

**ANA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

**Aplicação de Gráficos de Desvio do Nominal (DNOM) no Controle de Qualidade  
Assegurada do Malte em Uma Empresa de Bebidas**

**ANA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

**Aplicação de Gráficos de Desvio do Nominal (DNOM) no Controle de Qualidade  
Assegurada do Malte em Uma Empresa de Bebidas**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador (a): Profa. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas

Guaratinguetá - SP  
2024

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R467 | <p>Rezende, Ana Luiza de Souza</p> <p>Aplicação de gráficos de desvio do nominal (DNOM) no controle de qualidade assegurada do malte em uma empresa de bebidas / Ana Luiza de Souza Rezende - Guaratinguetá, 2024.</p> <p>57 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 54-57</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024.</p> <p>Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcela A. Guerreiro Machado de Freitas</p> <p>1. Controle de qualidade. 2. Controle de processo - Métodos estatísticos. 3. Gráficos (Engenharia). I. Título.</p> <p>CDU 658.56</p> |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**ANA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Prof. Dr. Mauricio Cesar Delamaro  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCELA APARECIDA GUERREIRO MACHADO DI**  
Data: 19/01/2024 09:02:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Marcela Aparecida Machado de Freitas  
Orientador/FEG-UNESP



Prof. Msc. Suélio Alves de Moura  
FEG-UNESP

Documento assinado digitalmente  
 **AMANDA DOS SANTOS MENDES**  
Data: 18/01/2024 16:46:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Amanda dos Santos Mendes  
UFF-ICHS

Janeiro de 2024

## **DADOS CURRICULARES**

**ANA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

**NASCIMENTO** 04.04.1994 – Aparecida / SP

**FILIAÇÃO** Carlos Wilson de Oliveira Rezende  
Mary Cristina de Souza Rezende

dedico este trabalho, de modo especial, aos meus pais e ao meu filho Ben, minhas maiores fonte de motivação e inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso minha mais profunda gratidão aos meus pais, Carlos e Mary, pilares da minha vida, cujo amor, apoio e sacrifícios incondicionais foram fundamentais em cada passo da minha jornada. A vocês, dedico cada conquista e cada aprendizado.

Um agradecimento especial à Professora Dra. Marcela Aparecida Machado de Freitas, cuja sabedoria, paciência e orientação foram essenciais para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho. Sua capacidade de inspirar e desafiar meus limites é profundamente valorizada.

Não posso deixar de mencionar minha irmã, Ana Flávia, cujo encorajamento e presença constante me deram força em todas as etapas da minha vida.

À Priscilla, por seu amor, compreensão e apoio incondicional. Sua capacidade de me trazer paz em meio ao caos foi um farol de luz ao longo deste percurso.

E, por último, mas definitivamente não menos importante, agradeço ao meu filho Benjamin. Você é a inspiração mais pura e a motivação para seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

A todos vocês, meu sincero obrigada por tornarem essa jornada possível e por estarem ao meu lado.

“Sem dados você é uma pessoa qualquer com  
uma opinião.”

W. Edwards Deming



## RESUMO

A gestão eficiente da qualidade é um dos desafios críticos das organizações, buscando garantir que os produtos atendam às especificações e expectativas da empresa. No controle de qualidade industrial, os gráficos de controle de Shewhart são comumente utilizados para monitorar a estabilidade dos processos, detectar desvios do comportamento normal e visam o aprimoramento contínuo da qualidade. Esses gráficos de controle fornecem uma representação visual dos dados do processo e ajudam a identificar as causas atribuíveis de variação. No entanto, ao considerar os requisitos e pressupostos fundamentais de sua aplicação prática, os ambientes de manufatura apresentam desafios específicos. Nesse contexto foi desenvolvido o gráfico de controle do desvio do nominal, o gráfico de controle DNOM. Esta pesquisa inicialmente realiza uma revisão da literatura existente sobre Controle Estatístico de Processos e da análise da aplicação dos Gráficos de Controle DNOM. Em seguida, foi explorada a aplicação dos gráficos DNOM na garantia da qualidade do malte em uma multinacional do setor de bebidas, com foco no controle do Precursor do Sulfeto de Dimetila, PDMS. A pesquisa utilizou dados reais dos fornecedores e aplicou gráficos DNOM para analisar a variabilidade no processo de produção do malte. O estudo revelou que a aplicação destes gráficos simplifica significativamente a gestão de qualidade, permitindo uma visão clara das variações e facilitando o monitoramento da conformidade dos maltes com os padrões de qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle Estatístico de Processo. Gráficos de Controle do Desvio do Nominal. Pequenos Lotes. Qualidade do Processo. Diferença do Nominal. Qualidade assegurada.

## **ABSTRACT**

Efficient quality management is a critical challenge for organizations, aiming to ensure that products meet the specifications and expectations set by the company. In industrial quality control, Shewhart control charts are commonly used to monitor process stability, detect deviations from standard behavior, and aim for continuous quality improvement. These control charts provide a visual representation of process data and help identify assignable causes of variation. However, when considering the fundamental requirements and assumptions for their practical application, manufacturing environments present specific challenges. In this context, the Deviation from Nominal control chart, or DNOM control chart, was developed. This research begins with a review of the existing literature on Statistical Process Control and an analysis of the application of DNOM Control Charts. It is explored the effectiveness of DNOM charts in ensuring malt quality at a multinational beverage company, focusing on polydimethylsiloxane (PDMS) control. The research used real supplier data and applied DNOM charts to analyze variability in the malt production process. The study revealed that the application of these charts significantly simplifies quality management, providing a clear view of variations and facilitating the monitoring of malts' compliance with quality standards.

**KEYWORDS:** Statistical Process Control. Deviation from Nominal Control Chart. Small Batches. Process Quality. Deviation from Nominal. Quality Assurance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – “ <i>Statistical Process Control</i> ” na base de dados <i>Web of Science</i> .....        | 15 |
| Figura 2 – “ <i>Difference from nominal</i> ” na base de dados <i>Web of Science</i> .....            | 17 |
| Figura 3 – Estrutura do trabalho .....                                                                | 20 |
| Figura 4 – Ilustração de um processo sob controle estatístico .....                                   | 23 |
| Figura 5 – Ilustração de um processo sob efeito de causa atribuível .....                             | 24 |
| Figura 6 – Diferenças entre a variação de causas comuns e causas especiais.....                       | 25 |
| Figura 7 – Distribuição $\sigma$ no gráfico de controle .....                                         | 27 |
| Figura 8 – Tipos de desvios de causas especiais nos gráficos de controle .....                        | 27 |
| Figura 9 – Diagrama para a decisão do tipo de gráfico de controle para controle e monitoramento ..... | 28 |
| Figura 10 – Medições da mesma característica de processo de três produtos diferentes .....            | 34 |
| Figura 11 – Gráfico $\bar{X}$ -S do desvio do nominal .....                                           | 35 |
| Figura 12 – Testes para as variâncias das características A, B e C .....                              | 36 |
| Figura 13 – Teste de Normalidade Anderson-Darling para o fornecedor I.....                            | 41 |
| Figura 14 – Teste de Normalidade Anderson-Darling para o fornecedor II.....                           | 42 |
| Figura 15 – Teste de variância entre os dois tipos de malte do fornecedor I.....                      | 43 |
| Figura 16 – Teste de variância entre os dois tipos de malte do fornecedor II.....                     | 43 |
| Figura 17 – Gráfico de controle DNOM para o fornecedor I.....                                         | 44 |
| Figura 18– Gráfico de controle DNOM para o fornecedor II.....                                         | 45 |
| Figura 19– Gráfico de controle DNOM para o P.D.M.S. para o fornecedor I estável.....                  | 46 |
| Figura 20– Gráfico de controle DNOM para o P.D.M.S. para o fornecedor II estável.....                 | 46 |
| Figura 21– Resumo estatístico e Cpk para o fornecedor I.....                                          | 48 |
| Figura 22– Resumo estatístico e Cpk para o fornecedor II.....                                         | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Limites de especificação da característica “P.D.M.S.” .....          | 37 |
| Tabela 2 – Observações de P.D.M.S. nos tipos de malte para o fornecedor I.....  | 38 |
| Tabela 3 – Observações de P.D.M.S. nos tipos de malte para o fornecedor II..... | 39 |
| Tabela 4 – Cálculos para construção do gráfico DNOM para o fornecedor I .....   | 40 |
| Tabela 5 – Cálculos para construção do gráfico DNOM para o fornecedor II .....  | 40 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|          |                                          |
|----------|------------------------------------------|
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AD       | Anderson-Darling                         |
| AIAG     | Automotive Industry Action Group         |
| CEP      | Controle Estatístico de Processos        |
| CNI      | Confederação Nacional da Indústria       |
| COPQ     | Cost of Poor Quality                     |
| LC       | Linha Central                            |
| LIC      | Limite Inferior de Controle              |
| LSC      | Limite Superior de Controle              |
| LIE      | Limite Inferior de Especificação         |
| LSE      | Limite Superior de Especificação         |
| DNOM     | Desvio do Nominal                        |
| P.D.M.S. | Precursor de Sulfeto de Dimetila         |

