de medição e são feitas medições de todas as unidades. Segundo Montgomery (2009), gráficos para amostras individuais são extremamente sensíveis a dados não normais ou mesmo com um moderado desvio na normalidade. Deve-se portanto determinar um número maior de amostras para detecção dos limites com base na distribuição amostral.

Com a implantação das cartas de controle é possível determinar se há somente causas comuns ou causas especiais no processo. As causas comuns são causas inerentes ao processo, enquanto que as causas especiais ocorrem devido a eventos específicos ou distúrbios. As causas especiais devem ser eliminadas para garantir um processo com maior estabilidade. Nesta perspectiva, Carpinetti (2016) entende que após a eliminação das causas especiais, tem-se um processo estatisticamente estável. Porém, conforme o autor, um processo controlado também pode gerar produtos defeituosos. Por isso a capacidade, relatada em sequência, avalia se o processo é capaz de atender às especificações de projeto.

2.2.2 Capacidade de processos

Dois índices de capacidade são frequentemente utilizados como uma maneira formal para medir o grau de capacidade de um processo: o índice de capacidade (Cp) e o índice de capacidade unilateral (Cpk). Peinado; Graeml (2007), por seu turno, abordam que o Cp mede a folga existente entre os limites das especificações (dados pelo projeto) e os limites das especificações do processo (dados pelos limites dos gráficos de controle), sendo que o valor deve ser maior que um, quando Cp for inferior a um o processo será considerado incapaz. Por outro lado o Cpk mede o potencial que o processo tem de apresentar resultados ruins frente aos limites superior e inferior de controle.

As equações para Cp e Cpk, trazidas por Costa (2018), podem ser visualizadas nas equações (4) e (5):

$$C_p = (LSE - LIE) / 6\sigma \quad (4)$$

$$C_{pk} = \min \{ (LSE - \mu) / 3\sigma, (\mu - LIE) / 3\sigma \} \quad (5)$$

Dadas as equações, os limites LIE e LSE compreendem os limites de especificação inferior e superior, respectivamente, μ representa a média das amostras, e σ representa o desvio-padrão.

Com base nas considerações sobre os métodos apresentados envolvendo o controle estatístico de processo, verifica-se na literatura explanada que os gráficos de controle são recursos necessários no diagnóstico e controle de parâmetros preestabelecidos em um processo, enquanto que a capacidade torna-se necessária na avaliação do processo em relação às especificações determinadas em projeto. Como uma evolução nos controles estatísticos, na sequência do trabalho é apresentado o seis sigma.

2.3 Método seis sigma

Carpinetti (2016) estabelece que o seis sigma foi conceitualmente introduzido pela Motorola, mas difundiu-se rapidamente por ambientes de manufatura e prestação de serviços, já que o mercado vinha mostrando uma correlação da competitividade com os percentuais de defeitos gerados pelas organizações. Sua principal meta é reduzir desperdício causado por não qualidade, através da redução de variabilidade dos processos de fabricação. Carvalho; Paladini (2012) acrescentam que o seis sigma é composto por diversos fundamentos de várias eras da qualidade. Um dos fundamentos mais relevantes é o emprego estruturado do pensamento estatístico, em que a intensa utilização de ferramentas estatísticas e a análise de variabilidade dos processos são a identidade deste método, que tem por significado, estaticamente falando, seis desvios padrão.

Segundo Werkema (2011), seis sigma é uma estratégia que objetiva expandir significativamente a performance e os lucros das companhias, por meio da melhora da qualidade de bens e processos, do crescimento da satisfação de clientes e da redução de variabilidade. Essa metodologia tem o foco nos objetivos estratégicos da empresa, estabelecendo que todos os setores-chave possuam metas de melhoria com base em métricas quantificáveis.

Sigma representa desvio padrão e é uma medida do nível de qualidade de um processo. Quanto menor o desvio padrão, melhor o processo. A escala sigma é um meio de medir o nível

de qualidade, e quanto maior, melhor. A Tabela 1 traz uma ideia do nível de defeitos de acordo com o nível sigma do processo:

Tabela 1 - Número de defeitos de acordo com nível sigma de um processo

Nível Sigma	DPMO	Confiabilidade
6	3,4	99,9997%
5	233	99,977%
4	6210	99,379%
3	66807	93,32%
2	308537	69,2%
1	690000	31%

Fonte: Adaptado de George, 2002.

Segundo Junior (2011), utilizando essa escala, seis sigma significar aceitar como limite máximo 3,4 defeitos por um milhão de oportunidades (DPMO), tendo uma confiabilidade de 99,9997%. Tal escala também é traduzida pela capacidade do processo a nível sigma, que varia de um a seis desvios padrão.

Vale destacar os principais benefícios do seis sigma: processo uniforme em relação à saída dos produtos; redução de defeitos e de custos; aumento da produtividade; mudança de cultura de gestão; satisfação do consumidor e conseqüentemente o aumento do volume de vendas (RODRIGUES, 2013). Antony e Banuelas (2002), por sua vez, afirmam que deve-se ter projetos seis sigma direcionados a processos do negócio que proporcionem resultados financeiros atrativos, com forte diminuição em índice de rejeitos definitivos, de índices de retrabalho e aumento de produtividade, para que sejam maximizados os lucros das organizações.

Para a elaboração de projetos seis sigma, alguns conceitos relacionados a métodos de análise e solução de problemas serão relatados em sequência, visando detalhar as principais etapas dos estudos voltados para esse tema, e ferramentas disponíveis para auxiliar no conceito sigma de processo.

2.3.1 Estrutura DMAIC

Para concepção de projetos seis sigma, o método mais utilizado é o DMAIC, que é um método de solução de problemas de sequência lógica e eficaz, baseado em dados e no uso de ferramentas estatísticas para se atingir os resultados desejados. Segundo Carvalho e Paladini

(2012), o método consiste em cinco fases: definir (*define*), medir (*measure*), analisar (*analyse*), melhorar (*improve*) e controlar (*control*). O mesmo autor cita que as fases são caracterizadas por:

- a) *Define* - a primeira etapa consiste em definir quais são os requisitos do cliente e traduzir essas necessidades em características críticas para a qualidade, através da identificação de oportunidades e análise custo benefício do projeto.
- b) *Measure* - nesta etapa define-se as entradas e saídas do processo, o sistema de medição e o plano de coleta de dados de forma representativa e aleatória.
- c) *Analyse* - nesta fase é realizada a análise dos dados coletados, utilizando ferramentas estatísticas de modo a identificar as causas geradoras dos defeitos e as fontes de varrições nos processos.
- d) *Improve* - é nesta fase que as melhorias se materializam no processo e as soluções são testadas.
- e) *Control* - na última fase deve ser estabelecido e validado um sistema de medição e controle para medir continuamente o processo de modo a garantir a sustentabilidade da mudança.

2.4 Ferramentas utilizadas em projetos CEP e seis sigma

De acordo com Correa (2012) há sete ferramentas clássicas da qualidade que auxiliam no desenvolvimento de projetos voltados para seis sigma, e estas possuem como objetivo de auxiliar e apoiar a gerência na tomada de decisões para a resolução de problemas ou ainda para somente melhorar algumas situações. Tais ferramentas, que podem ser utilizadas em estudos de CEP e seis sigma, consistem em:

Estratificação - Trata-se da técnica de classificar itens em grupos com atributos semelhantes e relevantes para a coleta de dados e análise (VIEIRA, 2012).

Folha de verificação - É uma tabela ou planilha estruturada para o registro de dados e o cálculo de algumas estatísticas. (VIEIRA, 2012).

Análise de pareto - Segundo Montgomery (2006), o gráfico de Pareto consiste na distribuição de frequência de dados atributos, organizados por categorias, para que o usuário possa identificar os tipos de defeitos que ocorrem com mais frequência. O princípio diz que 80% das causas provocam 20% dos problemas, e seu inverso também ocorre, ou seja, você pode resolver 80% dos problemas com 20% de esforços (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

Diagrama de Ishikawa - O diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar as relações existentes entre um problema ou o efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, atuando como um guia para a identificação da causa fundamental deste problema e para a determinação das medidas corretivas que deverão ser adotadas (CARPINETTI, 2016).

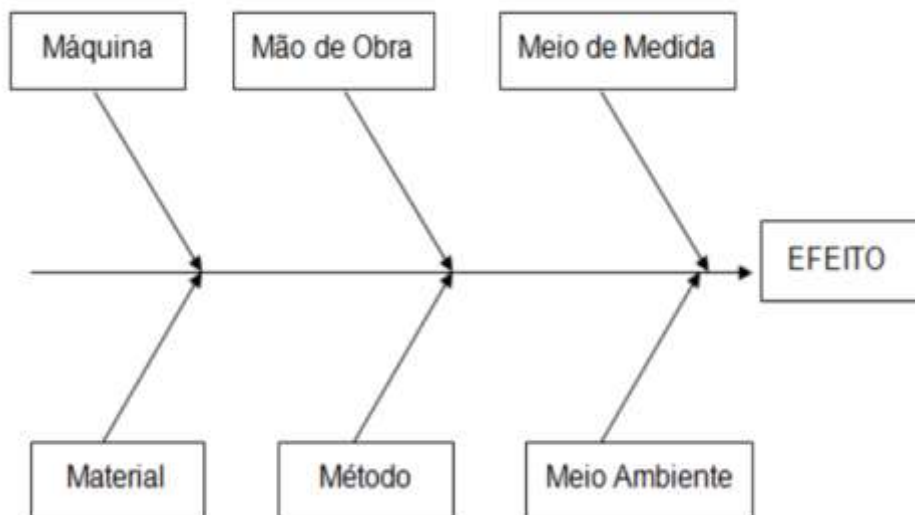


Figura 2 - Modelo de diagrama de causa e efeito

Fonte: Adaptado de Correa, 2012.

A Figura 2 exemplifica o modelo de diagrama, onde o efeito é analisado com base em “6Ms”, que representam categorias de causas: máquina, mão de obra, medida, material, método e meio ambiente.

Histograma - Mostra, graficamente, a forma da distribuição de frequências de uma variável, evidenciando a dispersão e a centralização (VIEIRA, 2012).

Diagrama de dispersão - Segundo Carvalho; Paladini (2012), os diagramas de dispersão consistem em técnicas gráficas utilizadas para visualizar e também para analisar as relações entre duas variáveis.

Gráficos ou cartas de controle - Já explanadas no tópico 2.2.1, trazem uma configuração gráfica para observar o comportamento de um processo em relação aos limites de controle.

Além das ferramentas tradicionais, alguns conceitos complementares voltados à projetos seis sigma podem ser caracterizados:

Brainstorming - Traduzido para o português como tempestade de ideias, trata-se de um trabalho de levantamento de ideias realizado em grupo, buscando incentivar a equipe a produzir o maior número de ideias possíveis para uma situação específica (CARPINETTI, 2016).

SIPOC - De acordo com Werkema (2011), o SIPOC tem origem nos termos em inglês *Suppliers* (fornecedores), *Inputs* (entradas), *Process* (processo), *Outputs* (produtos obtidos na saída) e *Customers* (consumidores ou clientes). Trata-se de um método que analisa as principais entradas e saídas de um processo, com suas particularidades, a fim de delimitar informações relevantes a um estudo.

Matriz GUT - Daychoum (2011) define a matriz GUT como uma ferramenta que serve para priorizar os problemas e tratá-los, considerando os fatores Gravidade, Urgência e Tendência, e para cada qual atribui uma pontuação numa escala de 1 a 5. A gravidade diz respeito a não resolução do problema, e indica o impacto, principalmente, em relação aos resultados, e processos que surgirão em longo prazo. A urgência é a variável relacionada com a disponibilidade de tempo necessário para resolução de determinada situação, e a tendência analisa a tendência ou o padrão da evolução, redução ou eliminação do problema.

5 Porquês - Trata-se de um método que consiste em fazer perguntas do porquê determinado efeito foi identificado, até que se chegue à causa raiz. Weiss (2011) descreve de forma simplificada os passos que devem ser dados para aplicar o método, ou seja, deve-se iniciar a análise com a afirmação da situação que se deseja entender e realizar perguntas até que a causa raiz seja encontrada.

5W2H - Trata-se de um documento em formato de plano de ação que identifica as ações e responsabilidades de quem está executando um projeto. De acordo com Carpinetti (2016), é dividido em:

- a) *What* - O que será feito (etapas);
- b) *Why* - Por que deve ser executada a tarefa (justificativa);
- c) *Where* - Onde cada etapa será executada (local);
- d) *When* - Quando cada uma das tarefas deverá ser executada (tempo);
- e) *Who* - Quem realizará as tarefas (responsabilidade).
- f) *How* - Como deverá ser realizada cada tarefa/etapa (método);
- g) *How much* – Quanto custará a atividade (custo).

Percebe-se, portanto, que há diversas ferramentas de cunho estatístico e descritivo que podem auxiliar os estudos envolvendo CEP e seis sigma, tanto em técnicas quantitativas, que é o caso dos gráficos, histogramas e folhas de verificação, quanto em análises qualitativas, que é o caso dos diagramas de causa e efeito e análise de Pareto. Tal literatura subsidia os estudos e

auxilia nas investigações para proposição de soluções para redução de variabilidade em processos.

2.5 Relação entre CEP e seis sigma – considerações de cunho bibliométrico

Segundo Mahesh (2005), o método seis sigma envolve o controle estatístico do processo e não um sistema de gestão, e deve ser utilizada em conjunto com outras ferramentas da qualidade, pois tem como foco redução de defeitos do processo através de oportunidades de melhorias com uma medição sistemática, o que leva a maior produtividade, redução de custos e maior satisfação do cliente. Sendo assim, com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre as referências no tema, e analisar quantitativamente as publicações relevantes, foi realizado um estudo bibliométrico correlacionando CEP e seis sigma.

Durante a realização do estudo, a partir da busca realizada na base de dados da *Scopus*, foram obtidos 73 artigos publicados no período de 2010 a 2019, últimos 10 anos, com os termos relacionados à pesquisa. A distribuição das publicações por ano pode ser verificada na Figura 3:

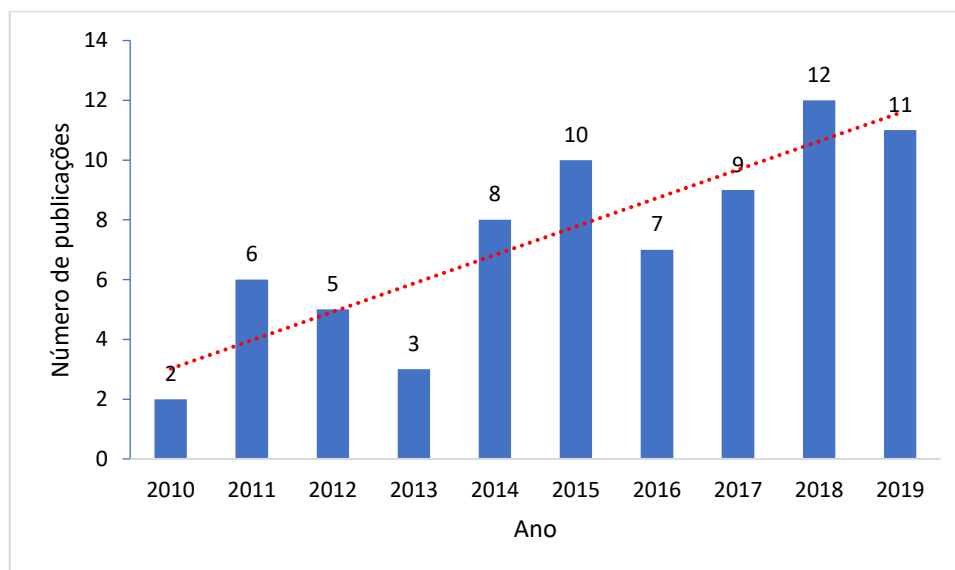


Figura 3 - Número de publicações de CEP/seis sigma por ano

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme destacado anteriormente, do total de 73 artigos, observou-se um crescimento significativo no número de publicações a partir de 2015, representando 70% dos artigos publicados, o que reflete que a integração entre os temas ainda é recente. Além disso, os principais periódicos quanto ao número de publicações são internacionais, sendo originados

principalmente nos Estados Unidos, Índia, Malásia, China e Brasil, tendo como principais autores, Aslam, M., Jun, C.H., Leonard, K.M. e Pakdil, F.

A Figura 4 mostra as principais palavras-chave com maior ocorrência nos artigos encontrados. Através do *software Vos Viewer*, criou-se um mapa de relação entre as 21 palavras mais citadas, com a formação de dois clusters, sendo que, quanto maior a densidade do círculo na figura, maior a frequência de citação. Os principais termos relacionados à busca foram relacionados à qualidade e manufatura, como por exemplo “*quality control*”, “*statistical process control*”, “*total quality management*”, “*process control*”, traduzidos respectivamente em “controle de qualidade”, “controle estatístico de processo”, “gestão da qualidade total” e “controle de processo”.

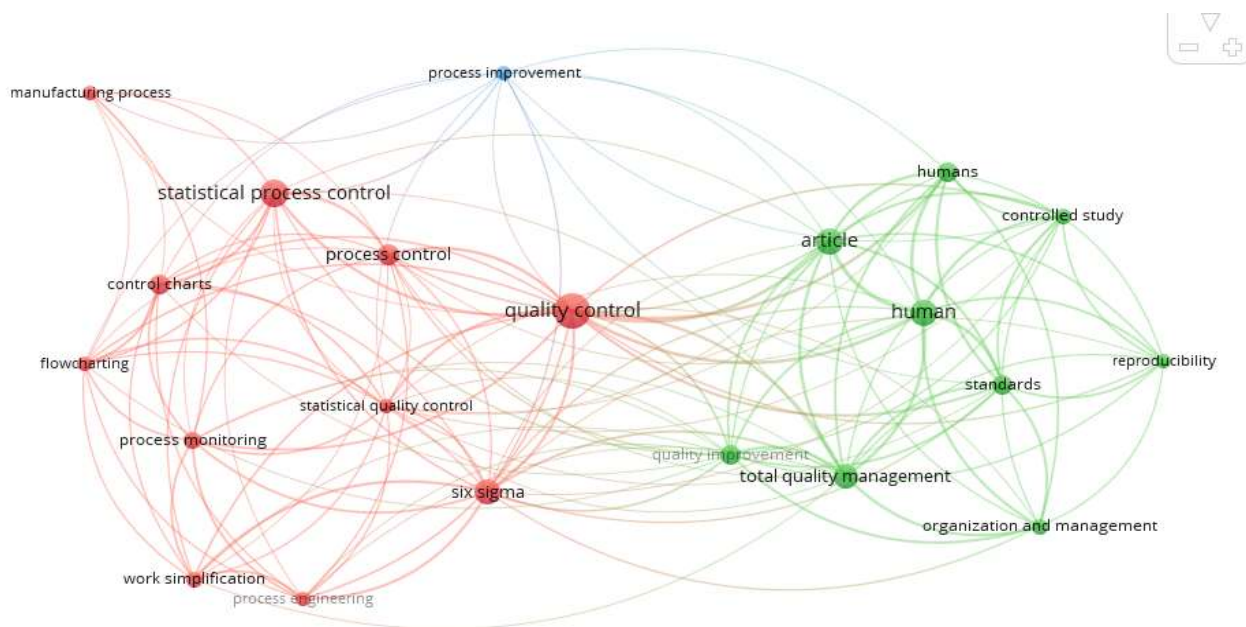


Figura 4 - Clusters de palavras chave

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às aplicações de CEP e seis sigma em organizações, o levantamento bibliométrico sobre publicações nessa área demonstra, conforme Figura 5, que o conceito foi utilizado principalmente nas áreas de engenharia (22%), negócios (13%) e medicina (11%), mas observa-se uma grande distribuição de áreas de pesquisa.

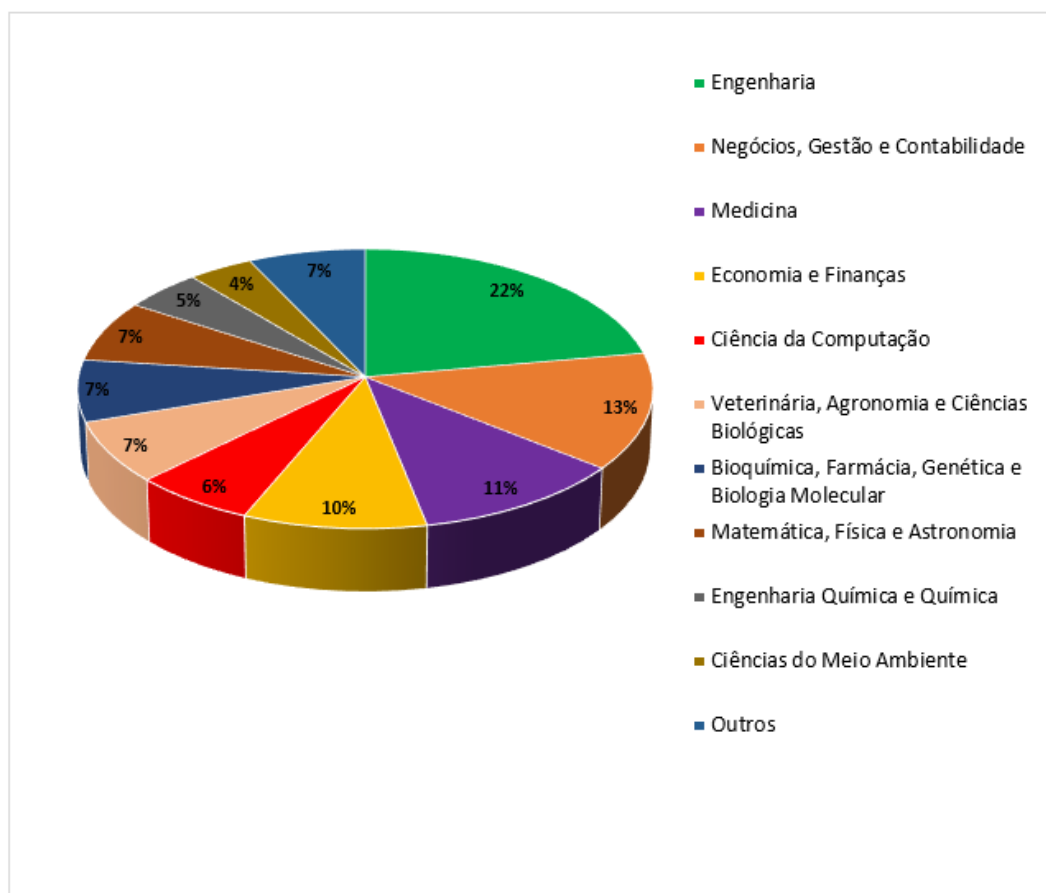


Figura 5 - Principais áreas de conhecimento de publicações CEP/seis sigma

Fonte: Elaborado pela autora.

Em outras palavras, o gráfico da Figura 5 mostra que a metodologia seis sigma pode ser aplicada nos mais diversos segmentos de organizações, abrangendo situações nas organizações industriais, mas também no setor de serviços e negócios. Por ser um tema recente, percebeu-se uma pequena quantidade de periódicos, comparando com outras pesquisas bibliográficas realizadas envolvendo o tradicional CEP, dentre os quais o Brasil está entre os principais países com pesquisas nessa área de atuação.

Com base nas considerações anteriores, tomando por base a pesquisa bibliométrica realizada, constatou-se que grande parte das publicações reflete o uso dos métodos estatísticos para análise e otimização de situações problema. Tal pesquisa foi utilizada como base científica para o embasamento teórico do estudo e para demonstrar a importância dos métodos combinados a partir de um exemplo customizado a um processo, sendo que alguns cases serão apresentados em sequência para exemplificar as aplicações já existentes na literatura sobre os temas.

2.6 Aplicações de CEP e seis sigma – *cases*

Com base no estudo bibliométrico realizado sobre os temas, observou-se que tanto o controle estatístico de processos quanto o método seis sigma possuem vasto campo de aplicação em organizações industriais, desde aplicações em indústrias automobilísticas, mineração e metais, químicas, alimentícias e de serviços em geral.

No que diz respeito à área de processamento de alimentos em que se aborda este estudo, Sibanda (2020) pesquisou as teorias de controle de qualidade de CEP e seis sigma para reduzir a variação no processo produtivo de fabricação de chocolate, com o objetivo de reduzir defeitos de saída, identificar as causas básicas da variação, e implementar um sistema de controle, com resultados de redução de 54% em defeitos de fabricação. Por outro lado, De Oliveira Silva (2019) apresentou a análise de capacidade do processo para a etapa de cozimento industrial de linguiça do tipo calabresa, utilizando a variável perda de peso como parâmetro de controle, para a padronização e controle de processos em obtenção de produtos padronizados e de boa qualidade. Após as ações corretivas, o pesquisador constatou que a variabilidade do processo foi reduzida, melhorando as características do produto final.

Nessa mesma linha de pensamento, temos outros exemplos aplicados. Diaz (2017) utilizou os conceitos estatísticos ao processo de pesagem em balanças. O peso do produto embalado, visto como a característica de qualidade a ser monitorada, deveria estar o mais próximo possível de um peso alvo especificado e cumprir os regulamentos aplicáveis. Um conjunto de experimentos numéricos foram conduzidos para examinar as soluções geradas, as quais foram posteriormente monitoradas. Já Desai (2015) apresentou a implementação do método DMAIC em um dos problemas crônicos de variações no peso de embalagem de leite em pó. O estudo traz melhorias de 50% na diminuição de rejeição de inspeção de embalagens, que foram alcançadas por aplicação da metodologia seis sigma.

Com base nos *cases* citados, a partir de trabalhos científicos que investigaram casos em organizações do ramo alimentício, pôde-se perceber os efeitos da aplicação dos métodos voltados para redução de variabilidade. Os resultados encontrados mostraram soluções aplicadas a partir dos métodos explorados, sendo expressivos na redução de desperdícios no ambiente produtivo e aumento do nível de qualidade dos processos, fatores fundamentais para melhoria do desempenho das organizações objetos dessas pesquisas, em termos de padronização e controles financeiros.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

3.1 Tipificação da pesquisa

Para alcançar os objetivos da pesquisa, uma metodologia foi definida de acordo com a classificação e aplicabilidade do tema. O método constitui um conjunto de processos necessários para atingir um resultado. De acordo com Marconi e Lakatos (2017), um método é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo de produzir conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões.

Para classificação de uma pesquisa, segundo Matias-Pereira (2017) esta pode ser caracterizada quanto à natureza (aplicada ou básica), abordagem do problema (quantitativa ou qualitativa), objetivos (exploratória, descritiva ou explicativa) e procedimentos técnicos (técnicas quantitativas, técnicas qualitativas ou técnicas combinadas).

Quanto à natureza, a pesquisa é considerada aplicada. De acordo com os objetivos propostos, foi estudado um caso real na indústria, abordando coleta de dados, identificação de causas e propostas de modelos, tendo um caráter prático e intervencionista, no sentido de realizar um estudo piloto no ambiente fabril objeto desse estudo.

Quanto à forma de abordagem do problema, a pesquisa é classificada como quantitativa e qualitativa. Fonseca (2002) orienta no sentido de que a pesquisa quantitativa centra-se na objetividade, e recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. Michel (2009) explica que este tipo de pesquisa é eficaz quando se pretende assegurar a precisão dos resultados, que são obtidos e comprovados de forma numérica e exata, evitando distorções de análise de interpretação. Para o estudo foram utilizados dados quantitativos e ferramentas estatísticas para análise, podendo comprovar com dados precisos as hipóteses determinadas. Além de quantitativo, esse trabalho também possui um caráter qualitativo, pois a partir dos depoimentos dos principais atores do processo foi analisado o conteúdo para auxiliar a proposição de um modelo conforme objetivo do estudo.

Em relação aos objetivos propostos, a pesquisa pode ser definida como descritiva e explicativa. O estudo é descritivo pois identifica e analisa variáveis que se relacionam com o processo, sendo realizado um estudo de caso em um segmento específico da indústria alimentícia. Também pode ser classificado como explicativa, pois foram identificadas e analisadas as causas das variações no processo, a fim de estruturar os padrões e ferramentas necessárias para a otimização. Segundo Gil (2007), uma pesquisa explicativa pode ser a

continuação de outra descritiva, posto que a identificação de fatores que determinam um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado. Quanto aos procedimentos técnicos adotados, basicamente foram utilizadas técnicas quantitativas e qualitativas. Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica com os principais livros, revistas e teses sobre o tema, servindo de base para contextualização e direcionamento para a metodologia da pesquisa. Em seguida foi realizado um estudo classificado como pesquisa-ação dentro de um contexto de um processo produtivo para avaliação e aplicação das técnicas estatísticas com o objetivo de propor um modelo customizado ao processo em questão.

3.2 Objeto de pesquisa

A empresa objeto do estudo é uma indústria da região centro-oeste do Brasil, que possui negócios voltados para o setor alimentício, dentre os quais o processamento de tomate industrial para produção de derivados de tomate. Essa cadeia de transformação representa um importante papel no agronegócio da região.

A empresa possui cerca de mil funcionários efetivos, e durante o período de safra são contratados funcionários temporários para suprir a demanda sazonal, de acordo com a necessidade de processamento anual. O organograma da empresa compreende as seguintes áreas: agrícola, indústria, pesquisa, escritório administrativo e área comercial. A unidade de processamento é responsável pela produção de produtos acabados que são distribuídos em todo o território nacional.

O processo produtivo inicia-se no campo, com a produção do tomate in natura, e na indústria são realizadas as etapas de processamento, envase e acondicionamento dos produtos finais.

As etapas básicas de processamento industrial podem ser verificadas na Figura 6:

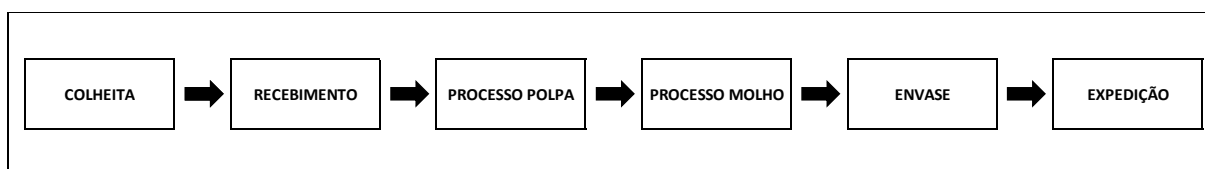


Figura 6 – Etapas gerais de processamento industrial de molhos de tomate

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os processos apresentados na ilustração, o estudo foi realizado nas etapas de processamento de polpas e molhos, que consiste na etapa de evaporação e mistura da polpa de

tomate e ingredientes, a qual apresenta variabilidade. As características do processo em estudo encontram-se melhor caracterizadas no capítulo 4.

3.3 Coleta de dados

3.3.1 Pesquisa bibliométrica

Com o objetivo de correlacionar o controle estatístico tradicional com a metodologia mais recente envolvendo uma abordagem seis sigma, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas, fornecendo base científica para o estudo. Além disso foi realizada uma pesquisa bibliométrica, com a análise quantitativa de publicações sobre o tema proposto. Para o planejamento e desenvolvimento do estudo foi definida a plataforma de base de dados *Scopus (Elsevier)* e o *software* utilizado foi o *Vos Viewer*. As palavras-chave selecionadas relevantes para a pesquisa foram definidas como: “*quality control*”, “*process variability*”, “*statistical control*” e “*six sigma*”. Os dados obtidos na pesquisa foram apresentados no tópico 2.5, e os artigos selecionados foram utilizados como referência para esse estudo.

3.3.2 Variável de medição

Para realização do estudo, em sua etapa de medição, considerando as particularidades do processo produtivo, foi selecionada a variável de saída (Y) “°brix do produto formulado” como sendo a variável de medição a ser investigada, que corresponde ao teor de sólidos solúveis no produto alvo, o qual deve obedecer uma faixa de medição pré-determinada na especificação.

Com a definição da variável de medição, foi definida a meta a ser atingida no processo, e os limites da especificação para o produto fabricado a serem seguidos, de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 - Definição da variável do processo

Definição da variável de saída	
Limite inferior da especificação (LIE)	14,8
Meta	15,8
Limite superior da especificação (LSE)	16,8
Especificação de projeto	Quanto mais próximo ao centro, melhor
Unidade	° brix
Defeito	1 resultado abaixo do LIE ou acima do LSE

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi definida que a meta a ser atingida seria o ponto central da especificação, ou seja, o valor de 15,80 °brix, e os padrões da especificação com os limites distanciando-se em 1 °brix do valor estabelecido como meta. Como recomendação de variabilidade, o comportamento esperado do processo é tal qual mais próximo à meta a ser atingida, gerando menos variações e tornando o processo mais estável. Além disso, foi estabelecido como produto defeituoso todo resultado abaixo ou acima dos limites de especificação, que não necessariamente coincidem com os limites de controle.