## SUMÁRIO

|               |                                                                            |           |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                    | <b>13</b> |
| 1.1           | CONTEXTO.....                                                              | 13        |
| 1.2.          | JUSTIFICATIVA .....                                                        | 15        |
| 1.3           | OBJETIVO GERAL.....                                                        | 18        |
| 1.4.          | MÉTODOS DE PESQUISA .....                                                  | 18        |
| 1.5.          | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                                | 19        |
| <b>2.</b>     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                          | <b>21</b> |
| 2.1.          | CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....                                     | 21        |
| <b>2.1.2.</b> | <b>Variabilidade: causas comuns e causas especiais .....</b>               | <b>22</b> |
| 2.2.          | GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA VARIÁVEIS .....                      | 25        |
| <b>2.2.1.</b> | <b>Elementos do gráfico de controle .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>2.2.2.</b> | <b>Escolha do gráfico de controle.....</b>                                 | <b>28</b> |
| <b>2.2.3</b>  | <b>Gráfico de Controle X e R .....</b>                                     | <b>29</b> |
| 2.3.          | CAPACIDADE DO PROCESSO .....                                               | 31        |
| 2.4.          | GRÁFICOS DE CONTROLE DNOM NO CONTEXTO DE PEQUENOS LOTES<br>PRODUTIVOS..... | 32        |
| <b>2.4.2.</b> | <b>Gráficos de controle do desvio do nominal .....</b>                     | <b>33</b> |
| <b>3.</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                        | <b>37</b> |
| 3.2.          | ANÁLISE DAS OBSERVAÇÕES .....                                              | 38        |
| <b>3.2.1.</b> | <b>Teste de normalidade .....</b>                                          | <b>41</b> |
| <b>3.2.2.</b> | <b>Teste das variâncias.....</b>                                           | <b>43</b> |
| <b>3.2.2</b>  | <b>Gráficos de controle DNOM.....</b>                                      | <b>45</b> |
| <b>3.2.3.</b> | <b>Cálculo do Cpk .....</b>                                                | <b>49</b> |
| <b>4.</b>     | <b>CONCLUSÕES E SUGESTÃO DE PESQUISA FUTURA.....</b>                       | <b>52</b> |
|               | <b>REFERÊNCIA BIBLOGRÁFICA .....</b>                                       | <b>54</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTO

A melhoria da produtividade dos fatores de produção é uma questão fundamental que deve ser colocada no centro do debate econômico no Brasil. De acordo com um levantamento realizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2020; pág. 1), a participação do Brasil na produção industrial mundial tem apresentado uma queda contínua desde 2009. A experiência de compra demanda cada vez mais produtos de maior qualidade, e a qualidade de um produto ou serviço está diretamente ligada à estabilidade do processo, à capacidade de atender às especificações do projeto e às expectativas do consumidor. Sendo assim, o custo da má qualidade (COPQ, *Cost of Poor Quality*) é composto pelo montante total de dinheiro que é desperdiçado ou perdido devido a defeitos, erros, retrabalho, sucata, reclamações de garantia, queixas de clientes e outros problemas de qualidade que surgem devido ao desempenho insatisfatório de um produto. Para evitar elevados indicadores de COPQ e aumentar a lucratividade, as empresas devem encontrar novas maneiras de tornar o processo de monitoramento da produção da cadeia de suprimentos mais eficiente. Dessa maneira, a gestão da qualidade dos fornecedores se tornou um dos desafios comerciais mais críticos da atualidade, cabendo às organizações garantir que seus fornecedores entreguem produtos e serviços de alta qualidade, que atendam às especificações e expectativas da empresa.

Os métodos estatísticos começaram a ser usados para monitoramento e análise de processos na segunda década do século 20 nos Estados Unidos, com o desenvolvimento dos primeiros gráficos de controle pelo engenheiro e estatístico Dr. Walter A. Shewhart (SHEWHART, 1931). O gráfico de controle é um método que analisa a variação de um processo para verificar se ela se encontra dentro do padrão médio previsto ou se possui algum desvio que necessita de estudos mais aprofundados (BARROS; BONAFINI, 2014). Contudo, segundo Ramos (2000), o Controle Estatístico de Processo (CEP) só ganhou reconhecimento mundial como a ferramenta poderosa para monitorar e melhorar processos produtivos com a ascensão do Japão como referência de processos capazes de atender às demandas do consumidor por meio de desempenho estatisticamente estável.

Segundo Montgomery (2004), apenas recentemente que as organizações passaram a concentrar esforços diretos para avaliação formal do custo associado à qualidade, que envolvem a aplicação de uma ferramenta de apoio à gestão para identificar oportunidades de redução dos custos da qualidade por meio da comparação e análise das diferenças entre os custos reais e orçados. Dessa maneira, para evitar elevados indicadores de COPQ e aumentar a lucratividade,

as empresas devem encontrar novas maneiras de tornar o processo de qualidade assegurada e monitoramento da produção mais eficiente. Os avanços tecnológicos viabilizaram um maior volume de coleta e análise de dados nos sistemas de produção para implementação de ferramentas padronizadas, flexíveis e responsivas para medir e avaliar todas as áreas de negócio. Isso permite que as organizações tenham acesso a informações mais precisas sobre processos, produtos e indicadores-chave de qualidade, com a finalidade de tomada de decisões assertivas para a prevenção de riscos e a realização de intervenções a fim de garantir a qualidade e produtividade.

À medida que o ambiente de produção industrial continua a evoluir rapidamente, os processos produtivos se tornam cada vez mais complexos, aumenta-se os desafios de manter e melhorar a qualidade. Neste cenário, a aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) permite navegar em uma diversidade de processos, identificando e atenuando falhas de forma proativa e estratégica.