3.3.3 Plano de amostragem

Após os esclarecimentos quanto às especificações e oportunidades do estudo, foi elaborado um plano de amostragem para obter as informações necessárias ao projeto. O plano de coleta de dados foi definido conforme recomenda Paladini (1990) e adaptado de acordo com a quantidade adequada para realizar as análises estatísticas e a disponibilidade da organização em fornecer as informações.

A amostragem foi definida conforme recomenda Paladini (1990), que afirma que uma amostra deverá ser grande o suficiente para representar a população e, ao mesmo tempo, pequena para produzir o resultado desejado. Sendo adaptada ao caso, trata-se de uma amostragem não probabilística e por conveniência, sendo utilizados os dados mais acessíveis conforme avaliação inicial do contexto. O tamanho da mesma foi calculado com o auxílio do *software* de análises estatísticas Minitab, versão 19, onde foi realizado um teste *1-Sample t*, conforme Figura 7:

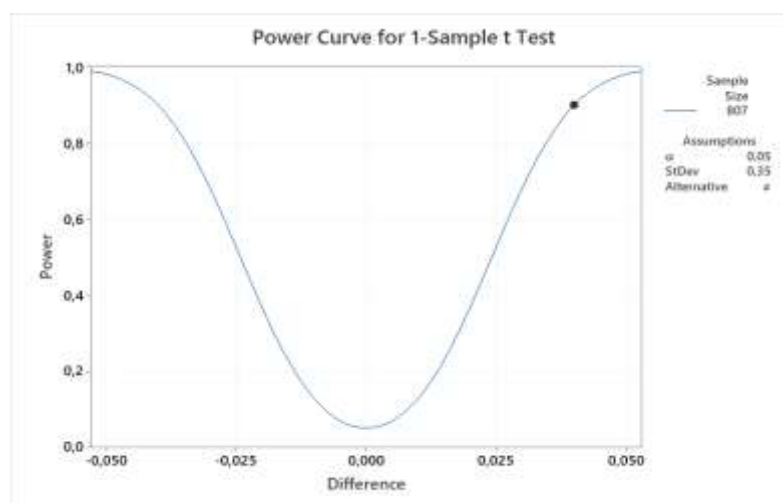


Figura 7 – Teste *1 Sample t* para tamanho de amostra

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando um nível de significância $\alpha = 5\%$ e poder de teste $Pd = 90\%$, foi avaliado o tamanho da amostra necessário para detectar as alterações esperadas de variabilidade e foi constatado que seriam necessárias pelo menos 807 amostras para detecção das variações esperadas. O levantamento dos dados foi realizado com cerca de três vezes mais amostras do que o necessário, sendo útil para as análises estatísticas.

A partir da constatação de que os dados refletem o comportamento de um processo contínuo em larga escala, foram estabelecidas amostragens a cada trinta minutos, durante o período de dois meses, de tamanho 1, totalizando 2880 amostras, sendo o operador do setor o responsável pela coleta. Após cada amostragem, foi realizada pelo operador a análise de °brix do produto. Tais análises foram realizadas com o auxílio de um refratômetro de bancada devidamente calibrado do modelo *Alemmar*, conforme Figura 8, desenvolvido com compatibilidade às normas internacionais de segurança de alimentos (FDA – *Food and Drug Administration*).



Figura 8 - Modelo de refratômetro utilizado para coleta de dados

Fonte: Alemmar, 2021.

Com a perspectiva de melhor representar e caracterizar o processo em estudo, foram coletados os dados de três turnos produtivos e devido à disponibilidade de tempo e equipamento, todas as análises do turno de produção foram realizadas pela mesma pessoa no mesmo equipamento, para minimizar o fator de erro do operador e erro entre equipamentos. Foram considerados os cuidados com a temperatura das amostras durante a realização das análises, de acordo com as recomendações do fabricante do equipamento, na obrigatoriedade de serem resfriadas à 20 °C antes de ser efetuada a leitura dos resultados. O plano de

amostragem elaborado, onde a estrutura dos dados foi segmentada por dia e turno de coleta, pode ser visto no Quadro 2:

Quadro 2 - Plano de amostragem do processo

Plano de amostragem						
Objetivo: Coleta de dados de resultados do parâmetro °brix de molho de tomate formulado						
Indicador	Descrição	Tipo de Dado	Instrumento	Método de medição	Frequência	Responsável
°Brix	Resultados de °brix do produto formulado	Contínuo	Refratômetro de bancada	Registro em formulário	A cada 30 minutos	Operador de formulação

Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os resultados foram registrados em um formulário para análise posterior dos dados, durante o período de avaliação, assim como as observações referentes a valores mais distantes da meta. Os dados coletados serviram de base para as análises com a utilização de ferramentas estatísticas conforme as demandas a serem efetuadas ao longo do trabalho.

Por fim, para as proposições de melhoria, assim como as análises de causa dos principais desvios identificados no processo em estudo, foram entrevistadas, de forma não estruturada, os principais atores do processo, especialmente os envolvidos na operação, para subsidiar a elaboração da proposta de desenvolvimento do modelo customizado ao objeto estudado. Foram ouvidas cinco pessoas durante os meses de coleta de dados, tendo como objetivo compreender melhor os principais fatores envolvidos na variabilidade, os métodos de trabalho atuais, bem como motivos de causas de instabilidade no contexto pesquisado.

3.4 Análise dos dados

3.4.1 Análise de normalidade dos dados

De acordo com Ferreira et. al (2013), existem vários métodos para avaliar a normalidade de dados, entre eles o teste de Anderson-Darling, que é um teste estatístico utilizado para verificar se um conjunto de dados é proveniente de uma determinada distribuição de probabilidade. Assim sendo, foi realizado esse teste para verificar se os dados se aproximam de uma distribuição normal.

3.4.2 Análises estatísticas descritivas

De acordo com Mancuso (2008), a análise descritiva, ou síntese numérica, é a etapa inicial de qualquer estudo, sendo que é a partir dela que se faz a definição de como e qual análise será utilizada. Nesse contexto foram realizadas análises iniciais do processo para obter uma perspectiva inicial do comportamento e variabilidade. Considerando a amostragem levantada, com o auxílio do *software* Minitab foram obtidos os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, quartis da amostra, valores mínimos e máximos e amplitude.

Além da obtenção dos dados estatísticos básicos foi realizado, com o auxílio do programa Minitab, um teste de *Grubbs*, com o objetivo de avaliar a existência de *outliers* nos dados obtidos. Qualquer valor que não seja comum ou um dado inesperado nos resultados de um experimento para uma variável medida é considerado um "*outlier*", ou seja, é um valor distante dos demais valores. Pinel (2017) destaca que esses valores ocorrem por vários motivos: entrada de dados inválidos, diversidade biológica, valores aleatórios, erros experimentais ou suposições erradas. Por isso torna-se importante a verificação do processo para eliminar possíveis erros na coleta de dados. Considerando um nível de significância de 95% foi realizada e avaliação da amostragem seguindo os critérios do teste elegido.

3.4.3 Análise das ferramentas de CEP

Após a definição da estatística básica, os dados coletados foram analisados com o auxílio das ferramentas estatísticas do CEP, do *software* Minitab, e da construção de cartas de controle.

Existem vários tipos de cartas de controle para avaliação da variabilidade de um processo. No caso estudado, foi estabelecida a carta de controle por variáveis, pela característica dos dados contínuos expressos por números, sendo elegida a carta de controle do tipo I – AM (valores individuais e amplitude móvel), pelo fato de o tamanho do subgrupo da amostra ser igual a 1. Tal estratégia justificou-se pela característica do processo produtivo, que se reflete em um processo em larga escala onde há uma grande quantidade de valores individuais coletados em determinada frequência, sendo esse tipo de controle mais adaptado ao cenário real, o que facilita a interpretação customizada ao processo.

Para a interpretação das cartas de controle, de acordo com ABNT (2013), foi utilizada a norma ISO 7870-2 – *Shewhart Control Charts* – que estabelece os seguintes critérios de decisão em cartas de controle para definição de anormalidades:

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

Além das regras mencionadas, também foram utilizadas as regras de Paladini (1990), que afirmam que um processo está fora de controle nos seguintes casos:

- a) Pelo aparecimento de um ponto fora dos limites de controle;
- b) Pelo aparecimento de 7 pontos sucessivos no gráfico, situados no mesmo lado da Linha Média (LM);
- c) 11 pontos sucessivos no gráfico, dos quais pelos menos 10 de um mesmo lado;
- d) 14 pontos sucessivos no gráfico, dos quais 12 estão de um mesmo lado;
- e) 17 pontos sucessivos, dos quais pelo menos 14 estão do mesmo lado;
- f) 20 pontos sucessivos, dos quais pelo menos 16 situados em um mesmo lado da LM.

As regras estatísticas foram utilizadas para avaliar se o processo estava ou não fora de controle estatístico, e se atendia ou não as especificações de projeto determinadas.

3.4.4 Análise das ferramentas de seis sigma

Além das ferramentas estatísticas do CEP, foi analisado o comportamento do processo com base no método seis sigma, customizado ao estudo em questão. Para verificar o comportamento do processo quanto aos limites de controle, e a dispersão dos dados, foram utilizadas as seguintes ferramentas, com o auxílio do Minitab:

- a) Histogramas de dispersão de dados;
- b) Índice de capacidade do processo;
- c) Nível sigma do processo - capacidade *Zbench*.

Adicionalmente às análises quantitativas realizadas com a coleta dos dados amostrados, foram também utilizadas ferramentas qualitativas para diagnóstico da variabilidade do processo. Para o estudo em questão, todas as ocorrências de causas especiais do processo foram apontadas no momento em que foram registrados os desvios, e também foram registradas as ações imediatas de correção do processo. Com isso foram levantados os principais motivos de variações durante o período de amostragem. Em seguida, essas informações foram somadas ao depoimento dos principais envolvidos no processo e, com base nas informações coletadas, foram realizadas as análises de causas de variabilidade, utilizando-se das ferramentas:

- a) *Brainstorming*;
- b) Diagrama de causa e efeito, ou Ishikawa;
- c) Gráficos de Pareto e matriz GUT para priorização;
- d) 5 Porquês;
- e) 5W2H.

Após o levantamento das análises estatísticas do CEP/ seis sigma, foi estimado o nível de desperdício no respectivo processo, em termos percentuais e financeiros, para ter-se uma ideia da representatividade da variabilidade encontrada.

3.4.5 Proposição de modelo adaptado ao estudo

Com base na análise exploratória dos dados levantados, na performance do processo a nível sigma e nos depoimentos coletados junto aos *stakeholders* foi feita a proposição de um sistema de controle que relacione o CEP e seis sigma adaptado ao processo em estudo na perspectiva de melhorar o seu desempenho e estabelecer os padrões necessários que sirvam como modelo para a organização. Esta proposição foi aplicada de forma piloto e experimental no processo objeto desse estudo. Com base nessa aplicação foram feitas análises de forma a ajustar o modelo proposto e desenhar uma versão mais refinada a ser utilizada posteriormente. Foram estimados os ganhos potenciais a partir da melhor estabilização do processo em estudo com foco em redução de desperdícios. Estas análises estão detalhadas no capítulo 4.

3.5 Estrutura da pesquisa

Diante das propostas metodológicas deste trabalho em relação à tipificação da respectiva pesquisa, bem como do plano de coleta e análise dos dados, a Figura 9 ilustra e sintetiza a estrutura e sequência de procedimentos destes procedimentos metodológicos.

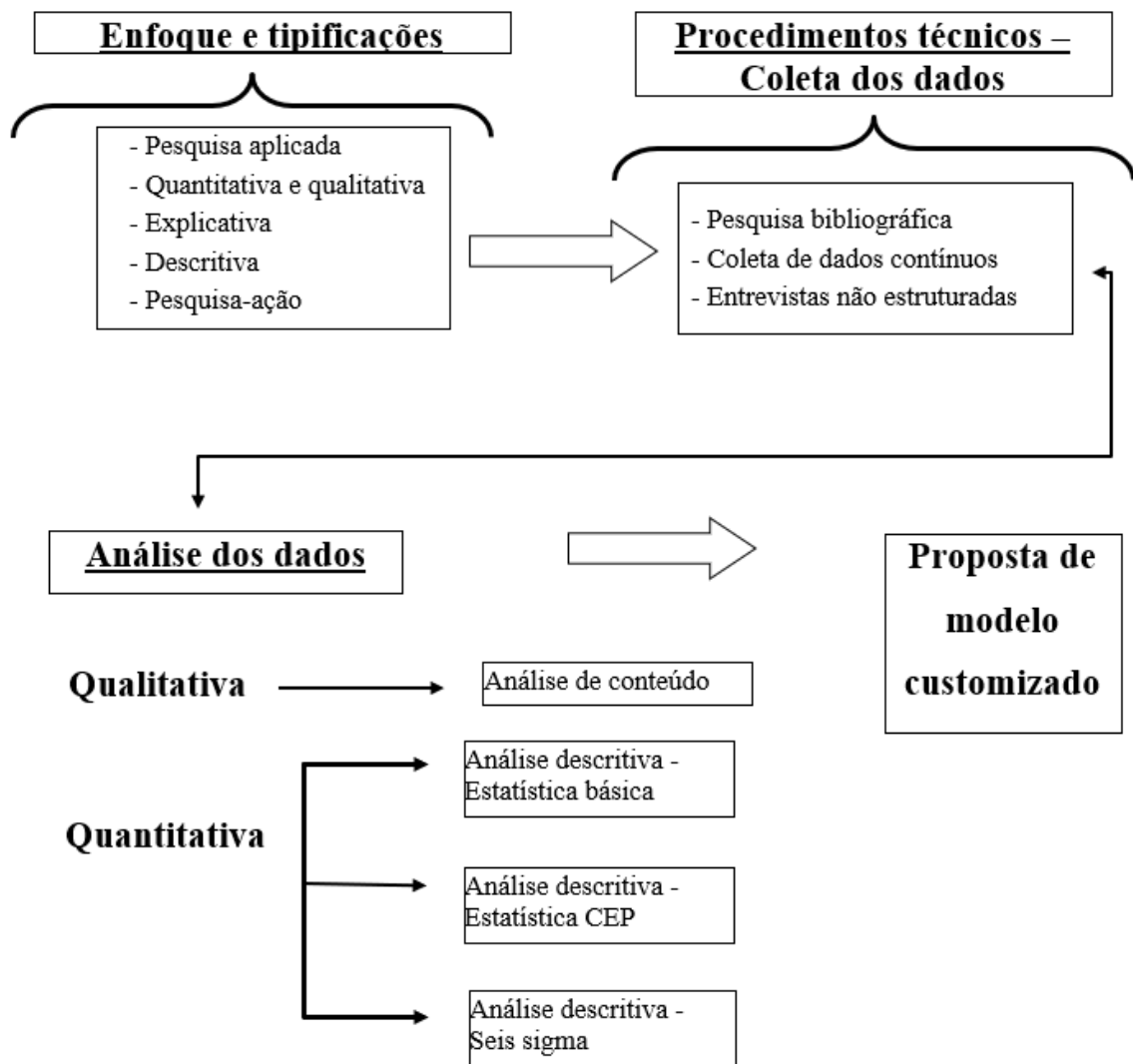


Figura 9 - Estrutura e sequência de procedimentos da pesquisa

Fonte: Adaptado de Soares, 2011.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização geral do processo estudado

Conforme citado no item 3.2, a organização industrial em estudo trata-se de uma empresa que produz diversos tipos de alimentos, incluindo molhos de tomate para distribuição nacional, com alcance em todo o país. O processo produtivo estudado é ilustrado no fluxograma da Figura 10:

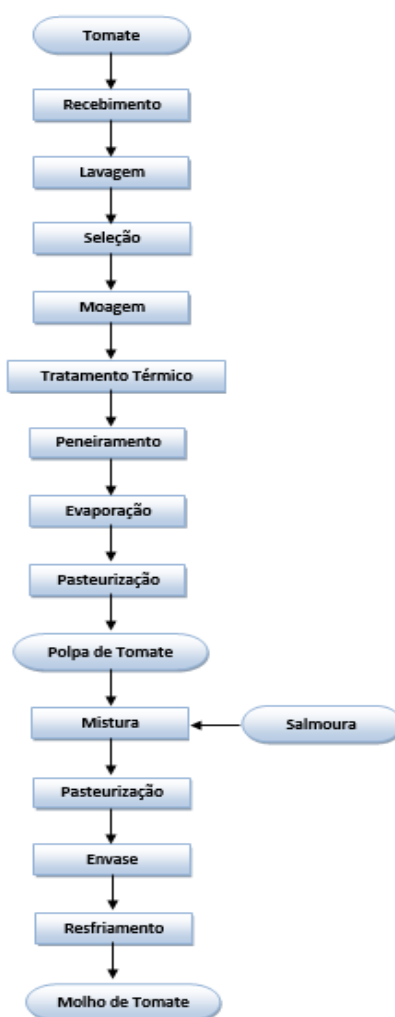


Figura 10 - Fluxograma do processamento industrial de tomate

Fonte: Elaborado pela autora.

Recebimento - O processo produtivo inicia-se com a chegada dos tomates da colheita em caminhões, colhidos em um período de até 24 horas. Nesta etapa os tomates são descarregados com auxílio de um canhão de água, para evitar que sejam danificados, e são guiados através de um canal de coleta até a área de limpeza.

Lavagem - A fim de retirar os resíduos grosseiros provenientes da colheita e garantir a limpeza adequada da matéria-prima, os tomates são direcionados às esteiras de lavagem. Nesta etapa ocorre a aplicação por aspersão de uma solução de hipoclorito de sódio, para reduzir a carga inicial dos microrganismos existentes na superfície do fruto.

Seleção - Na triagem, os tomates muito pequenos, verdes ou danificados e as sujidades são removidos manualmente e com o auxílio de equipamentos automáticos, conforme Figura 11, que fazem a separação dos tomates de acordo com sua coloração, através de feixes de luz infravermelha, assim garantindo a especificação de cor desejada com a remoção dos tomates verdes.



Figura 11 - Sistema de visão para separação de tomates

Fonte: Raytec, 2021.

Moagem - O triturador, onde é realizada a moagem dos tomates, consiste de um cilindro, alojado dentro de uma câmara, que tem facas, dentes ou martelos fixos. O cilindro possui também, inseridos em toda a sua volta, facas, dentes ou martelos complementares aos primeiros que, girando, provocam a ruptura dos frutos, sem desintegrar as sementes (LUCAS *et al.*, 2007).

Tratamento térmico - Nesta etapa o tomate triturado é submetido a um aquecimento em uma temperatura que gira em torno de 85 °C a 100 °C por meio de equipamentos similares a trocadores de calor, com aquecimento com serpentinas de vapor (*rotary coil*), onde ocorre a inativação enzimática que dará a viscosidade desejada do produto final. De acordo com Momm (2012), este método dá um rendimento maior da polpa e, também, uma polpa mais rica em pectina, o que aumenta a viscosidade e diminui a tendência à separação da polpa do sumo.

Peneiramento - O processo de peneiramento trata-se de uma operação de separação dos resíduos triturados, especialmente as sementes. Esta operação é realizada dentro de cilindros onde giram batedores em alta velocidade e os tomates partem-se com o impacto das pás ou das paredes da máquina contra as quais são jogados. As pás possuem uma inclinação que determina

o movimento das peles e sementes em direção à saída do equipamento através de uma peneira de 2 mm (LUCAS et al., 2007). No final desta etapa tem-se o suco de tomate, direcionado para a evaporação, e também se faz a separação de resíduos orgânicos que são descartados como subprodutos.

Evaporação - Passando para a evaporação, durante essa etapa há a concentração do suco de tomate de 4,50 °brix até aproximadamente 18,00 °brix. Esse processo se dá a partir de evaporadores submetidos a aquecimento com auxílio de vapor direto e sob vácuo, gerando então a polpa concentrada, além de água de processo, que é reaproveitada em um circuito fechado na etapa inicial de lavagem. Momm (2012) defende que a prática de evaporação para concentrar a polpa de tomate, é também uma técnica de conservação dos tomates, pois proporciona maior estabilidade à deterioração microbiana (alcançada pela redução da atividade de água), diminuição de custos de elaboração, armazenamento e transporte decorrentes da grande redução de peso e de volume.

Pasteurização - A pasteurização é um tratamento térmico que elimina os microorganismos termossensíveis existentes no alimento. Nesta etapa a pasta concentrada é elevada até uma temperatura de 110 °C para inativação de microrganismos existentes. A partir de então, tem-se a finalização do processo de produção da polpa concentrada, que é a principal matéria-prima utilizada na fabricação dos produtos derivados de tomate, no caso do estudo em questão os molhos.

Mistura - No processo de homogeneização são adicionados à polpa concentrada previamente processada os demais ingredientes necessários à formulação dos molhos de tomate, conforme receita desejada, em um processo contínuo com agitação por misturadores estáticos operados pela ação mecânica a alta pressão. Dependendo das características do produto final são adicionados os temperos exclusivos, como salsa, cebola, etc, além de sal, açúcar e água. Nesta etapa tem-se os molhos de tomate preparados para serem acondicionados nas etapas posteriores.

Pasteurização e envase - Posteriormente ao processo de mistura ocorre uma segunda pasteurização do molho de tomate já preparado, a uma temperatura de aproximadamente 90 °C, e envase imediato em embalagens pré-esterilizadas, podendo ser acondicionado em latas, sachês ou embalagens cartonadas.

Resfriamento - Após o envase, finaliza-se o processo com o resfriamento das embalagens seladas até a temperatura ambiente e acondicionamento do produto acabado em caixas, com identificação do lote para armazenamento ou distribuição.

Considerando este panorama geral do processo, conforme dados coletados e entrevistas realizadas junto aos principais envolvidos nas etapas do processamento, pode-se afirmar que os pontos críticos do processo relevantes para a pesquisa são os controles dos principais parâmetros físico-químicos dos produtos. Segundo relatos preliminares dos principais atores do processo, nesses pontos ocorrem desperdícios que percorrem as demais etapas do processo, culminando em produtos fora da especificação, sendo pontos de difícil controle devido ao grande volume processado por dia durante a safra. Sendo assim, cabe revelar que as etapas do processamento abordadas mais profundamente nesta pesquisa compreendem as etapas de evaporação e mistura.

4.2 Análise inicial do contexto pesquisado

Dentre todas as etapas do processo abordadas anteriormente, foram levantadas as principais perdas relacionadas ao processo produtivo em questão, assim constatou-se que os descartes de produto devido à desvios físico-químicos ocorridos no processo tinham importante influência nas perdas produtivas. Esses desvios eram caracterizados por variações durante a fabricação nos parâmetros característicos da produção de tomate industrial, sendo as principais características o °brix, viscosidade do molho de tomate, pH, cor padrão, além de outras variações nas análises sensoriais. A Figura 12 ilustra o número de desvios encontrados no processo produtivo em termos percentuais, considerando os dados do ano de 2019:

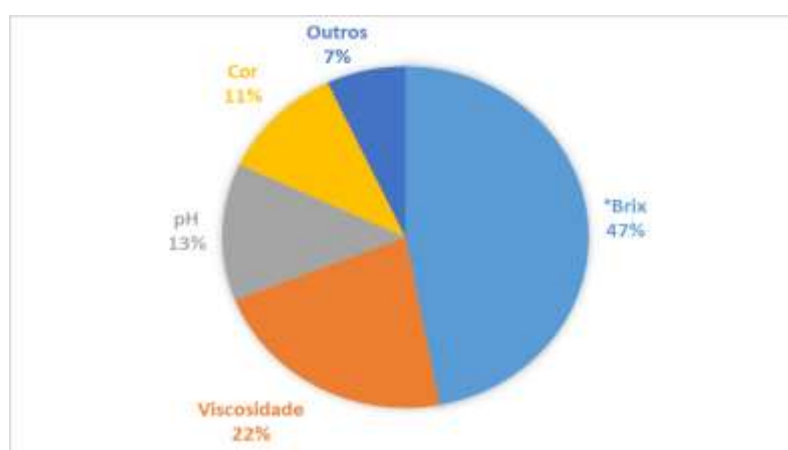


Figura 12 - Principais desvios no processo produtivo

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode se depreender a partir desta análise inicial que os problemas decorrentes da variabilidade do parâmetro °brix representavam cerca de 47% do total de desvios de qualidade

identificados no setor, ou seja, as variações de °brix durante a fabricação geravam quase metade dos produtos fora das especificações estabelecidas que eram descartados na organização, seguidos de alterações em viscosidade (22%), pH (13%), coloração (11%), além de outros motivos menos relevantes. Tais variações nos parâmetros de °brix alteravam a composição das características nutricionais do produto em questão, em termos de fibras alimentares, e esses desvios na tabela nutricional dos produtos poderiam gerar muitas regulatórias advindas da Anvisa, que é a agência regulatória das normativas do setor alimentício, por esse motivo os produtos eram descartados internamente.

A partir da clarificação do problema foram ouvidos os principais *stakeholders* desse processo, sendo constituídos pela equipe operacional e líderes do setor, a partir de entrevistas não estruturadas, a fim de coletar informações sobre as necessidades relatadas, sendo constatado que:

- Deve-se diminuir a geração de produtos fora da especificação;
- A variabilidade do processo necessita ser reduzida;
- Falta um modelo de controle para prever desvios e tomar correções necessárias antes de o produto ser enviado à próxima etapa do processo.

Pelos relatos apresentados pelos clientes internos, estes estavam alinhados com os objetivos do estudo, no sentido de trazer uma proposta de controle efetivo da variabilidade dos parâmetros estudados.

Visto que o processo produtivo em questão possui várias etapas de fabricação, foram delimitadas as principais etapas do processo envolvido na determinação dos controles de °brix do produto, sendo os processos de evaporação e mistura detalhados no fluxograma da Figura 13:

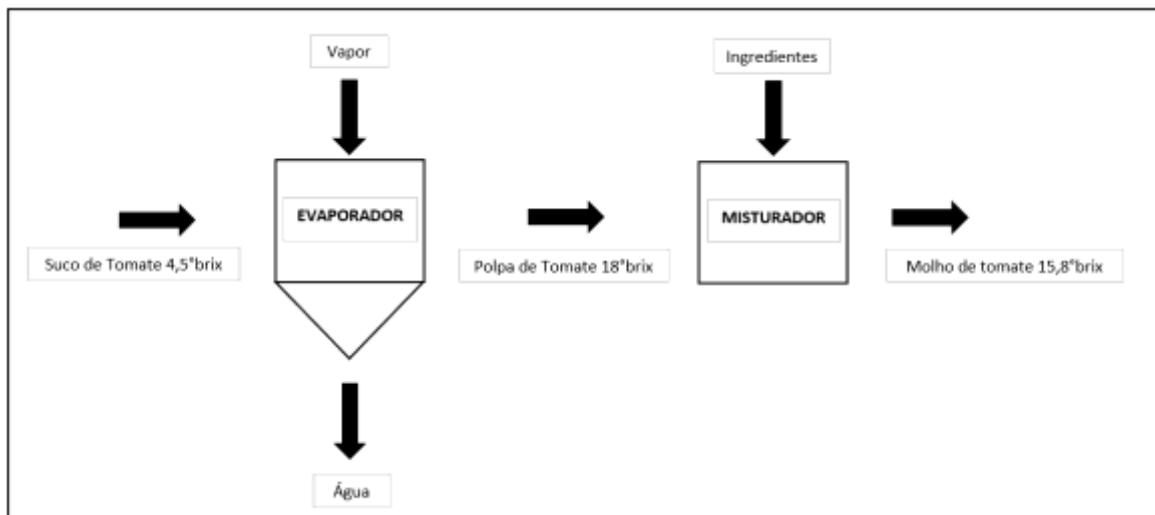


Figura 13 - Fluxograma específico das etapas de evaporação e mistura

Fonte: Elaborado pela autora.

O fluxograma mostra que a primeira etapa relativa ao controle do parâmetro °brix se dá na evaporação. Nesta etapa tem-se como entrada o suco de tomate a aproximadamente 4,50 °brix, e em um evaporador de três efeitos é realizada a concentração desse suco através da injeção direta de vapor saturado, sob efeito de vácuo e a uma temperatura de aproximadamente 80 °C, em contra corrente ao processo principal. Na saída do evaporador tem-se um refratômetro que faz a leitura do °brix especificado e determina a recirculação do suco de tomate até atingir o valor desejado de concentração. Em contrapartida o vapor utilizado no processo condensa-se e a água é direcionada para reutilização no processo produtivo.

Após atingir a especificação determinada de 18,00 °brix, o suco transformado em polpa de tomate passa um processo de pasteurização e então é direcionada para o setor de mistura. Nesta etapa há a preparação dos demais ingredientes utilizados para o processamento, sendo misturados em um tanque específico através de adição manual dos sacos de ingredientes e posterior homogeneização. A polpa e os ingredientes são direcionados através de tubulações para os misturadores, onde, a partir de uma vazão pré-determinada na formulação do produto, ocorre a dosagem proporcional à receita, com a subsequente homogeneização da solução. A mistura é posteriormente finalizada em um tanque com agitação contínua, onde realiza-se a coleta de uma amostra para verificação dos parâmetros físico-químicos, dentre esses o °brix. Nesta etapa a análise é realizada em um refratômetro de bancada, e os resultados são comparados à especificação de projeto. Caso estejam dentro da especificação o produto estará disponível para envase.

Além das definições das etapas mais envolvidas nesse processo, o Quadro 3 representa uma análise das entradas e saídas através da ferramenta SIPOC:

Quadro 3 - SIPOC do processo

S	I	P	O	C
(Fornecedores)	(Entradas)	(Processo)	(Saídas)	(Clientes)
Manufatura	<i>Suco de tomate</i>	Evaporador	<i>Polpa a brix especificado</i>	Manufatura
Manufatura	<i>Polpa a brix especificado</i>	Pasteurizador	<i>Polpa a brix especificado</i>	Manufatura
Manufatura/ Logística	<i>Polpa a brix especificado/ ingredientes e utilidades</i>	Misturador	<i>Produto Formulado conforme especificação</i>	Manufatura/ Controle de Qualidade
Manufatura/ Controle de Qualidade	<i>Produto Formulado conforme especificação</i>	Envase	<i>Produto acabado palletizado</i>	Manufatura/ Logística

Fonte: Adaptado de Werkema, 2011.

De acordo com o Quadro 3, os principais fornecedores envolvidos nesse processo e consequentemente os clientes internos são as áreas de manufatura, logística e controle de qualidade. Já as entradas e saídas do processo constituem desde o suco de tomate moído, polpa de tomate a um °brix especificado, e o produto específico formulado e destinado ao envase.

Com tal detalhamento das etapas e suas particularidades inerentes, pôde-se inferir que essas etapas abordadas mais profundamente são determinantes para controlar o parâmetro estudado e estudar sua variabilidade, além de observar os principais *stakeholders* envolvidos no processo, assim como as principais entradas e saídas de cada etapa do processamento, sendo úteis na delimitação do estudo em sequência.

4.3 Aplicação do método CEP/ seis sigma no objeto de estudo

4.3.1 Análises descritivas acerca dos dados coletados

4.3.1.1 Normalidade dos dados

Com o auxílio do *software* Minitab, foi realizado o teste de normalidade de Anderson-Darling para verificar a normalidade dos dados coletados para o estudo. No teste de Anderson

Darling considera-se normal a distribuição que apresentar p -value maior que 0,05, o que significaria uma probabilidade maior que 5% em cometer erro, ao rejeitar a hipótese de normalidade da distribuição em análise.



Figura 14 - Teste de normalidade dos dados

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando um grau de confiança de 95%, de acordo com a Figura 14, a partir da análise do gráfico de probabilidade, foi observado que os valores obtidos na amostragem estão bem próximos à linha de distribuição desejada, similares a uma linha reta, característica da distribuição normal. Foi obtido o valor de p -value de 0,337 para o ajuste dos dados. Considerando normal a distribuição que apresenta o valor de p -value maior que 0,05, foi constatado que os dados podem ser considerados dentro de uma distribuição normal, ou seja, tratam-se de dados paramétricos.

4.3.1.2 Estatística descritiva

Com o objetivo de verificar os resultados dos principais parâmetros da estatística descritiva com base na amostragem levantada, com o auxílio do *software* Minitab foram obtidos os valores de média, desvio padrão, quartis da amostra, valores mínimos e máximos, amplitude e coeficiente de variação.