Dentre as ferramentas do CEP, os gráficos de controle são convencionalmente mais associados à sua estrutura e é um dos métodos que possibilitam o monitoramento e controle do comportamento do processo. Por via de regra, os dados dos principais indicadores definidos de qualidade de um produto ou processo são registrados durante a produção em intervalos de tempo determinados, geralmente distribuídos em amostras que representem o processo com confiabilidade. Esses dados são plotados em um gráfico que basicamente possui 3 linhas: a linha central da média do processo ou do valor alvo e outras duas linhas, com os limites de controle superior e inferior, que são calculados previamente. A variação das amostras dentro dos limites de controle representa a variabilidade permitida do processo, intrínseca a qualquer processo produtivo e são denominadas de causas comuns. As causas comuns, ou aleatórias, são pequenas e frequentes, sendo parte integrante do processo produtivo e, consequentemente, mais desafiadoras de serem identificadas e mitigadas (VASCONCELOS, 2009).

Por outro lado, as causas especiais são únicas e geralmente resultam em desvios temporários mais significativos, sendo mais fáceis de identificar e corrigir. A variabilidade proveniente de causas especiais pode surgir de diversas “causas transferíveis” não aleatórias, como ajustagem inadequada de equipamento ou despreparo do operador (WALPOLE *et al.*, 2008). Segundo Meira (2021), a identificação rápida e precisa dessas causas especiais é crucial para manter a estabilidade e a capacidade dos processos produtivos, assegurando que os produtos finais atendam aos padrões de qualidade estabelecidos. Na ocorrência de causas especiais, estas devem ser eliminadas e os limites de controle recalculados (RIBEIRO; CATEN, 2012). Quando o processo está sob controle estatístico, a chance de um ponto sair dos limites



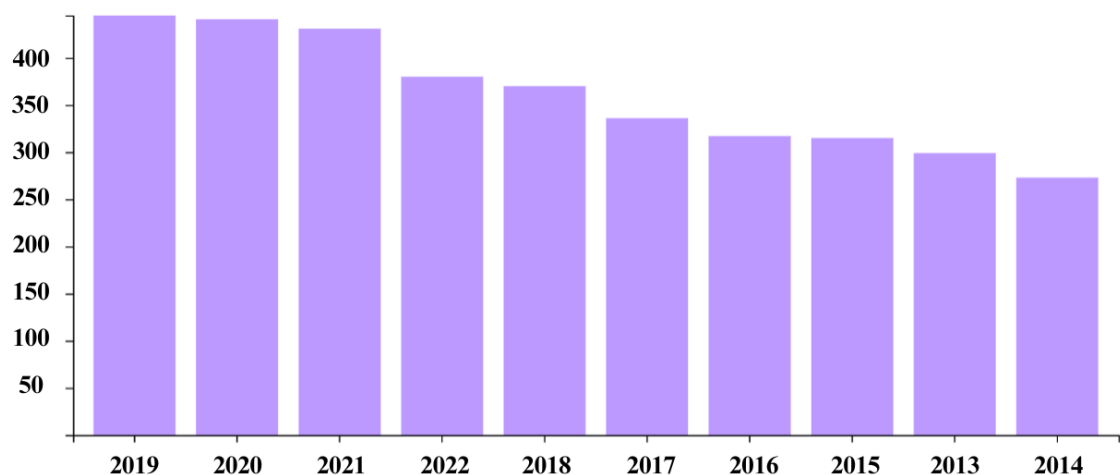
de controle é reduzida, ou seja, é possível prever o comportamento deste processo no futuro a partir da análise de dados históricos. De acordo com Gouveia (2018), o ponto crítico na definição de que um processo está sob controle não é decretado a partir da ausência total de variação não aleatória. O controle é meramente um estado no qual toda variação do processo pode ser prevista.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o CEP pode ser aplicado também como uma metodologia da gestão da qualidade, abrangendo diversas técnicas e competências derivadas de conhecimentos da estatística. As questões gerenciais das decisões no chão de fábrica devem ser associadas à experiência dos responsáveis pela área que tenham conhecimento sobre a ferramenta e, frequentemente, é necessário saber definir se um processo está ou não sob efeito de uma causa especial e se um resultado pode ser considerado estatisticamente significativo ou não tem nenhuma significância prática (MONTGOMERY E RUNGER, 2003).

Por meio de uma busca na base *Web of Science* utilizando as *strings* “*statistical process control*”, foram encontrados 4,835 artigos no tema, sendo que 53,4% foram publicadas na última década analisada (2013-2023), apresentando o interesse e a relevância crescente do tema.

Figura 1 – “*Statistical Process Control*” na base de dados *Web of Science*



Fonte: *Web of Science*

Ademais, apesar do elevado número de modelos de cartas de controle desenvolvidos, a maioria das indústrias restringe a aplicação das cartas de controle convencionais univariadas,

utilizando-se apenas dos gráficos de controles estatístico de processos mais conhecidos, o tradicional gráfico de Shewhart.

A tendência recente na indústria de manufatura é a produção em lotes menores, também chamados de sequências curtas de produção, impulsionada por metodologias como *just-in-time* (JIT) e na redução de custos indesejados de estoque. Esse cenário, apresenta desafios devido ao fato que os processos mudam constantemente e as produções são breves, ocasionando dificuldades em estabelecer um histórico confiável de dados para definir parâmetros e limites de controle (KHOO; QUAH; LOW; CH'NG, 2005).

Uma abordagem de aplicação do CEP na indústria é monitorando e avaliando as características de qualidade no recebimento de pequenos lotes produtivos. Nesse contexto, o uso dessa ferramenta pode revelar dados cruciais sobre o comportamento e a *performance* desse tipo processo, proporcionando aos gestores industriais informações vitais para prevenir inconvenientes que afetam diretamente a qualidade da produção na manufatura. Um protocolo de avaliação baseado no Controle Estatístico de Processos possibilita uma abordagem dinâmica na qualidade assegurada e gestão de fornecedores, por meio da interpretação de gráficos de controle. A análise estatística dos dados ressalta a importância de agir com urgência quando problemas começam a surgir e afetar o desempenho da qualidade da produção da empresa, devendo incitar uma solução de problemas proativa entre comprador e fornecedor.

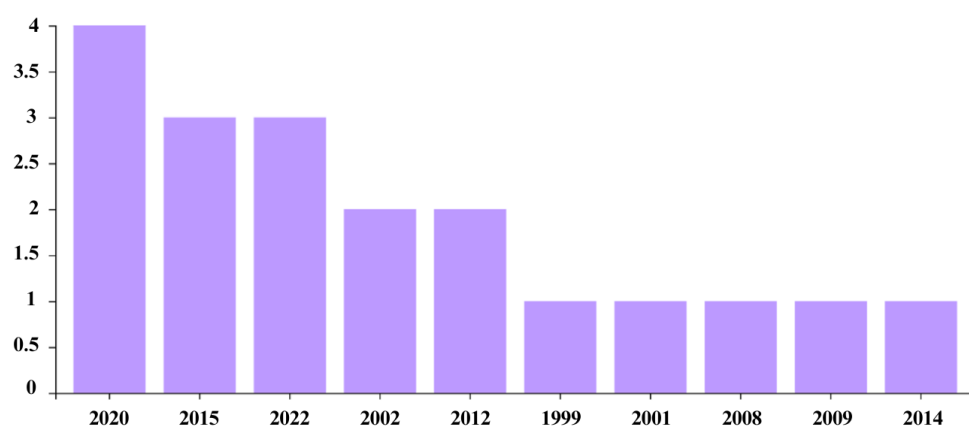
No entanto, é importante destacar que o uso dos gráficos de controle de Shewhart, embora eficiente em sistemas de produção de larga escala, pode não ser a melhor opção em ambientes de produção enxutos. De acordo com Meira (2021), os gráficos de controle nos métodos paramétricos são construídos com base em pressupostos fundamentais de normalidade, independência e homocedasticidade. Isso implica que as amostras coletadas no processo produtivo devem ser independentes e seguir uma distribuição normal. Para Ahmed e Nawres (2018), o principal desafio enfrentado no controle estatístico de processos para o modelo de produção baseado em pequenos lotes é a obtenção de um volume suficiente de dados para atender aos critérios ideais dos parâmetros de controle da operação. Essa limitação pode afetar o desempenho e a eficiência dos gráficos de controle. Montgomery (2014) destaca que para os gráficos de Shewhart, é relevante a quantidade de subgrupos utilizados para o cálculo dos limites de controle tentativos, por afetarem diretamente a taxa de Erro do tipo I, de alarmes falsos, do gráfico.