Tabela 2 - Estatística descritiva para os dados iniciais

Estatísticas		
Média (μ)	15,80	°brix
Desvio Padrão (σ)	0,35	
Mínimo	14,41	
Máximo	17,69	
Q1	15,58	
Mediana	15,80	
Q3	16,03	
Amplitude	3,28	
LIC ($\mu - 3\sigma$)	14,75	
LSC ($\mu + 3\sigma$)	16,85	
Coefficiente Variação	2,21	%

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando que os valores estatísticos foram obtidos a partir de uma amostragem de 2880 dados, pôde-se observar que a média de valores apresentou exatamente o valor médio da especificação de 15,80 °brix, o que indica a centralização dos dados frente à amostragem. O valor de desvio padrão (σ) encontrado foi 0,35, representando a dispersão dos dados, ou seja, aproximadamente 68% dos dados estão a um desvio padrão da média, 95% dos valores estão a dois desvios padrão da média e 99,7% dos valores estão a três desvios padrão da média. Os limites de controle inferior e superior, calculados a partir da média e desvio padrão, foram 14,75 °brix e 16,85 °brix, respectivamente. Comparando-se com as especificações de projeto, que variam de 14,80 °brix a 16,80 °brix, percebe-se que os limites de controle estão além da especificação.

Em uma análise inicial poderia-se afirmar que o processo comporta-se de maneira centrada, com a média real coincidindo com a meta teórica de projeto. Porém observa-se que os limites estão mais amplos, além disso o valor mínimo encontrado de 14,41 °brix e o valor máximo de 17,69 °brix, apresentam-se fora dos limites da especificação, o que indica a geração de defeitos neste respectivo processo. Analisando os valores mínimo e máximo das amostras, pôde-se inferir que pode haver um ou mais *outliers* no processo, que serão calculados posteriormente.

Em relação aos quartis identificados, o primeiro quartil mostra que 25% dos dados apresentam valores menores ou iguais a 15,58 °brix, enquanto que a mediana, que representa o ponto médio do conjunto de dados, apresentou valor de 15,80 °brix, ou seja, metade das observações estão acima desse valor e metade das observações estão abaixo do mesmo. O valor

de mediana encontrado praticamente coincide com os valores de média para o processo, o que indica a simetria dos dados. Já para o terceiro quartil 75% dos dados possuem valores menores ou iguais a 16,03 °brix. Tais resultados são relativamente próximos aos valores de média e mediana, o que indica que, em relação à quantidade de análises, os dados parecem mostrar-se ligeiramente mais deslocados para o limite inferior da especificação, já que 75% dos dados estão próximos aos valores de média e inferiores à média. Por último, o coeficiente de variação, que fornece a variação dos dados obtidos em relação à média, foi calculado em 2,21%, indicando a homogeneidade dos dados.

A partir dessa análise pode-se inferir que talvez o processo esteja centrado em relação aos limites de controle, mas a variabilidade encontrada revela que o processo pode estar fora de controle estatístico, e, portanto, não estar atendendo às especificações requeridas e gerando desperdícios.

4.3.1.3 Teste de *outlier*

Ao notar-se que os valores mínimos e máximos encontrados nas análises encontravam-se fora dos limites estabelecidos na especificação do produto, foi realizado um teste de *Grubbs* para comprovar a existência ou não de *outlier* na amostragem, conforme demonstrado na Tabela 3:

Tabela 3 - Teste de *Grubbs* para detecção de *outliers*

Teste de <i>Grubbs</i>	
Variável	°Brix inicial
N	2880
Média	15,80
Desvio Padrão	0,35
Mínimo	14,41
Máximo	17,69
G	5,41
P	0,00
Linha	2880
<i>Outlier</i>	17,69

Fonte: Elaborado pela autora.

Pela interpretação do teste, a hipótese nula diz que todos os dados são provenientes da mesma população, ou seja, não há existência de *outlier* no processo. Conforme as regras de interpretação do manual de Minitab (2019), considerando um nível de significância $\alpha = 0,05$,

se o valor p encontrado é menor que α , deve-se rejeitar a hipótese nula, e, portanto, concluir que existe um *outlier*. Por outro lado, caso o valor p seja maior que α , não deve-se rejeitar a hipótese nula, pois não há evidências suficientes para concluir que existe um *outlier*. Os resultados obtidos no testem revelaram que o valor P encontrado (P=0) foi menor que o nível de significância $\alpha = 0,05$, rejeitando a hipótese nula e concluindo-se que existe um *outlier* no valor de 17,69 °brix na amostra 2880. Sendo assim, para efeito de análise, foi considerada a exclusão deste valor na sequência do estudo, pois foi associado a um evento anormal no processo, uma causa especial que foi desconsiderada estatisticamente.

4.3.2 Análises descritivas – CEP

Para fazer o diagnóstico do comportamento do processo foi construída uma carta de controle do tipo I-AM, que corresponde à análise dos valores individuais do subgrupo de tamanho 1 e as respectivas amplitudes móveis, utilizando o *software* Minitab.

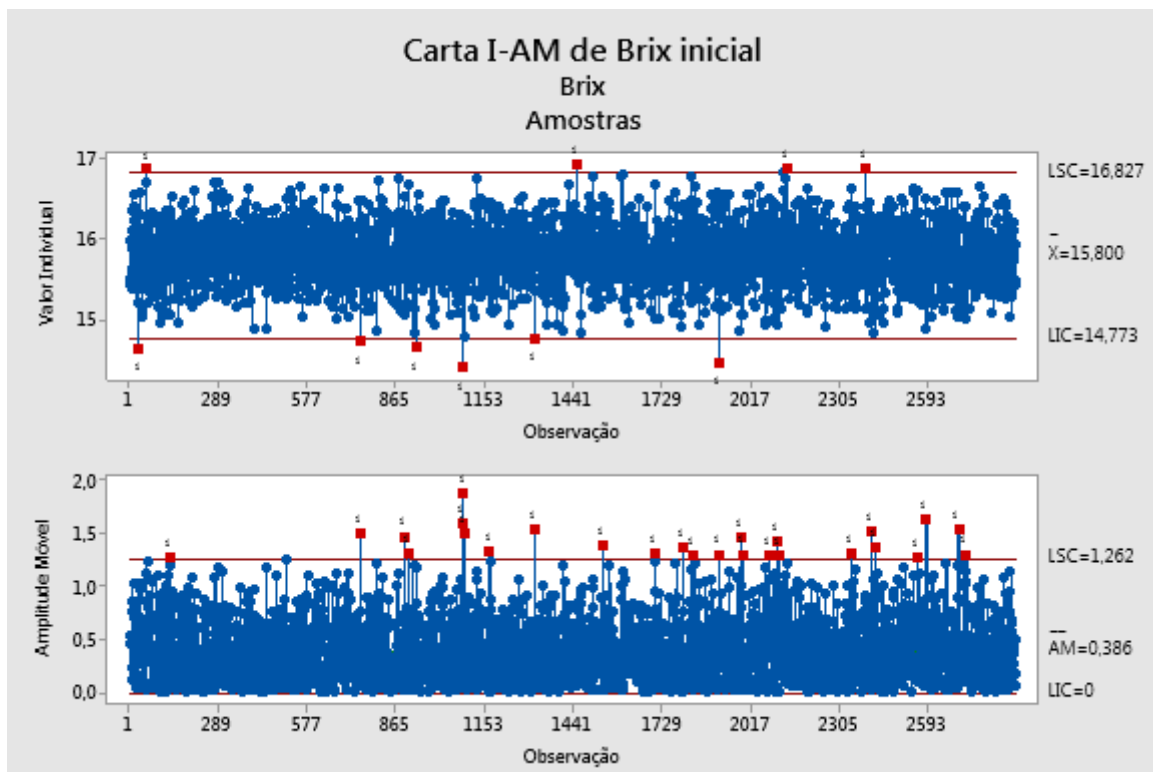


Figura 15 - Carta I-AM inicial

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao elaborar-se a carta de controle a partir das 2879 amostras coletadas, pela Figura 15, primeiramente observa-se na carta I, que indica a variabilidade dos valores individuais, que a

média do processo está em 15,80 °brix, conforme já calculado na estatística básica mencionada no tópico 4.3.1.2. Apresenta-se então os limites de controle deste processo calculados a partir da variabilidade das amostras, com a exclusão dos *outliers*, obtendo-se o valor de 14,77 °brix para o limite inferior de controle (LIC) e 16,83 °brix para o limite superior de controle (LSC), sendo os valores calculados pela distância de três desvios padrão em relação à média. Constatase que a maioria dos dados coletados estão compreendidos dentro dessa distribuição, e há alguns pontos fora dos limites calculados, em momentos diferentes dentro da amostragem.

A ABNT (2013), que estabelece na ISO 7870-2 as regras de interpretação de cartas de controle, aborda em sua primeira regra que um processo está fora de controle quando há um ponto mais que três desvios padrão da linha central, e portanto fora dos limites de controle. Este indicativo constitui um “alarme” no processo. Aplicando este conceito pode-se observar na carta I que há pontos acima do limite superior de controle e abaixo do limite inferior de controle. Foram encontrados, durante o período investigado, dez pontos fora dos limites de controle, sendo seis alarmes abaixo do limite inferior de controle e quatro alarmes acima do limite superior de controle, acarretando em possíveis desvios neste respectivo processo.

Já para a carta que corresponde à amplitude móvel, a média encontrada de variação para os pontos consecutivos foi de 0,39, e o limite superior de amplitude tolerável para o processo foi calculado em 1,26. Aplicando a mesma interpretação da ABNT (2013) para a carta AM, observa-se vinte e seis pontos acima do limite de controle, sendo concentrados principalmente a partir da amostra 865. Isso demonstra uma variação em amostras consecutivas além dos limites estabelecidos em vários períodos do estudo. Quando compara-se as duas cartas I e AM, em alguns períodos a grande concentração de pontos com amplitude alta reflete em um resultado de °brix fora dos limites de controle, como pode-se observar entre as amostras 865 e 1153 e entre as amostras 1729 e 2017, indicando uma variabilidade além dos limites estabelecidos de controle.

A fim de corroborar as análises, além dos pontos avaliados nitidamente como fora dos limites de controle pela primeira regra, foram abordados outros pontos na carta de controle I – AM que, embora dentro dos limites, são indicativos de variações no processo, conforme demonstrado na Figura 16:

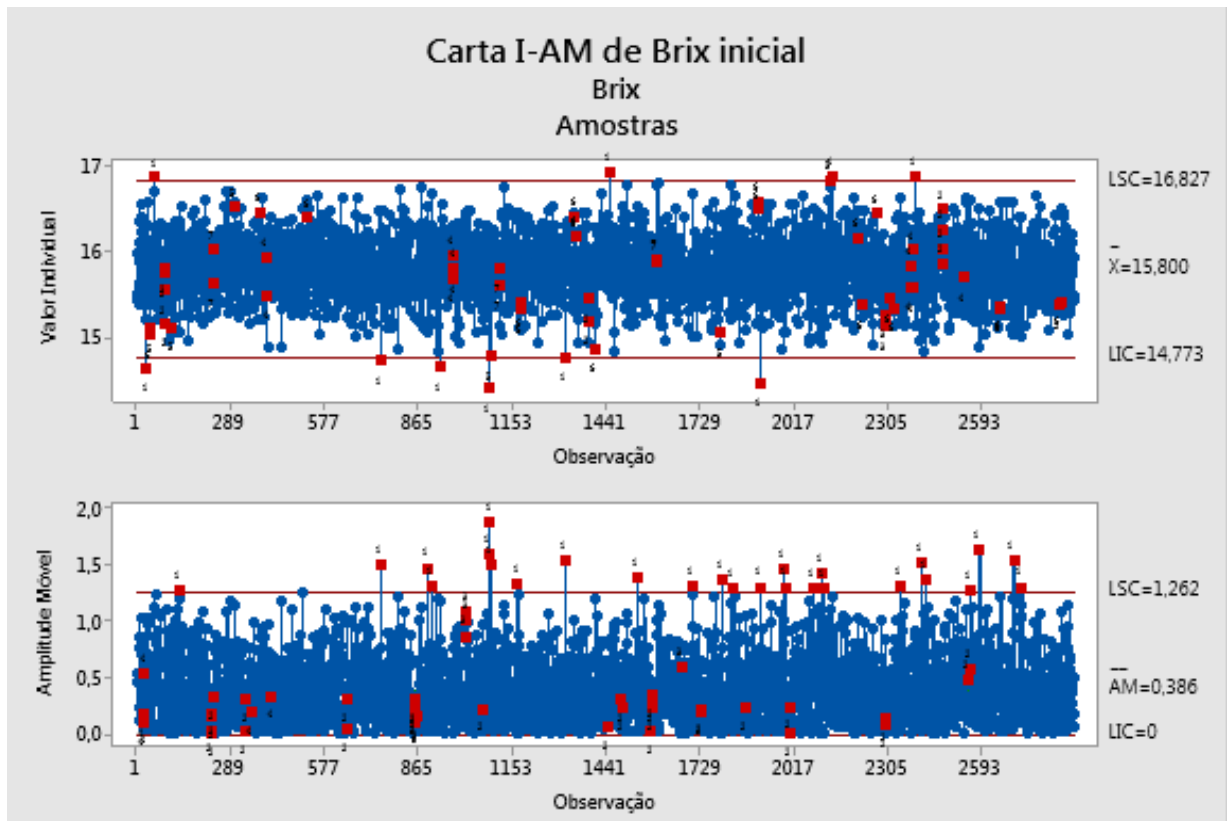


Figura 16 - Carta I-AM inicial contendo regras de alarmes

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao aplicar os critérios referentes às regras das cartas de controle em relação à tomada de decisão para definição de demais anormalidades, para a carta I algumas tendências foram verificadas nos seguintes testes explicitados na Figura 16 ao longo das amostras, sendo:

Teste 2 - Nove pontos consecutivos no mesmo lado da linha central (LC): esse alarme foi observado quatro vezes ao longo da amostragem, sendo por três vezes abaixo da LC (amostras 86, 1389 e 2832) e uma vez acima da LC (amostra 2472).

Teste 3 - Seis pontos consecutivos, todos crescentes ou decrescentes: foi observado uma sequência decrescente (amostra 2298).

Teste 4 - Quatorze pontos consecutivos alternando para cima e para baixo: foram observados quatro alarmes nessa regra (amostras 400, 972, 2378 e 2540).

Teste 5 - Dois de três pontos com mais de dois desvios padrão em um lado da LC: foram constatados oito desvios nessa regra (amostras 43, 58, 111, 303, 1086, 1794, 2127 e 2134).

Teste 6 - Quatro de cinco pontos com mais de um desvio padrão da linha central, em um mesmo lado: houve 19 alarmes nesse caso, ao longo da amostragem.

Teste 7 - Quinze pontos consecutivos em um desvio padrão da linha central (tanto acima quanto abaixo do LC): houve três alarmes nessa regra (amostras 236, 1115 e 1595).

Tais constatações revelam que o processo possui mais indicativos de variações, que mostram uma tendência em estar fora de controle, antes mesmo de haver um ponto nitidamente fora dos limites. Também foram avaliados os alarmes da carta de amplitude móvel AM, e foram obtidos os seguintes resultados para as demais regras:

Teste 2 - Nove pontos consecutivos no mesmo lado da linha central (LC): esse alarme foi observado treze vezes ao longo da amostragem.

Teste 3 - Seis pontos consecutivos, todos crescentes ou decrescentes: foram observadas duas ocorrências dessa regra (amostras 1012 e 1671).

Teste 4 - Quatorze pontos consecutivos alternando para cima e para baixo: foram observados três alarmes nessa regra (amostras 22, 353 e 416).

Os demais testes não se aplicam para a carta de amplitude móvel.

Tais análises corroboram as constatações anteriores no sentido de trazer mais indicativos de variações encontrados de acordo com as regras aplicadas. A Tabela 4 traz um resumo dos alarmes apresentados neste processo:

Tabela 4 - Número de ocorrências de alarmes

Regra	n° (I)	n° (AM)	Total
1	10	26	36
2	4	13	17
3	1	2	3
4	4	3	7
5	8	0	8
6	19	0	19
7	3	0	3
Total	49	44	93

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando todas as regras aplicadas, pode-se perceber que tanto a carta I quanto a carta AM apresentaram uma grande quantidade de alarmes, totalizando 93 alarmes neste processo, não somente de pontos fora dos limites, mas também de regras de tendência dentro dos limites. Em algumas regras há uma maior tendência de alarmes na carta de controle para o limite inferior da especificação, como foi observado nas regras 1 e 2 da carta I, além de vários alarmes nas demais regras, indicando que alguns distúrbios estão presentes no processo.

Além das regras da ABNT (2013), também foram analisadas as regras defendidas por Paladini (1990), que afirmam que um processo está fora de controle nos seguintes casos:

- a) Pelo aparecimento de um ponto fora dos limites de controle;
- b) Pelo aparecimento de 7 a 20 pontos sucessivos, dos quais pelo menos 16 situados em um mesmo lado da linha central.

Analisando as regras de Paladini (1990), percebe-se que a carta de controle apresenta pontos relacionados aos dois casos, pois possui dez pontos fora de controle e possui pontos sucessivos em um mesmo lado em relação à linha média, como pôde-se observar nas amostras 236, 1115 e 1595, reforçando a constatação de que o processo encontrou-se fora de controle estatístico neste período.

Em relação a todas as análises efetuadas, Paladini (1990) traz a concepção que a avaliação de um processo com a utilização de cartas de controle permite duas análises fundamentais, se o processo está ou não sob controle estatístico, e se o processo atende as especificações a ele associadas. Nesse sentido observou-se pela variabilidade que tal processo encontra-se fora de controle estatístico, e nesse caso automaticamente não atende às especificações, pois supostamente estaria tendo um comportamento imprevisível. Ressalta-se esta afirmação quando compara-se os limites de controle encontrados com a faixa de especificação definida, na qual os valores estão ligeiramente mais abrangentes em relação à especificação.

4.3.3 Análises descritivas – seis sigma

Pelo fato de o processamento de tomate industrial ser um processo complexo onde existem variações simultâneas de matéria-prima, medição e instrumentos, além das cartas de controle envolvendo o controle estatístico de processo, foram abordadas na sequência a análise das ferramentas envolvendo o método seis sigma, customizadas para esse estudo.

4.3.3.1 Histograma

Para melhor visualização gráfica do efeito da variabilidade no processo estudado, com o auxílio de um histograma foi realizada uma análise de dispersão dos dados, conforme está ilustrado na Figura 17:

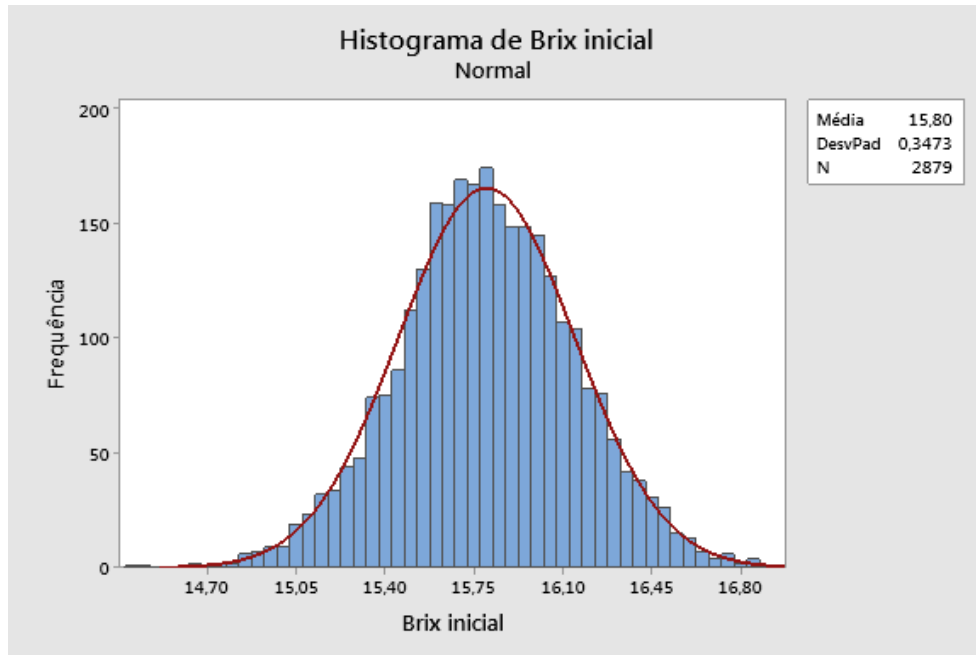


Figura 17 - Histograma do comportamento do parâmetro °brix

Fonte: Elaborado pela autora.

Pela característica do comportamento da curva de dados, observa-se que os dados compreendidos pelas 2879 amostras dispersam-se entre os valores de 14,40 °brix a 16,80 °brix. Em relação à curva de ajuste, visualmente percebe-se que o histograma possui um bom ajuste à distribuição de dados, característico de uma distribuição normal. O pico de dados se dá em 15,80 °brix, que coincide com o limite central da especificação do parâmetro. Porém, ao analisar o comportamento dos dados próximos à média, há uma maior quantidade de dados entre os valores de 15,60 °brix e 15,80 °brix, extrapolando a curva de tendência, indicando que há uma assimetria relativa nesta curva, com os dados ligeiramente mais deslocados para o limite inferior de controle, reafirmando a tendência apresentada na análise dos quartis realizadas dentro do conceito da estatística descritiva.

4.3.3.2 Análise de capacidade/variabilidade

O método seis sigma traz o conceito de excelência em manufatura, onde 99,99966% dos dados estão dentro da distribuição centralizada, ocorrendo apenas 3,4 defeitos por milhão de produtos fabricados. Nesse sentido foi realizada uma análise do nível de qualidade do processo comparando com o nível sigma. Foi realizada uma análise de capacidade do processo com o auxílio do *software* Minitab, por meio do indicador *Zbench*, que são valores de *benchmarking* que permitem analisar e comparar a capacidade do processo.

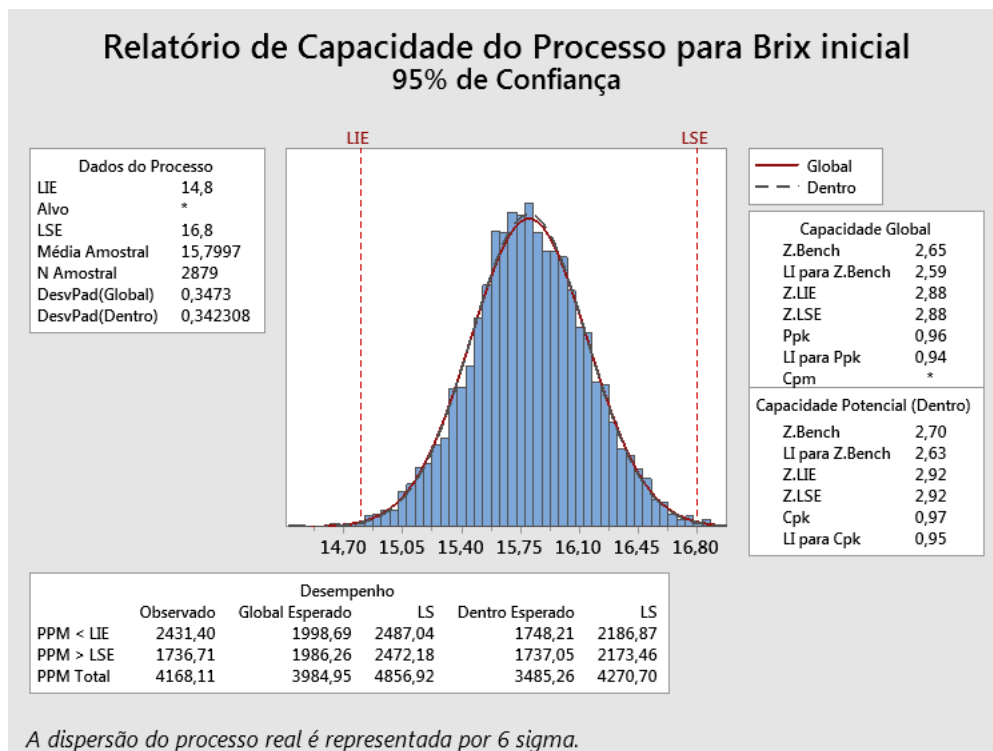


Figura 18 - Capacidade a nível sigma do processo

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao realizar a análise dos resultados obtidos na Figura 18, considerando um intervalo de confiança de 95% dentro de uma distribuição normal, ressalta-se primeiramente que os índices de capacidade do processo ($C_{pk} = 0,97$ e $ppk = 0,96$) estão abaixo de 1, indicando que o processo não é totalmente capaz de não gerar zero grau de defeitos. Ao analisar o nível sigma do processo, ou Z_{bench} , encontrou-se o valor de 2,70 sigmas para a capacidade potencial e 2,65 sigmas para a capacidade global. Em outras palavras, constata-se que o número de defeitos por milhão de unidades foi de 3985 ppm, o que indica que o processo pode ter desvios e não atinge o nível sigma desejado, já que a nível seis sigma os resultados serão melhores quanto mais próximos de 3,4 ppm. Nesse caso em questão, de acordo com os resultados processados no manual de interpretação do Minitab (2018), a capacidade sigma é definida pela Equação (6):

$$\text{Capacidade sigma } (\sigma) = 1,5 + Z_{bench} \quad (6)$$

A Equação (6) apresenta a capacidade global, que usa o desvio padrão global do processo. Aplicando-se o conceito nos valores encontrados, o processo é caracterizado por um

valor de 4,15 sigma, indicando que há oportunidades de melhoria para elevar esse nível e gerar menos defeitos no processo de formulação do produto.

Considerando os valores encontrados de nível sigma do processo e as análises realizadas com base no controle estatístico, foi estimado o nível de desperdício do respectivo processo. Aproximadamente 0,4% das análises realizadas extrapolaram a especificação neste período de avaliação, o que corresponde a aproximadamente cinquenta toneladas de produto fabricado fora da especificação em um ano de operação, considerando a capacidade nominal de produção. Em termos financeiros esses valores representam um prejuízo de até noventa mil reais por risco de geração de produtos fabricados fora dos padrões de qualidade exigidos.

Por fim, com base nos dados apresentados, pôde-se inferir que o processo está centrado na meta, porém com uma variação além dos limites de controle e especificação, que pode indicar a presença de distúrbios ou causas especiais que necessitam ser investigadas e eliminadas.

4.3.3.3 Análise box plot

Com o objetivo de complementar as análises do comportamento do processo produtivo, a fim de identificar possíveis causas que interferem em suas variações, foi realizada uma análise comparativa entre os dados dos três turnos de operação, designados por turnos A, B e C, com o auxílio do *software* Minitab por meio de um gráfico do tipo *boxplot*:

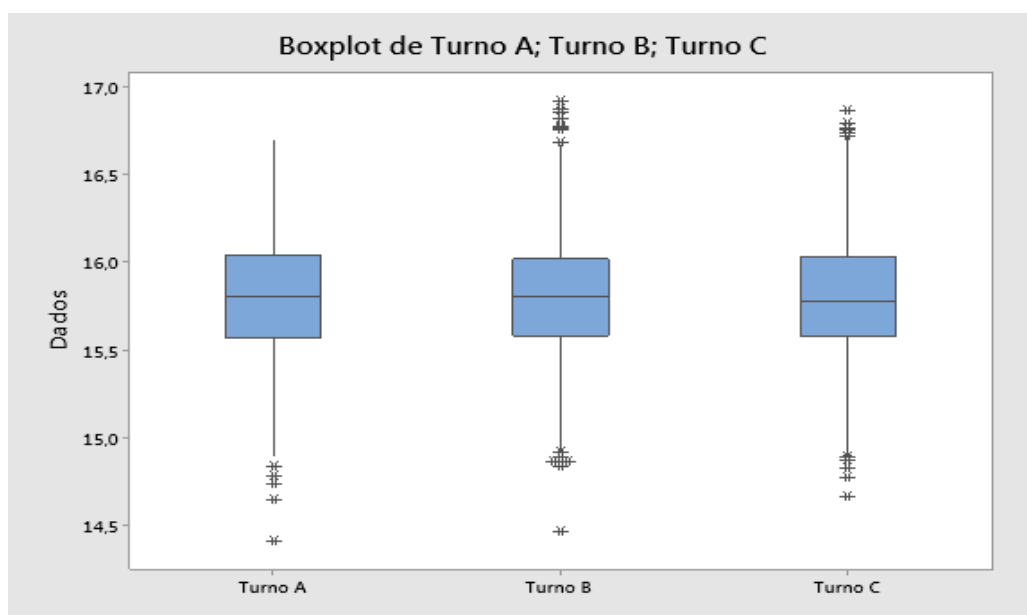


Figura 19 - Comparação de variabilidade entre turnos produtivos

Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico *boxplot*, evidenciado na Figura 19, traz algumas variações entre os resultados dos turnos de operação, o que sinaliza algumas tendências. Comparando os três blocos representados pelos diagramas, em relação à posição e simetria dos dados, percebe-se que os turnos A e B estão bem centralizados, no que diz respeito ao número de amostras, enquanto que no turno C os dados estão um pouco descentralizados, com uma maior quantidade dos dados acima do segundo quartil, o que indica uma assimetria neste conjunto de dados.

Em relação à dispersão dos dados, os dados dos turnos A e C possuem variações semelhantes, enquanto que no turno B há uma menor dispersão em relação aos outros turnos, indicando que os dados deste conjunto estão mais próximos ao limite central de controle, com uma menor variabilidade.

Ainda sobre a análise entre períodos de operação, no que diz respeito a caudas e *outliers*, nos três turnos foram identificados *outliers* abaixo do limite inferior de controle, já para o limite superior de controle foram identificados *outliers* nos turnos B e C, e nenhum *outlier* no turno A.

A partir dessas análises realizadas entre períodos específicos de operação, verificou-se que há diferenças nos resultados dos parâmetros dos três turnos, considerando simetria, variabilidade e pontos fora de controle. Tais resultados indicam que, com base nos dados levantados, uma das causas de variabilidade no processo é a falta de padronização do método de trabalho, já que o comportamento geral do processo possui particularidades em períodos específicos. Complementando a hipótese, em sequência apresenta-se o levantamento de causas realizado a partir de ferramentas qualitativas para análise de causa raiz.

4.3.3.4 Diagrama de causa e efeito

Com base nos registros do formulário de levantamento de dados e nos depoimentos dos principais atores do processo, foram levantadas as principais causas considerando o diagrama de causa e efeito, ou diagrama de *Ishikawa*, segundo Figura 20:



Figura 20 - Diagrama de causa e efeito

Fonte: Adaptado de Correa, 2012.

Conforme relatado na Figura 20, foi definido o efeito estudado como a variável de resultado de análise de °brix. Com o auxílio do método *brainstorming*, foram identificadas as principais causas de variabilidade e as oportunidades foram classificadas considerando as causas definidas em medições, material, pessoal (mão de obra), meio ambiente, métodos e máquinas. Foi observado que, dentre as classificações realizadas, os fatores de material, métodos e máquinas foram os que obtiveram maior número de causas relatadas. Para materiais, foram apontadas três causas, sendo as variações no °brix real da matéria-prima, o peso dos sacos dos outros ingredientes, principalmente sal e açúcar, que são consumidos em pacotes fechados onde não é realizada uma pesagem antes do uso, e os diferentes fornecedores do mesmo material no processo. Para as causas envolvendo métodos, foram abordados três fatores, envolvendo análises, procedimentos operacionais, e limpeza de instrumentos. Por último, no que diz respeito às máquinas, foram identificadas três causas, envolvendo agitadores, dosadores da mistura e calibração de equipamentos que podem interferir na confiabilidade do resultado da análise.

Em relação aos fatores de medições e mão de obra, foram elegidas duas causas de variabilidade, enquanto que o fator meio ambiente foi o que obteve somente uma causa associada. Considerando a caracterização de medições, as variações entre diferentes

instrumentos no processo e a temperatura da amostra no momento da análise podem influenciar o resultado de medição. Nas causas relacionadas à mão de obra, foram identificadas oportunidades em treinamento e tomada de decisão em caso de variações no processo. Por fim, para os fatores de meio ambiente foi apontada a temperatura ambiente como um ponto que pode influenciar o resultado das análises do parâmetro estudado.

Conforme relatado nas análises foram apontadas quatorze causas potenciais relacionadas ao efeito estudado, com base em todas as possibilidades levantadas no contexto, o que mostra que o processo possui diferentes fatores de interferência que podem contribuir para o aumento de sua variabilidade.

4.3.3.5 Priorização de causas especiais

Diante das diversas causas levantadas pelo diagrama de causa e efeito, a fim de direcionar o estudo foi elaborada uma matriz de priorização para entender os principais impactos relacionados à variabilidade durante a fabricação. Para auxiliar nessa avaliação foi utilizada a matriz GUT, onde os principais atores do processo, com base nos eventos relatados durante a amostragem e na experiência vivenciada, atribuíram pontuações a cada causa considerando a gravidade, urgência e tendência da ocorrência. As pontuações obtidas com essa ferramenta podem ser verificadas no Apêndice A.