Ainda que tenha sido desenvolvido diversas técnicas, a estratégia para implementar gráficos de controle em pequenos lotes de produção que parece ser mais aplicada na prática consiste na aplicação dos gráficos de controle do desvio do nominal (DNOM) – também

encontrados como gráfico do desvio da dimensão nominal, gráfico da diferença do nominal ou *Q-Charts* - em características comuns entre produtos distintos (MONTGOMERY, 2014). O gráfico se relaciona a uma característica geral de interesse (por exemplo, peso), e não especificamente com o peso de um produto específico. Essa abordagem permite que um único gráfico monitore a característica da qualidade de interesse do processo, mesmo que os valores nominais e especificações de engenharia sejam diferentes ou que análise seja de produtos diferentes com a mesma característica. Em resumo, o valor plotado no gráfico não é da medição absoluta e consiste na diferença entre o valor medido e o valor alvo (ou nominal) da característica analisada. Se devidamente implementado e utilizado nas condições corretas, o gráfico de desvio do nominal pode se tornar um método eficaz para supervisionar e gerenciar lotes de produção menores (MEIRA, 2021). As chaves para essas adaptações são duas necessidades principais: primeiro, o reconhecimento de que limites razoáveis podem ser obtidos de pequenas quantidades de dados, e segundo, o entendimento de como usar gráficos de controle para descobrir novos conhecimentos, em vez de apenas confirmar o que já é conhecido (WHEELER, 1991).

Ao refinar a pesquisa de “*control chart*” adicionando os termos “*difference from nominal*”, pode ser visualizado na Figura 2 que houve um retorno consideravelmente menor, no entanto, com um número crescente de artigos nos anos mais recentes, indicando a relevância do assunto e a necessidade de mais estudos sobre a aplicação da ferramenta na prática.

Figura 2 – “*Difference from nominal*” na base de dados *Web of Science*



Fonte: *Web of Science*

Este trabalho consiste em explorar a aplicação dos Gráficos de Controle DNOM (Desvio do Nominal) no monitoramento e controle da variabilidade em lotes de produção dos fornecedores de malte de uma indústria de cervejas e estudar os aspectos relevantes para seu desempenho. O estudo tem como objetivo contribuir para a melhoria contínua da qualidade do processo de fabricação, fornecendo aos gestores o reconhecimento das oportunidades de melhoria, tomada de decisões e possíveis deficiências em seus projetos de avaliação e monitoramento de qualidade de fornecedores através da aplicação de gráficos de controle padronizados para análise de suas características e processos, oferecendo um retorno visual claro e facilmente compreensível sobre o desempenho.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste estudo é explorar a aplicação dos Gráficos de Controle DNOM no monitoramento e controle da variabilidade em lotes de produção de malte para o setor de bebidas. Isso contribui para a melhoria contínua da qualidade do processo e avaliação da capacidade dos fornecedores.

Para tal finalidade, os seguintes objetivos específicos são:

- Revisar a literatura existente sobre controle estatístico de processos, destacando os conceitos e métodos relacionados aos Gráficos de Controle DNOM;
- Analisar a aplicação dos Gráficos de Controle DNOM em lotes de produção reais, coletando dados relevantes e verificando a sua eficácia no suporte de informações relevantes por meio dos gráficos de controle com desvios do valor nominal;
- Explorar a aplicabilidade de Gráficos de Controle DNOM para o monitoramento eficiente da qualidade de produtos de fornecedores de insumos aplicados em sistemas produção, para melhoria da qualidade do produto final.

### 1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

O método de pesquisa selecionado foi um estudo de caso com a finalidade de explorar a aplicabilidade do CEP para análise e monitoramento de lotes produtivos de fornecedores utilizando o gráfico de controle DNOM, em uma indústria multinacional renomada na produção de bebida, tendo a cerveja como principal produto.

Este trabalho propõe identificar a eficácia do CEP por meio da aplicação do gráfico de controle para monitoramento de características da Qualidade na avaliação de lotes de fornecedores de malte em uma indústria de bebidas, em uma situação real. A pesquisa será

realizada com a colaboração de gestores e responsáveis por especialistas de qualidade assegurada da empresa, com o fornecimento de dados e especificações aplicados.

O estudo de caso foi realizado na empresa que a autora possui vínculo trabalhista, que é a única representante no Brasil do software DataLyzer Spectrum para Controle Estatístico de Processos especializado no contexto de chão de fábrica. A empresa também atua em serviços de TI e em todo o processo de implantação e treinamento inicial de gestores e operadores na capacitação para aplicar o software e o CEP, possuindo experiências em diversos processos produtivos de clientes de indústrias de variados setores, como o de alimentos, bebidas, automotivo, embalagens, entre outros. Isso permite a autora acesso aos principais responsáveis e envolvidos na qualidade da indústria selecionada para a pesquisa.

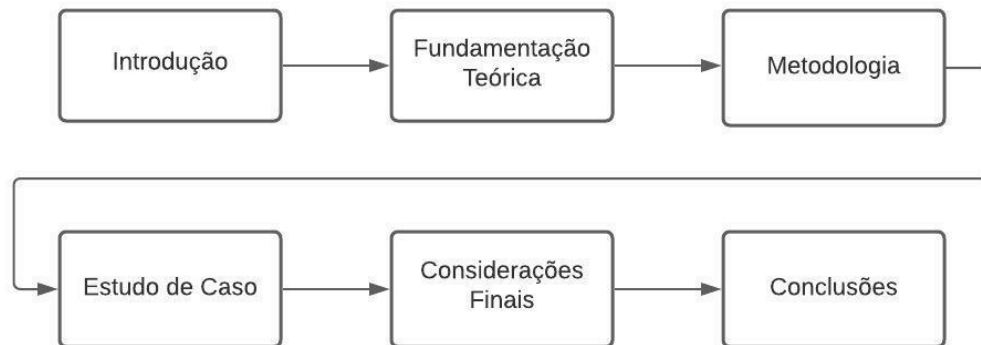
A abordagem do estudo proposto é quantitativa e de natureza aplicada, pois os resultados serão interpretados com validação estatística e, posteriormente, serão discutidas as informações levantadas. A metodologia adotada para este estudo é exploratória e quantitativa, utilizando técnicas bem estabelecidas de gráficos para Controle Estatístico de Processos. Inclui a análise estatística e validação de dados (abrangendo medidas de normalidade, variância, média, amplitude e capacidade) e análise descritiva (como análise de tendências). Posteriormente, são discutidas as informações levantadas. Os gráficos de controle e análises descritivas foram realizados com o Minitab 18 e DataLyzer Spectrum, enquanto outras análises foram feitas no Excel.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente, será realizada a fundamentação bibliográfica deste trabalho, sendo acessadas as principais plataformas de pesquisa como o Portal de Periódicos da Capes, *Web of Science*, Scopus e Scielo para revisar a literatura sobre os principais conceitos do Controle Estatístico de Processo, especificamente para aplicações em pequenos lotes e de gráficos de controle para desvio do valor nominal. A primeira seção contém informações gerais, contextualização sobre o assunto estudado e sua relevância, justificativas do trabalho, assim como o objetivo geral e objetivos específicos da monografia. Na segunda seção, é realizada uma revisão da literatura sobre controle de qualidade, com enfoque no Controle Estatístico de Processo, descrevendo sua história, seus principais conceitos e características de implementação. Na terceira seção, são apresentadas as metodologias selecionadas para dar suporte aos resultados do estudo de caso. Posteriormente, será realizada validação da permissão da empresa na disponibilização de seus colaboradores e utilização dos dados; reuniões e

entrevistas por e-mail com engenharia e/ou gestão da indústria em questão para obtenção dos dados relevantes das características da qualidade para realização do estudo; estudo dos dados obtidos via softwares DataLyzer Spectrum e Minitab 18; e por último, análise e discussão dos resultados. A estrutura do trabalho está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura do trabalho



Fonte: Elaborado pela Autora (2023)

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Durante a Segunda Guerra Mundial, o exército dos Estados Unidos iniciou o desenvolvimento de técnicas de inspeção por amostragem para o controle de qualidade de munições, armas e outros insumos. Essa iniciativa surgiu devido à ineficiência e inviabilidade da inspeção completa em todo o processo produtivo. Assim, foram estabelecidos planos de inspeção tanto por atributos quanto por variáveis como critérios para fornecedores (GOUVEIA, 2018). Ao avaliar o desempenho de um processo em qualidade e produtividade, é essencial considerar seu design e operação (RAMOS, 2000). Produzir unidades idênticas de produtos é custoso e desafiador para as organizações, principalmente por conta da variabilidade inerente aos processos. Segundo Montgomery (1985), qualquer produto é formado por elementos distintos, frequentemente referidos como características de qualidade ou indicadores de desempenho, que satisfazem as expectativas dos clientes, sejam eles internos ou externos. Tais características podem ser físicas, sensoriais ou temporais. Para compreender adequadamente o desempenho de um processo produtivo, é fundamental analisar suas variabilidades. O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma metodologia estatística fundamental, utilizada na manufatura para assegurar a qualidade, alinhando as características dos produtos às especificações desejadas e minimizando variabilidades.

De acordo com Ramos (2000), os gráficos de controle do CEP possuem como principais finalidades: a) verificação da estabilidade estatística relacionada a presença de causas especiais de variação; b) verificação contínua da estabilidade do processo, com a presença de indicadores que evidenciem quando e se é necessária a tomada de alguma ação ou intervenção e c) viabilizar a melhoria contínua do processo, por meio da redução sistemática da variabilidade.

Geralmente os gráficos de controle podem ser divididos em dois tipos: gráficos de controle para variáveis e para atributos. As características que podem ser representadas numericamente, são chamadas de variáveis. As variáveis usualmente possuem dados mensuráveis contínuos, como o peso, dimensões, temperatura, volume, etc. As características que podem ser comparadas às suas especificações para serem classificadas como conforme ou não-conforme são chamadas de atributos, avaliando a adequação de um produto individual (MEIRA, 2021). Nos gráficos por variáveis, o controle oferece mais informações (como sobre a tendência central, variabilidade e capacidade do processo) do que as de atributos, auxiliando na identificação das causas especiais no processo. No entanto, alguns contextos de controle de qualidade industrial exigem que a característica da qualidade apenas indique a conformidade,

com ausência de medições contínuas para avaliação do desempenho do produto (WALPOLE *et al.*, 2008). A pintura de uma peça automotiva pode ter imperfeições, como áreas arranhadas, por exemplo. Um dispositivo adaptador de tomada residencial precisa ser testado para verificar se conduz, ou não, energia elétrica. Em situações desse tipo, podem ser aplicadas amostragem por atributos.

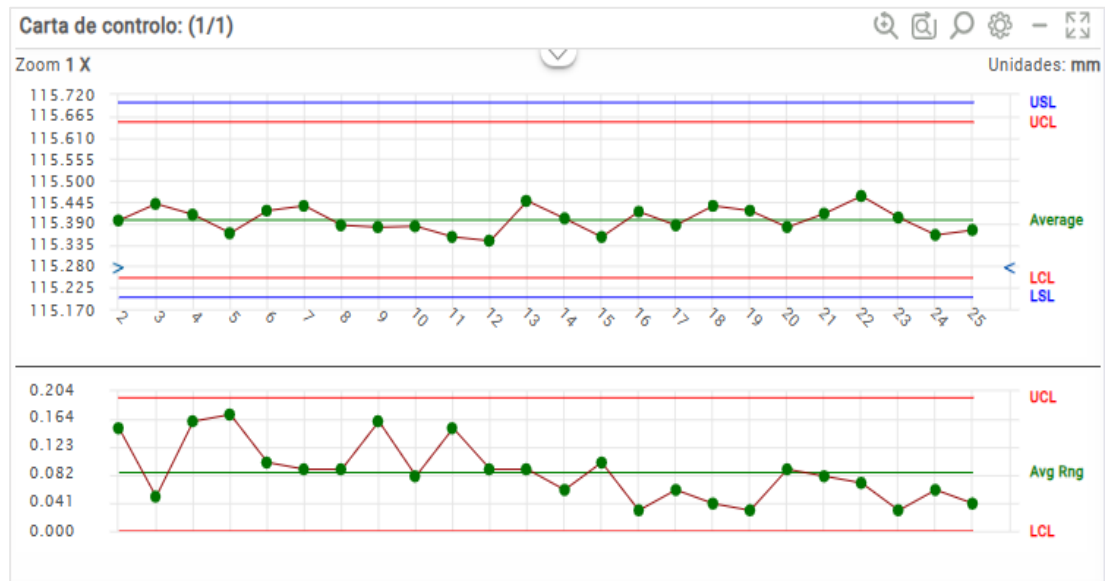
### **2.1.2 Variabilidade: causas comuns e causas especiais**

Independentemente da precisão de um projeto e sua execução, a variabilidade é uma característica constante em todos os processos produtivos e impossível de ser contornada. Duas unidades de produtos, mesmo produzidas exatamente no mesmo contexto e influenciados pelos mesmos fatores, nunca serão completamente iguais. Essa variação pode ser tão acentuada a ponto de produzir defeitos óbvios ou tão sutil a ponto de passar despercebida. Além disso, diferentes fatores de variabilidade podem influenciar o processo de formas variadas. Para aprimorar a gestão do processo e diminuir a variabilidade, torna-se vital reconhecer as fontes dessa variabilidade (RIBEIRO, CATEN, 2012). O passo primordial é fazer a distinção entre causas comuns e as causas especiais. Pode ser descrita como “causas comuns” ou “causas aleatórias” toda variabilidade constante do processo, que é o resultado de inúmeras pequenas influências que, por mais que sejam minimizadas, são inevitáveis. Essas causas atuam de forma contínua e previsível, delineando o que se refere como a variabilidade inerente ou natural de um processo. Quando um processo opera predominantemente sob o efeito dessas causas aleatórias, ele é considerado em controle estatístico. Isso significa que, apesar de cada medição individual poder apresentar diferenças, o conjunto dessas medições segue um padrão previsível, geralmente descrito por uma distribuição probabilística (MONTGOMERY, 2005).

Para ilustrar, considera-se um produto de um anel automotivo, no qual se dimensiona para monitoramento e controle a característica da qualidade do diâmetro externo. A Figura 4 mostra os gráficos de controle para média ( $\bar{X}$ ) e amplitude (R). Espera-se que a média das amostras coletas sejam aproximadamente de 115,275mm, sem grande variabilidade entre os limites de controle inferior de 115,250mm e superior de 115,650mm.