Com os principais impactos levantados e a priorização realizada, foi construído um gráfico de Pareto para melhor visualização:

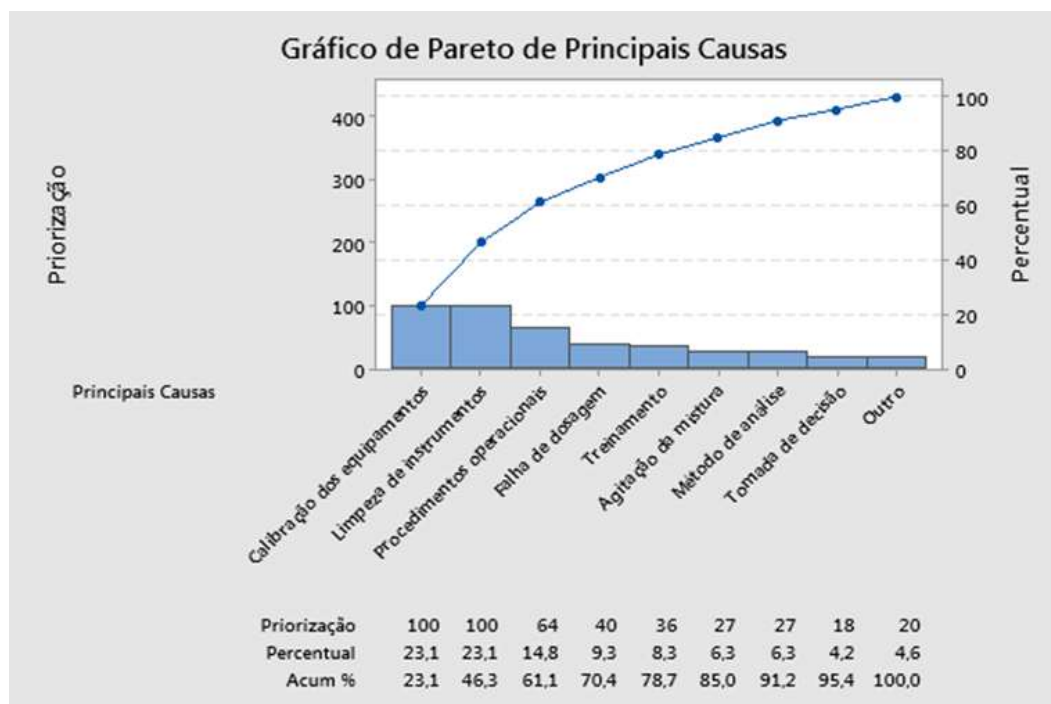


Figura 21 - Gráfico de Pareto

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 21, das quatorze causas levantadas cinco delas representam 80% dos motivos de variabilidade no processo. Para melhor organização do estudo as causas foram agrupadas e classificadas em temas pertinentes ao processo, sendo divididas em: métodos de trabalho envolvendo limpeza dos instrumentos e procedimentos operacionais, que corresponde a 56,3% do percentual total de motivos de variabilidade, e máquinas, envolvendo manutenção de instrumentos e equipamentos envolvidos no processo, que correspondem a 30,4% do percentual total. A partir dessa análise foram priorizados os dois grupos mais prováveis no processo que influenciam no aumento de variabilidade.

4.3.4 Propostas de melhoria

Na etapa de melhoria foram estudados os principais impactos levantados nas análises realizadas anteriormente e foi realizado um *brainstorming* com os principais envolvidos, considerando a experiência dos agentes deste processo relevante na investigação e proposição de soluções.

Nessa fase foram apresentadas as principais ações desenvolvidas para reduzir a variabilidade do processo de formulação de molhos de tomate, considerando as principais categorias definidas na etapa de análise. Foram utilizadas as ferramentas “5 Porquês” e “5W1H”

para definir principais atividades relevantes de acordo com as análises de causa raiz levantadas nesta etapa do processo.

Quadro 4 - Análise 5 porquês do processo

	Efeito	Por que?	Por que?	Por que?	Por que?	Por que?	Causa Raiz
5 Porquês	Leitura falsa no equipamento de medição	Equipamento incrustado com resíduo de produto	Falta de limpeza	Não há padrão de periodicidade de limpeza dos instrumentos			Falta de padrão de procedimento de limpeza
5 Porquês	Leitura falsa no equipamento de medição	Equipamento descalibrado	Falta de calibração dos instrumentos	Não há frequência definida			Falha no procedimento de calibração
5 Porquês	Variabilidade do processo entre turnos	Set point de trabalho alterado	Não há padrão de trabalho para esse controle				Falta de padrão de trabalho em caso de variações

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 4 mostra a aplicação da ferramenta 5 porquês no contexto pesquisado. Foram elencados três efeitos relacionados à variabilidade do processo e para cada efeito foi levantada a causa raiz. Em relação aos problemas levantados relacionados aos instrumentos, foi evidenciado que os refratômetros de linha de produção apresentavam falhas intermitentes em alguns períodos, gerando travamento de leitura ou leitura incorreta. Essas ocorrências se davam devido às incrustações no prisma de leitura, que surgiam naturalmente com o acúmulo de resíduo do processo. Quando comparados aos resultados do instrumento de bancada, que possuíam calibrações e verificações constantes, as análises possuíam divergências, dificultando a atuação da operação. Dentro desse contexto foi evidenciado que não havia um padrão de limpeza para garantir a leitura correta.

Além das questões relacionadas à limpeza dos instrumentos, outro motivo evidenciado para a leitura incorreta dos refratômetros foi a falta de frequência definida para calibração do mesmo, sendo que trata-se de um instrumento relevante para prever o comportamento do processo.

Em relação aos procedimentos operacionais, foi evidenciado, conforme Figura 19 mostrada anteriormente, que haviam diferenças entre os resultados e a variabilidade do processo em diferentes turnos de trabalho, sendo que não havia uma padronização de modo de trabalho em relação ao target do processo. Na maioria das vezes em que ocorriam variações, ao invés de atuar nas causas dos distúrbios, eram alteradas as metas estabelecidas. Dessa maneira, cada

turno fazia uma atuação de correção, e não de prevenção dos distúrbios, o que poderia gerar valores fora da especificação definida.

Por fim foram levantadas três causas raízes para os principais efeitos identificados, e em sequência foi elaborado um plano baseado no 5W1H, conforme demonstrado no Quadro 5:

Quadro 5 - 5W1H aplicado às principais causas

	O que?	Por que?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?
5W1H	Leitura falsa no equipamento de medição	Falta de padrão de procedimento de limpeza	Alterar procedimento com frequência diária	Setor Formulação	Operação	Imediato
	O que?	Por que?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?
5W1H	Leitura falsa no equipamento de medição	Falha no procedimento de calibração	Alterar procedimento com frequência semestral	Setor Formulação	Manutenção	Imediato
	O que?	Por que?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?
5W1H	Variabilidade do processo entre turnos	Falta de padrão de trabalho em caso de variações	Criar procedimento de trabalho para ajustes de set point	Setor Formulação	Operação	Imediato

Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de propor ações para o caso estudado, primeiramente para o caso de variabilidade do processo entre turno, foi sugerida a alteração do procedimento de limpeza, contemplando o estabelecimento de uma frequência definida para realização da atividade. Com essa proposta, a probabilidade de ocorrer falhas nesse instrumento pode ser reduzida com a atuação preventiva.

Para o caso relacionado à calibração, foi consultado o fabricante do equipamento, que recomendou que a calibração deve ser feita semestralmente. Assim foi proposta a atualização do procedimento de manutenção preventiva, contemplando uma frequência semestral para aferição e calibração, a fim de garantir os instrumentos em boas condições para leitura.

Por fim, em relação à variabilidade do processo constatada entre turnos de operação, como sugestão foi criada uma instrução de trabalho para definir os padrões de ajustes de processo, considerando a tomada de decisão em caso de valores mais distantes da meta a ser atingida no processo. Para auxiliar a tomada de decisão operacional, foi estabelecido um limite para atuação preventiva no processo com a criação de um guia de tomada de decisão com base nas regras definidas para cartas de controle. Além disso também foram atualizados os procedimentos e padrões já existentes que eram relevantes para o controle operacional. Após a etapa de melhorias, foram estabelecidos como padrões de controle primeiramente a inclusão dos novos procedimentos e atualização dos já existentes no sistema de gestão de qualidade do

setor, para garantir que todo funcionário que inicie o trabalho nesse setor possa ser treinado nos procedimentos de controle de processo.

4.3.5 Validação das propostas de otimização

A fim de validar o processo otimizado, foi realizado um teste piloto utilizando as mesmas definições das etapas de medição e análise inicial, onde foram obtidos 708 dados durante duas semanas de coleta, para efeito de verificação das medidas de controle, utilizando a ferramenta de cartas de controle.

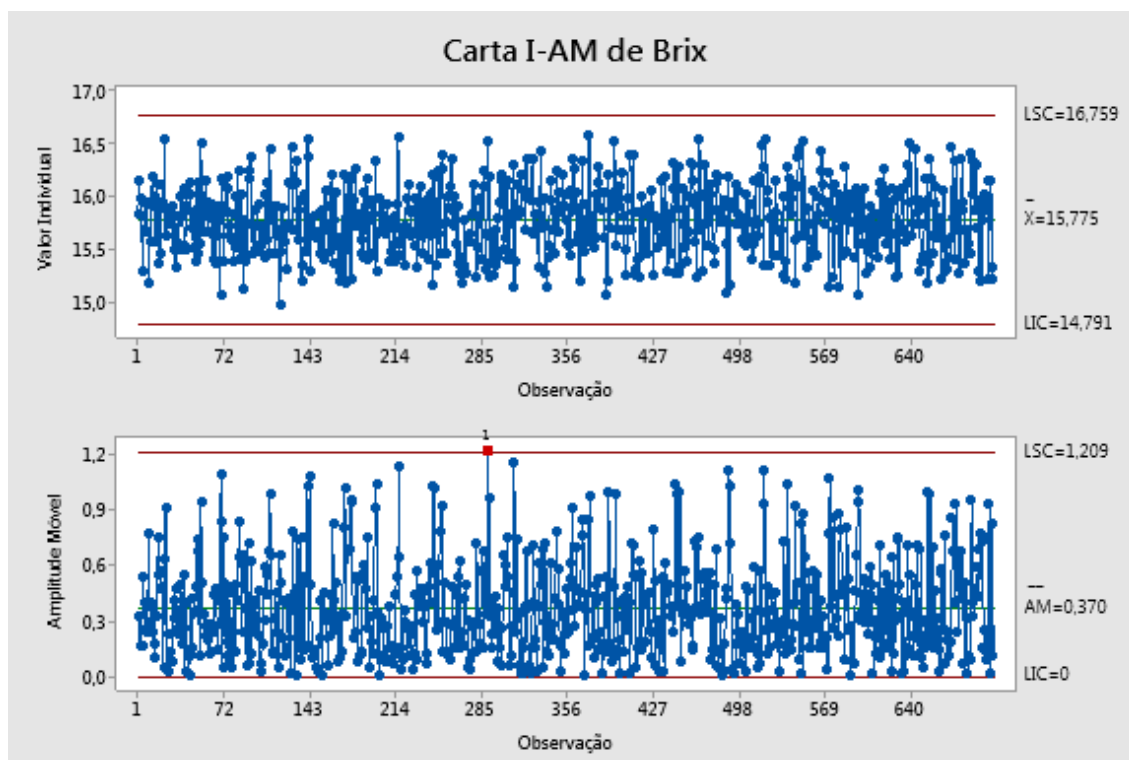


Figura 22 - Carta de controle após resultados

Fonte: Elaborado pela autora.

Pela análise da Figura 22, com base nas amostras coletadas observa-se primeiramente que a média do processo de 15,77 °brix manteve-se próxima do limite central da especificação, apresentando os limites de controle inferior e superior de 14,79 °brix e 16,76 °brix. Não houve a ocorrência de pontos fora dos limites de controle na carta I, e somente um ponto além dos limites na carta AM. O processo mostrou-se mais centrado em seus limites, quando comparado com os resultados anteriores. A Tabela 5 traz um resumo dos principais parâmetros do processo para efeito de análise em relação ao diagnóstico inicial:

Tabela 5 - Comparação dos principais parâmetros antes e depois do estudo

	Antes	Depois	Diferença (%)
Média	15,8	15,77	0%
Desvio Padrão	0,35	0,32	-9%
LSC	16,83	16,76	-0,42%
LIC	14,77	14,79	0,14%
ppm Total	3985	2074	-48%

Fonte: Elaborado pela autora.

O método seis sigma integrado ao controle estatístico de processos apresentou uma melhora nos resultados dos principais parâmetros. Não houve diferença significativa nos valores de média, mantendo-se o comportamento centrado do processo, e houve uma redução de 9% no valor de desvio-padrão, o que indica uma menor variabilidade adquirida nesse processo. Com base na avaliação desse período estima-se uma redução de 48% no número de defeitos gerados neste processo, corroborando em termos práticos a significância da utilização do método CEP/seis sigma combinados.

Sendo assim, a seguir este trabalho descreve e caracteriza um modelo desenhado e adaptado ao contexto estudado, tomando como referência as técnicas CEP e seis sigma de modo conjugado, ou, seja, um modelo híbrido considerando CEP e seis sigma customizado ao objeto de estudo dessa pesquisa, no caso um processo produtivo voltado para o processamento de produtos alimentícios.

4.4 Modelo customizado e simulado para implementação de CEP/seis sigma

Com base na experiência vivenciada, esse tópico apresenta uma proposição de modelo customizado a organizações do setor alimentício em termos de implementação do CEP e seis sigma combinados. Estes métodos integrados também podem ser utilizados em diversos contextos de ambientes industriais ou de serviços, de acordo com a necessidade identificada nas organizações. Para corroborar a ideia de que o CEP e seis sigma podem inclusive serem mais efetivos quando utilizados de forma combinada, tal modelo foi testado de forma piloto e o experimento é aqui relatado e analisado. A sequência lógica da proposta objeto desse trabalho pode ser verificada na Figura 23:

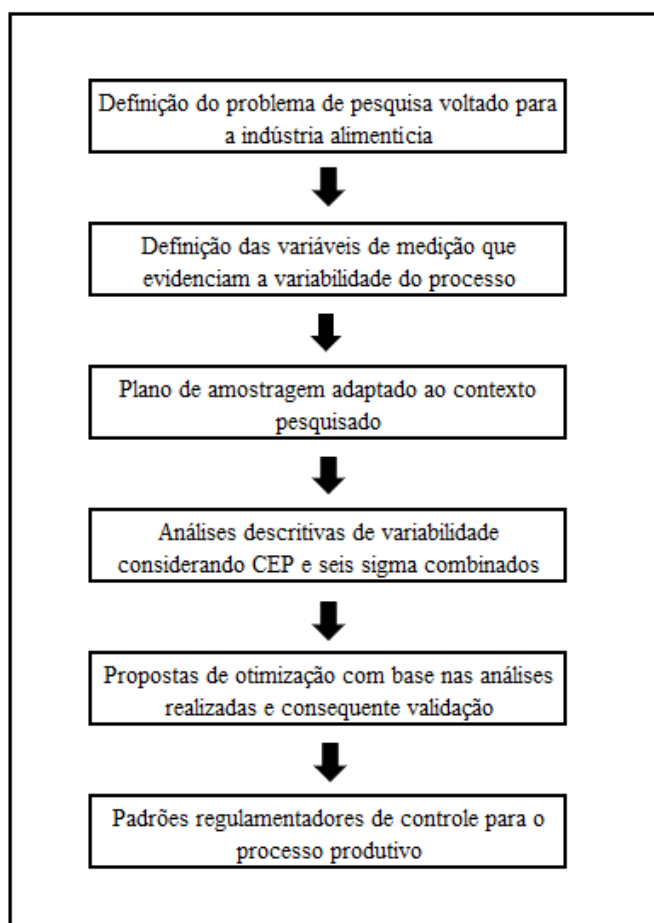


Figura 23 - Modelo customizado proposto para o caso estudado

Fonte: Elaborado pela autora.