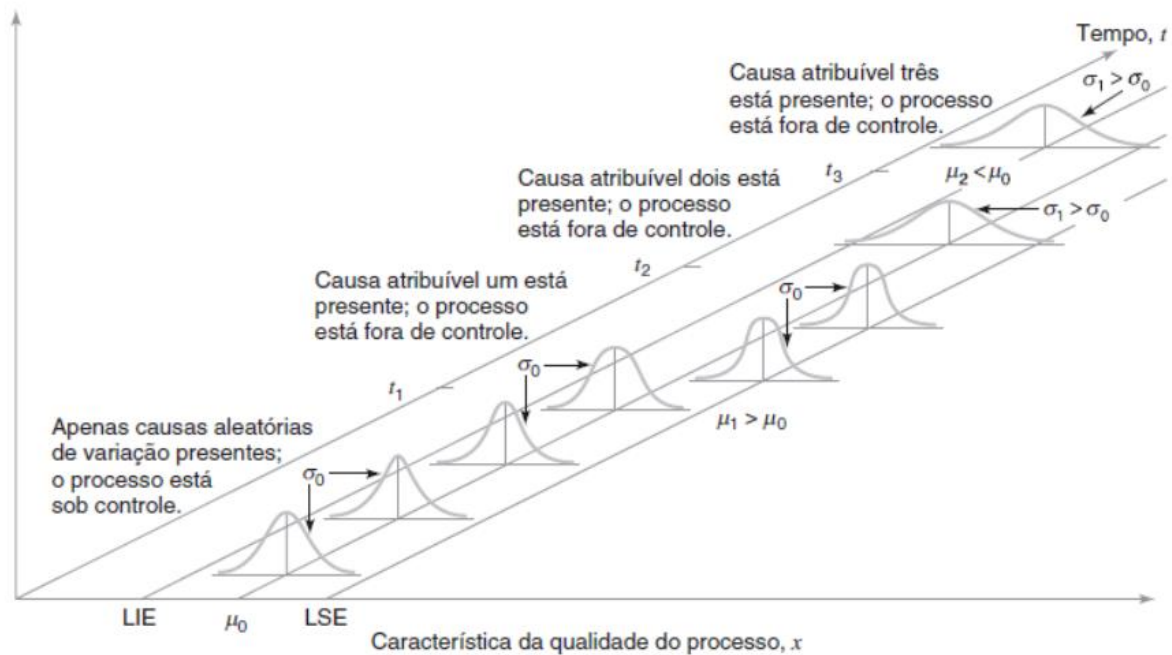
Figura 4 – Ilustração de um processo sob controle estatístico



Fonte: Elaborado pela Autora (2023)

Já as causas atribuíveis, frequentemente chamadas de causas especiais ou esporádicas, surgem de fontes específicas, como falhas de equipamentos, erros de operadores ou problemas na matéria-prima, são perturbações maiores e inesperadas no processo, e ocasionam em pontos fora dos limites de controle. Estas causas introduzem uma variação maior, imprevisível e frequentemente indesejável nos resultados do processo (RIBEIRO, CATEN, 2012). Diferentemente das causas aleatórias que moldam o comportamento padrão de um processo, as causas especiais desestabilizam e comprometem o desempenho dele. A identificação e correção dessas causas é fundamental, pois representam desvios significativos que impactam negativamente a qualidade e eficiência do processo. Segundo Gouveia (2018), as ferramentas estatísticas do CEP são utilizadas para detectar e abordar essas variações, garantindo que os processos mantenham um padrão de qualidade consistente.

Figura 5 – Diferenças entre a variação de causas comuns e causas especiais

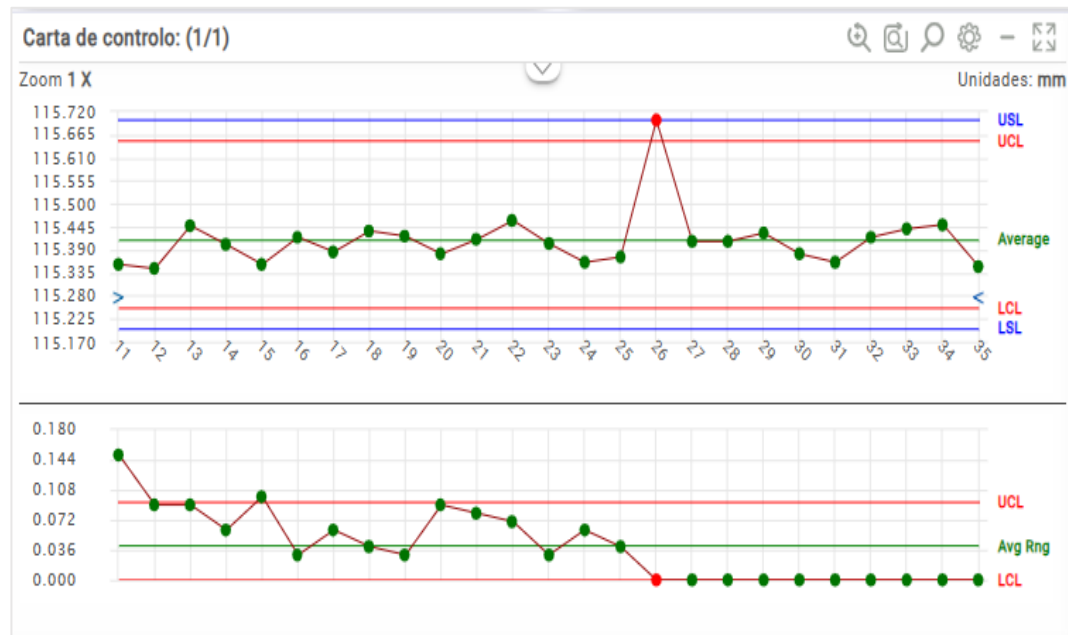


Fonte: Montgomery (2005, p. 130).

Montgomery (2005) explica, que a Figura 5 descreve as diferenças do comportamento entre as causas de variabilidade comuns e especiais. Até o primeiro momento  $t_1$ , estão exibidas apenas causas comuns de variação, ou seja, o processo se encontra sob controle estatístico. Consequentemente, verifica-se que tanto a média quanto o desvio-padrão do processo possuem valores sob controle (digamos,  $\mu_0$  e  $\sigma_0$ ). Já no instante  $t_1$ , se apresenta uma causa especial e o resultado dessa causa especial, ou atribuível, é o deslocamento da média do processo para um novo valor  $\mu_1 > \mu_0$ . No instante  $t_2$ , se exibe outra causa especial, resultando em  $\mu = \mu_0$ , no entanto o desvio-padrão do processo se deslocou para um valor superior  $\sigma_1 > \sigma_0$ . No instante  $t_3$ , se apresenta outra causa especial, que decorre em valores fora de controle tanto para a média quanto para o desvio-padrão. As causas especiais derivaram em um processo fora de controle a partir do instante  $t_1$ .

Na Figura 6, ilustra-se o mesmo processo e característica da qualidade da Figura 4, no entanto, no contexto de ocorrência de uma causa especial, por possuir uma amostra que está acima do limite de controle superior (LCS), a amostra 26, com o ponto destacado em vermelho em ambos os gráficos, média ( $\bar{X}$ ) e amplitude (R).

Figura 6 – Ilustração de um processo sob efeito de causa atribuível



Fonte: Elaborado pela Autora (2023)

## 2.2 GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA VARIÁVEIS

### 2.2.1 Elementos do gráfico de controle

A aplicação dos gráficos de controle de variáveis são fundamentais nos empenhos para melhoria contínua por serem uma ferramenta de controle mais poderosa que o gráfico de atributos, pelo motivo de que as medições fornecem muito mais informações e a análise do desempenho do processo pode ser feita independentemente de todas as unidades dos produtos estarem dentro da especificação, ou não, permitindo que a lacuna de tempo entre a implementação de uma ação corretiva e a continuidade da produção de peças possa ser diminuído (RIBEIRO, CATEN, 2012).

Os gráficos de controle registram dados de um ponto específico do processo, apresentados em um sistema de coordenadas cartesianas. No eixo y, vertical, temos as medições de uma característica específica do produto, enquanto no eixo x, horizontal, são representados os subgrupos (GOUVEIA, 2018). As amostras consistem nos pequenos subgrupos de dados registrados a cada instante do processo, no qual seu tamanho depende do tipo de gráfico de controle utilizado e da sensibilidade de detecção das pequenas variações do processo desejada. Para a construção de gráficos de controle não existe nenhuma regra fixa na definição do

tamanho e número de subgrupos (SIQUEIRA, 1997). Para Ribeiro *et al.* (2012), pode-se aplicar o critério de custos para as definições de tamanho e número de subgrupos apenas se forem conhecidos a estabilidade do processo, os custos de amostragem, o custo de investigação e correção das causas especiais e, o custo de fabricação de peças foram de especificação.

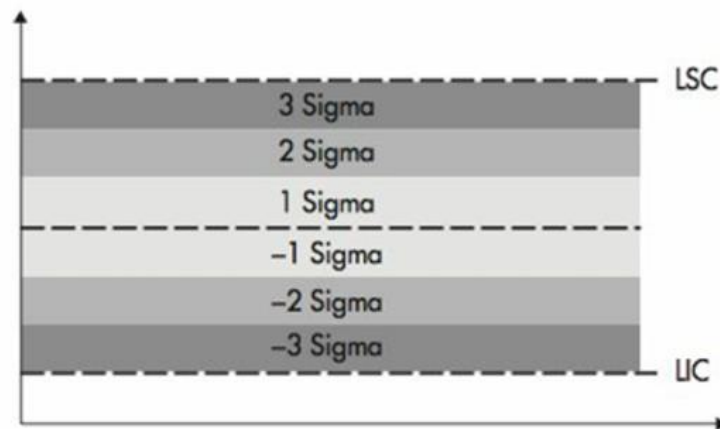
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também apresenta uma opção apropriada de orientações em algumas de suas normas técnicas. Por meio de uma sequência de etapas, o documento fornece um conjunto de análises de diversos fatores para o estabelecimento do tamanho da amostra. Uma das etapas ocorre por meio do emprego de uma tabela, se associa o tamanho do lote ao nível de inspeção (geral ou especial) e ao regime de inspeção (normal, severa ou atenuado) a serem aplicados. A recomendação do tamanho da amostra para cada análise é gerada por um código, que é aplicado em outras tabelas (PEZZATO, 2018).

De acordo com Walpole *et al.* (2018), os gráficos de controle fundamentalmente possuem o mesmo princípio estrutural que o teste de hipóteses, da estatística. Com a finalidade de controlar a probabilidade da ocorrência de algum tipo de erro na conclusão de que um processo está fora de controle quando, de fato, ele não está, são estipulados limites de controle. Se for adotado o teste de hipótese nula de que o processo está estável, esse erro corresponde ao erro tipo I. O segundo tipo de erro seria concluir que o processo está sob controle quando, na realidade, ele está sob a interferência de uma causa especial, ou seja, está fora de controle. De modo geral, a construção de gráficos de controle depende da suposição da distribuição de probabilidade normal, e quase toda análise de desempenho demonstrada na literatura supõe que o modelo de dados do processo possui observações extraídas de uma distribuição normal (MONTGOMERY, 2014).

A partir do conhecimento das propriedades estatísticas das amostras é que se estima os limites de controle, que usualmente são múltiplos do desvio-padrão. A probabilidade de amostras, dentro dos limites de controle de um processo sob controle estatístico e normalmente distribuído, ocorre em função da quantidade de desvios-padrão (MACHADO, 2012).

Normalmente se aplica o modelo de  $\pm 3$  desvios-padrão. Com essa faixa de variação, associado a uma distribuição normal, verifica-se que 99,7% dos pontos do processo estarão dentro dos limites se o processo estiver sob controle (PALADINI, 2019).

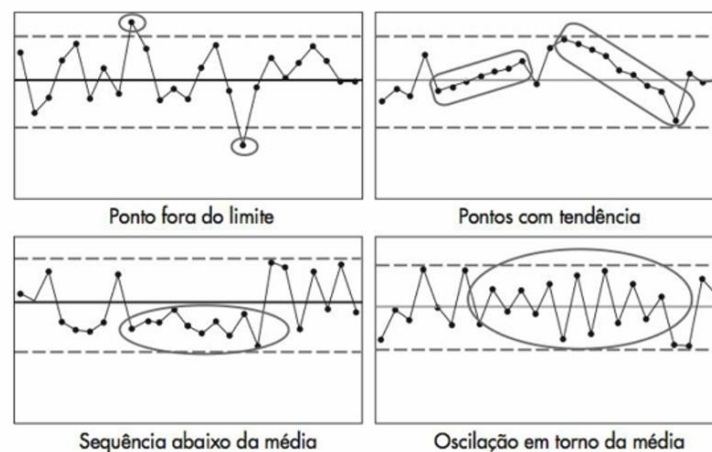
Figura 7 – Distribuição  $\sigma$  no gráfico de controle



Fonte: Machado, 2012, p. 118

Costa (2005) complementa que, segundo Shewhart, se o processo estiver sob controle, o ideal é a utilização de três desvios-padrão, a fim de que se evite ajustes desnecessários, com consequências que tendem a aumentar a variabilidade. Nestas condições, raramente um processo sob controle possuirá pontos na região de ação do gráfico, o que indicaria um fator de intervenção no processo com os ajustes necessários. Além dos casos de amostras fora de controle, Machado (2012) considera que, na análise de um gráfico de controle, também podem ser consideradas causas especiais de variação: 6 ou mais pontos com tendência de subida ou descida; 8 ou mais pontos consecutivos em apenas um dos lados da linha central; 14 ou mais pontos consecutivos, alternando acima e abaixo da linha central.