Esse modelo proposto teve como embasamento a literatura estudada, principalmente o método DMAIC citado por Carvalho e Paladini (2012), que traz as etapas de uma pesquisa definidas em cinco etapas: definir, medir, analisar, melhorar e controlar, porém adaptadas ao estudo considerando particularidades dos métodos CEP e seis sigma combinados, e também às peculiaridades do contexto pesquisado, sendo um processo produtivo dentro de uma organização industrial de fabricação de alimentos, com variações em um processo em larga escala industrial. De acordo com a proposição ilustrada na Figura 23, o modelo pode ser caracterizado nas seguintes etapas:

1) Definição do problema de pesquisa voltado para a indústria alimentícia - Considerando a perspectiva abordada no estudo, primeiramente deve-se fazer uma investigação para definição do problema de pesquisa junto à organização objeto de estudo, a fim de constatar os principais desvios de variabilidade no processo que refletem em prejuízos financeiros recorrentes. Para ser efetivo, o levantamento deve ser executado através de levantamento de

dados históricos, depoimentos dos principais *stakeholders* ou formulários de entrevistas em campo. No caso desse estudo, conforme citado no tópico 4.2, a definição foi realizada através de dados existentes sobre o problema de pesquisa, considerando dados dos últimos anos das principais perdas no processo produtivo de fabricação de molhos de tomate, evidenciando que os desvios de °brix eram relevantes para a análise. Em um processo produtivo em larga escala, com várias etapas para elaboração do produto final, caso é o caso, é importante delimitar as etapas envolvidas com a problemática em questão para ter o aprofundamento necessário no tema. No caso estudado, foram delimitadas as etapas envolvidas na variabilidade do parâmetro estudado, sendo as etapas de evaporação e mistura as etapas estudadas que influenciavam na variabilidade desse processo.

2) Definição das variáveis de medição que evidenciam a variabilidade do processo - Tendo o problema de pesquisa delimitado, na sequência devem ser avaliadas e definidas as possíveis variáveis de medição que traduzem a necessidade levantada em dados contínuos ou discretos para coleta e análise. Especialmente em processos contínuos em larga escala, como o abordado nesse estudo, para utilização do CEP e seis sigma combinados, deve-se obter preferencialmente uma variável já existente no processo produtivo. Caso não seja possível, deve-se criar um parâmetro que seja relativamente acessível às medições temporárias dentro do contexto. No caso estudado, foi definida a variável °brix como sendo a variável a ser analisada, sendo uma variável já existente independente dentro do processo, possibilitando que o estudo fosse aprofundado sem ser correlacionado com outras variáveis que poderiam interferir nas análises estatísticas.

3) Plano de amostragem adaptado ao contexto pesquisado - Tendo as variáveis definidas deve-se elaborar um plano de amostragem considerando a amostragem possível de ser realizada dentro do contexto de um processo produtivo em larga escala, elencando a frequência de amostragem e o responsável pela coleta de dados. É importante salientar que para uma adequada análise desse modelo deve-se ter uma quantidade de dados relevantes ao estudo. No caso do contexto pesquisado, que trata-se de um processo mais complexo com inúmeros fatores de avaliação, foi realizada uma coleta dentro do plano de amostragem já existente nos procedimentos organizacionais, futuramente servindo como padrão já existente de coleta para análise de dados.

4) Análises descritivas de variabilidade considerando CEP e seis sigma combinados - Após a coleta de dados foi proposto nesse modelo um direcionamento da utilização do CEP e seis sigma combinados como método de análise e solução de problemas. Primeiramente deve-se validar a amostragem dos dados e identificar a distribuição de normalidade característica,

para entender o comportamento dos dados. Já em relação às análises descritivas, pode-se utilizar elementos da estatística descritiva, cartas e gráficos de controle, e análises seis sigma voltadas para o nível de sigma do processo estudado. No caso dessa dissertação, foram calculados os parâmetros de média, desvio padrão, limites de controle, quartis, mediana, valores mínimo e máximo. Além disso foram construídas cartas de controle e histogramas para verificar o comportamento do parâmetro °brix no contexto real estudado. É importante constatar que, no caso de se tratar de número elevado de dados, deve-se verificar se há *outliers* que devem ser desconsiderados na amostragem. Além das ferramentas de CEP, no estudo foi analisado o comportamento do processo a nível sigma, para entender como os dados se encaixavam nessa distribuição. Recomenda-se que o pesquisador avalie as análises mais adequadas de acordo com a sua situação problema, dentro da literatura proposta nesses temas abordados e considerando seu perfil de amostragem obtido na coleta de dados.

5) Propostas de melhoria com base nas análises realizadas e consequente validação - Tendo as análises fundamentadas no estudo, as próximas etapas constituem em propor as adequações necessárias com base nas análises realizadas e consequentemente validar essas medidas propostas. Para auxiliar na otimização é importante ouvir os principais atores do processo e realizar análises qualitativas buscando a causa raiz dos principais fatores que causam instabilidade no processo. No caso do estudo realizado foram utilizadas as ferramentas diagrama de Ishikawa, 5 porquês e 5W2H para propor soluções para a variabilidade do parâmetro estudado. Recomenda-se que o pesquisador procure entender os motivos e alinhe as soluções em conjunto com os envolvidos neste contexto. Para validação das propostas foi realizada uma nova coleta de dados para constatar a redução da variabilidade do parâmetro °brix, sendo uma etapa importante para estimar os ganhos em termos percentuais e financeiros.

6) Padrões regulamentadores de controle para o processo produtivo - Por fim deve-se criar padrões e guias regulamentadores de controle para o contexto pesquisado. No caso do estudo foi criada para a organização uma gestão visual dos indicadores relevantes para esse processo, em formato de gráficos de controle, com frequência diária de atualização e acompanhamento definido na reunião operacional diária do setor, com indicações de tomadas de decisão em caso de desvios. É importante ressaltar que para uma melhor incorporação dos novos padrões de controle o pesquisador deve buscar o que se já é realizado e adicionalmente propor as mudanças necessárias, adaptadas ao contexto para garantir a continuidade dos padrões adquiridos.

Tais considerações foram utilizadas na proposição desse modelo, contendo um passo a passo para estudos dos métodos estatísticos voltados para um ambiente aplicado em um processo em larga escala, de processamento de um produto perecível, como é o caso de derivados de tomate, servindo de base para estudos similares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle estatístico de processos e o método seis sigma são ferramentas com grande utilização em variabilidade de processos, tendo aplicabilidade em diversas áreas das ciências exatas, de saúde e até mesmo ciências humanas. Tal fato foi comprovado por meio das pesquisas realizadas envolvendo publicações sobre o tema, que constatou a grande diversidade de setores que cada vez mais buscam as ferramentas estatísticas para inovação no âmbito científico, visando redução de variabilidade e conseqüentemente melhoria da qualidade de um produto ou serviço. Porém, ainda há poucas publicações sobre o assunto, pois conforme estudo bibliométrico realizado, foram encontrados poucos artigos com os dois temas complementares, demonstrando que há espaço para o crescimento das pesquisas, principalmente no segmento alimentício.

Dentro do contexto do estudo em uma organização industrial alimentícia, foram aplicados os conceitos de cartas de controle e estatística a nível sigma para analisar o comportamento do parâmetro °brix no processo produtivo de fabricação de molhos de tomate, visando propor um modelo customizado a este processo ou a contextos similares. De acordo com os resultados obtidos, foi observado que o processo estava centralizado considerando os limites de controle, mas com variabilidade além das especificações de projeto, e portanto não atendendo tais especificações e gerando desperdícios. Pelas análises realizadas através das cartas de controles elaboradas, foi possível detectar 93 alarmes neste processo durante o período de estudo, o que indica a tendência de distúrbios neste processo. Adicionalmente, pelo histograma de comportamento do processo, foi constatada uma pequena assimetria na curva de dados, com os dados ligeiramente mais deslocados para o limite inferior de controle, que reflete em uma tendência de dados abaixo da meta a ser atingida.

Em relação ao padrão seis sigma do processo, foi encontrado o nível de 4,15 sigma, com uma probabilidade de gerar defeitos de 3985 ppm, o que indica que não atinge o nível sigma desejado, já que a nível seis sigma os resultados serão melhores quanto mais próximos de 3,4 ppm. Comparando com os padrões seis sigma de valores de no máximo 3,4 ppm, 0,4% das análises realizadas extrapolaram os limites de controle. Foram analisadas as principais causas de variabilidade e foi constatado que as principais causas de variações se davam a partir da falta de padronização de método de trabalho e oportunidades envolvendo os instrumentos de medição. Foram propostas algumas ações de melhoria e após a execução das ações o processo mostrou-se mais centrado em seus limites, quando comparado com os resultados anteriores. Foi estimada uma redução de 48% no número de defeitos gerados, o que indica uma menor

variabilidade adquirida nesse processo, e em termos financeiros uma economia de até quarenta e três mil reais por ano para a organização.

O desenvolvimento do modelo proposto para aplicação de tais métodos customizados ao processo produtivo em questão mostrou-se relevante para o estudo da variabilidade, pois trouxe um passo a passo de como combinar ferramentas do CEP e seis sigma para analisar e propor otimizações dentro de um processo considerado crítico por suas peculiaridades. O mesmo foi testado de forma piloto e buscou fortalecer os procedimentos existentes, além de agregar um controle mais assertivo das variações encontradas. Tal proposição pode ser traduzida como um acréscimo científico no sentido de trazer um guia de aplicabilidade dos métodos CEP e seis sigma no contexto de um processo em larga escala, sendo referência para trabalhos similares.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se replicar esse modelo customizado por um período maior de observação e otimizá-lo, com foco em melhoria contínua, refinando as análises com uma menor quantidade de dados, porém trabalhando com subgrupos de amostras, já que no caso estudado foram consideradas amostras individuais, para efeito de comparação ao modelo atual.

Por falta de dados adicionais não foi possível identificar demais parâmetros de processo que podem influenciar no resultado final do produto. Outra sugestão de trabalho, portanto, envolve o estudo de testes de hipóteses para verificar quantitativamente a influência de determinados parâmetros nas análises físico-químicas do produto final.

REFERÊNCIAS

ABIA – **Associação Brasileira da indústria de alimentos**. São Paulo, SP. 2021. Disponível em: <https://www.abia.org.br/numeros-setor>. Acesso em: 22 ago. 2021.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 7870-2**: Aplicação de métodos estatísticos – cartas de controle de Shewhart. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 44 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 22000**: Sistemas de gestão de segurança de alimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 35 p.

ABOELMAGED, M. G. Six Sigma quality: a structured review and implications for future research. **International Journal of Quality & Reliability Management**, United Kingdom, 2019, v. 27, n. 1, p. 268-317, 2019.

AHMED, S. Integration of lean and six sigma methodology to improve quality performance in healthcare organizations. **Understanding Six Sigma**, Nova Science Publishers, cap. 5, 2018.

ALEMMAR – Refratômetros. 2021. Disponível em: <https://www.alem-mar.com.br/refratometro-bancada>. Acesso em 15 mar. 2021.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring Business Excellence**, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC 360/03**. Rotulagem nutricional. Disponível em <http://www.gov.br/anvisa/ptbr/assuntos/regulamentacao/legislacao/bibliotecas-tematicas/arquivos/biblioteca-de-alimentos>. Acesso em: 25 jan. 2021.

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. **Gestão de qualidade, produção e operações**. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 418 p.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2016. 258 p.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade total: teoria e casos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2012. 376 p.

CEDES – Centro de Estudos e Debates Estratégicos. Perdas e desperdício de alimentos – estratégias para redução. **Série de cadernos de trabalhos e debates**. Brasília: 2018. 260 p.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012. 645 p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de Qualidade**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2018. 334 p.

CROSBY, P. B. **Qualidade, falando sério**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

DAYCHOUM, M. **40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2011.

DE OLIVEIRA SILVA, M.; SOARES, A. J.; MAZUTTI, M.; DALLA ROSA, C.; SOARES, M. A. Statistical process control for industrial baking process of smoked CALABRESE-type sausage. **Journal of Food Process Engineering**. Wiley, v. 42, e13295, 2019.

DESAI, A. D.; KOTADIYA, P.; MAKWANA, N.; PATEL, S. Curbing variations in packaging process through Six Sigma way in a large-scale food-processing industry. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 11, p. 119-129, 2015.

DIAZ, J. C. G.; ROJANO, A. P. Monitoring and control of the multiheaded weighing process through a modified control chart. **DYNA** 84(200), p.135-142, 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Hortaliças**. Sistema de Produção, versão eletrônica. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/cultivares.html>. Acesso em: 04 mar. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Disponível em <https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos> . Acesso em: 15 ago. 2021.

FERREIRA, A. I. R.; SOUZA, A. M. M.; SILVA, D.T. **Testes estatísticos para diagnóstico da normalidade de uma distribuição de dados**. Anais do Conic Semesp. Vol. 1, 2013.

FILGUEIRAS, V.; LIMA, E. L.; PINTO, J. C. Long-term statistical stability of industrial plants: performance and monitoring of an industrial pet plant. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 91, p. 1523-1537, 2013.

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

GEORGE, L.M. **Lean Six Sigma**. New York, McGraw Hill; 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

JÚNIOR, A. N., **Introdução ao Lean Seis Sigma: Coleção Melhoria Contínua**. 2 ed. Brasil: Clube de Autores, 2011.

LUCAS, D., SILVA, E. S., DORO, A. Processamento de ketchup. Licenciatura em Engenharia de Alimentos - **Instituto Politécnico de Coimbra**, 2008.

MAHANTI, R.; ANTONY, J. Six Sigma in the Indian software industry: some observations and results from a pilot survey. **The TQM Journal**, v. 21, n. 6, p. 549-564, 2009.

MAHESH S. R. Six Sigma: concepts, tools, and Applications. **Industrial management & data systems**, v. 105, n. 4, p. 491-505. 2005.

MARCONI, M.A; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2017.

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2017. 158 p.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009. 304 p.

MINITAB – Minitab Statistical Software. 2018. Disponível em: <http://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/capability-metrics/z-bench-as-an-estimate-of-sigma-capability/>. Acesso em: 02 mai. 2021.

MINITAB – Minitab Statistical Software. 2019. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/outlier-test/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

MOMM, L. Processo de produção de molho de tomate tradicional. Trabalho de Conclusão de Curso - **Centro de Ciência e Tecnologia**, Universidade Regional de Blumenau, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. 4 ed. New York: John Wiley, 2006, 674 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

OLIVEIRA, C.C. *et al.* **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. 1 ed. São Paulo, 2013.

PALADINI, E. P. **Controle de Qualidade -Uma abordagem abrangente**. São Paulo, Editora Atlas S.A., 1990, 239 p.

PALADINI, E. P.; AVILES, B.G; SCHUMACHER, L.; LORENZ, M.; URQUIZA, Y.R. Quality management model for perishable food in a fishing industry. **Journal of food process engineering**, v. 42, e13171, 2019.

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

PINEL, R.A.M.; MARQUEZ, A.C. Common conceptual statistical mistakes in scientific literature. **CES Med. Vet. Zoot.** v. 12, n. 3, p. 211-229, 2017.

RAYTEC – Raytec Vision. 2021. Disponível em: <https://www.raytecvision.com/en/prodotto2.asp?ID3=1&con=1>. Acesso em: 15 ago. 2021.

RODRIGUES, M. V., **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo qualidade no padrão seis sigma**. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2013.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Modelo de referência para estruturar o seis sigma nas organizações. **Gestão e Produção**, v. 15, n. 1, p. 43-56, 2008.

SIBANDA, N.; RAMANATHAN, U. A holistic approach of quality: a case of UK chocolate manufacturing. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 37, n. 5, p. 711-731, 2020.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: EMBRAPA/ Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.

SOARES, J. C.V. **O empreendedorismo em uma cadeia produtiva de leite: desenvolvimento de uma medida**. 2011. 281 p. Tese (Doutorado em Extensão Rural) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

TAGUCHI, G.; TAGUCHI, S.; CHOWDHURY, S. **Robust Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1999.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 249 p.

VINOD, M.; DEVADASAN, S. R.; SUNIL, D. T.; THILAK, V. M. M. Six Sigma through Poka-Yoke: a navigation through literature arena. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, p. 315-327, 2015.

WEISS, A.E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

APÊNDICE A – QUADRO MATRIZ GUT

Elaboração da Matriz GUT						
Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	GUT	Percentual	Priorização
Variações entre instrumentos	4	2	1	8	2%	9
Temperatura da amostra	1	1	1	1	0%	13
Brix matéria-prima	2	2	1	4	1%	10
Peso sacos ingredientes	2	1	2	4	1%	11
Fornecedores	2	1	1	2	0%	12
Treinamento	4	3	3	36	8%	5
Tomada de decisão	3	3	2	18	4%	8
Temperatura ambiente	1	1	1	1	0%	14
Método de análise	3	3	3	27	6%	7
Procedimentos operacionais	4	4	4	64	15%	3
Limpeza de instrumentos	5	4	5	100	23%	2
Agitação da mistura	3	3	3	27	6%	6
Calibração dos equipamentos	5	4	5	100	23%	1
Falha de dosagem	5	4	2	40	9%	4