Figura 8 – Tipos de desvios de causas especiais nos gráficos de controle



Fonte: Machado, 2012, p. 117

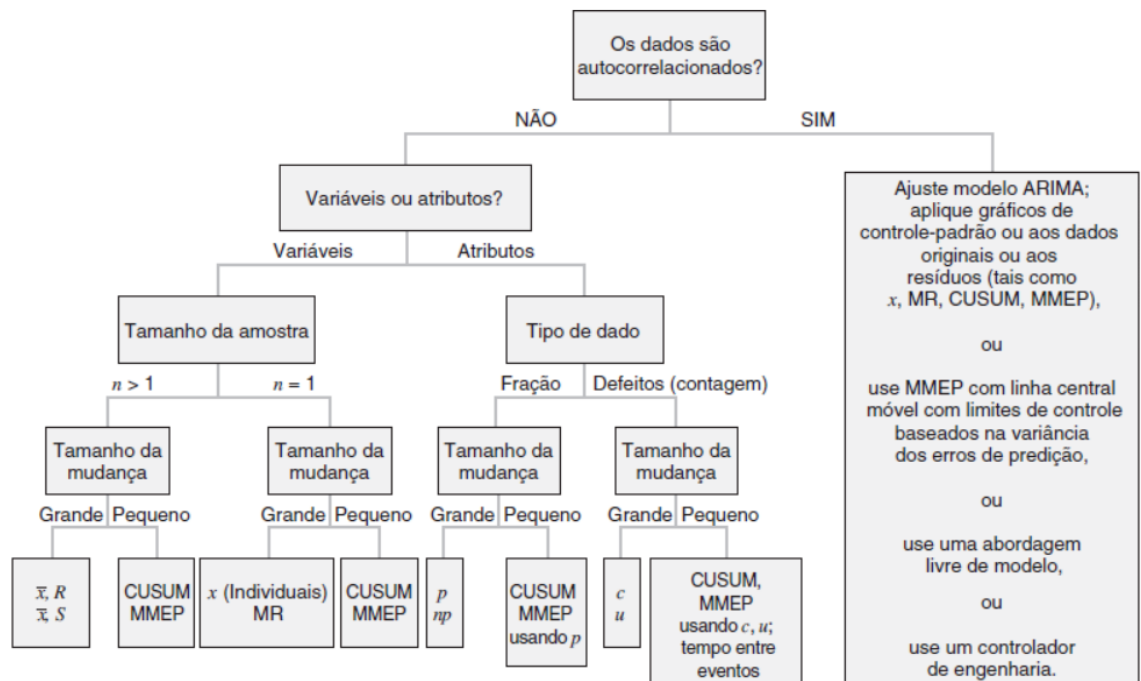
O monitoramento e controle em gráficos de variáveis devem ser feitos em conjunto, levando em conta tanto a tendência central quanto a variabilidade das amostras. Para visualizar estas análises, são necessários dois gráficos distintos: um para acompanhar o valor médio,  $\bar{X}$  para a média ou  $\tilde{x}$  para a mediana, e outro para avaliar a variabilidade em torno desse valor médio, que pode ser representada pela amplitude,  $R$ , ou pelo desvio-padrão,  $S$ . (MEIRA, 2021; WALPOLE, 2018).

### 2.2.2 Escolha do gráfico de controle

Após definir a categoria da característica de qualidade, seja ela atributo ou variável, as principais considerações para determinar qual gráfico de controle utilizar baseiam-se no tamanho da amostra e no comportamento dos itens analisados (MACHADO, 2012).

Os principais gráficos de controle para variáveis contínuas aplicados são: média e amplitude -  $\bar{X}$  e  $R$ , média e desvio-padrão -  $\bar{X}$  e  $S$ , mediana e amplitude -  $\tilde{x}$  e  $R$  e individuais e amplitude móvel -  $\tilde{x}$  e  $R_m$ . Montgomery (2014) esquematizou os procedimentos que podem ser úteis na seleção do gráfico de controle, vistos na Figura 9.

Figura 9 – Diagrama para a decisão do tipo de gráfico de controle para controle e monitoramento



Fonte: Montgomery (2014)

No estudo e controle da tendência central de uma característica de qualidade, geralmente se utiliza o gráfico X devido a fatores como a simplicidade de cálculo e aplicação aliados à sua excelente sensibilidade para alterações na média da distribuição (COSTA, 2005; MEIRA, 2021). No entanto, segundo Paladini (2019) existem dois gráficos mais comuns para o caso da análise da dispersão: o gráfico S e o gráfico R. O critério de aplicação de cada um depende do tamanho da amostra. Para amostras grandes (6 itens ou mais), recomenda-se o gráfico S, no qual cada ponto do gráfico representa os desvios-padrões das amostras. Se as amostras forem pequenas (6 itens ou menos), aplica-se o gráfico R das amplitudes das amostras.

### 2.2.3 Gráfico de Controle X e R

Normalmente, os gráficos de controle são exibidos em pares. O primeiro monitora a posição central e é atribuído ao segundo o monitoramento da variação, devendo ser posicionado embaixo do gráfico para a média (VIEIRA, 2014).

Na construção do gráfico para o monitoramento da posição central do processo se assume que a característica da qualidade possui distribuição normal, com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$  (RAMOS, 2012). De acordo com Paladini (2019), a estrutura de um gráfico de monitoramento é composta por uma linha média, exibida entre dois limites de controle, o superior e o inferior. Além do valor médio, representado pela Linha Central (LC), são considerados o desvio-padrão das amostras para o cálculo dos limites de controle, conforme equações:

$$LSC_X = \mu + 3\sigma/\sqrt{n} \quad (1)$$

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

$$LIC_X = \mu - 3\sigma/\sqrt{n} \quad (3)$$

Para o gráfico R da amplitude, a Linha Central e os Limites Superiores e Inferiores podem ser calculados conforme as equações abaixo:

$$LSC_R = \bar{R} + 3\sigma \quad (4)$$

$$LC_R = \bar{R} \quad (5)$$

$$LIC_R = \bar{R} - 3\sigma \quad (6)$$

Em geral, não se conhece os estimadores  $\mu$  e  $\sigma$  e, conseqüentemente, eles precisam ser estimados em dados obtidos de amostras preliminares. Sendo assim,  $\mu$  é estimado pela média geral destas amostras e através do cálculo da amplitude média, se estima  $\sigma$ , conforme as equações exibidas a seguir (MONTGOMERY, 2014; MEIRA, 2021):

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (7)$$

$$LC_X = \bar{\bar{X}} \quad (8)$$

$$LIC_X = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (9)$$

$$LSC_R = \bar{R} + \frac{3d_3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$LC_R = \bar{R} \quad (11)$$

$$LIC_R = \bar{R} - \frac{3d_3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (12)$$

Para simplificar, normalmente os estimadores são substituídos nas aplicações práticas por fatores construtivos para os gráficos de controle  $\bar{X}$  e  $\bar{R}$ :

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (13)$$

$$LC_X = \bar{\bar{X}} \quad (14)$$

$$LIC_X = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (15)$$

$$LSC_R = \bar{R} + \frac{3d_3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (16)$$

$$LC_R = \bar{R} \quad (17)$$

$$LIC_R = \bar{R} - \frac{3d_3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} \quad (18)$$

Montgomery (2014) defende que para efetivamente se utilizar qualquer gráfico de controle, são necessárias revisões periódicas dos limites de controle e linhas centrais. Este estudo de revisão pode ser estabelecido baseado em intervalos de tempo ou por alguma quantidade predefinida de amostras, sendo altamente recomendável um mínimo de 25 amostras no cálculo dos limites de controle.



### 2.3 CAPACIDADE DO PROCESSO

No controle estatístico do processo se utiliza a capacidade do processo para comparar a saída de um processo com os limites de especificação determinadas pela engenharia do produto que foi produzido. Normalmente, os índices Cp e Cpk são mais utilizados nos estudos de capacidade de um processo.

No índice Cp, a mudança global no processo é relativa à tolerabilidade das especificações, refletindo, portanto, apenas a consistência das características de qualidade do produto. A razão entre as tolerâncias estabelecidas pela engenharia e a dispersão total do processo são as variáveis consideradas para o cálculo do Cp. O Cp pode ser representado matematicamente na fórmula abaixo:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (19)$$

Um Cp maior que 1 indica que um processo é capaz de atender à especificação. Pode-se encontrar na literatura a preferência por utilizar 8, no lugar de 6 no denominador, com o objetivo de aumentar a margem de segurança (RAMOS, 2000). O Cp não faz consideração quanto o valor médio e, para essa finalidade, o índice Cpk avalia a distância entre a média do processo aos limites de especificação superior e inferior, separadamente. Em seguida, é considerado para o resultado o menor valor, por apresentar maior probabilidade de produtos fora da especificação. De modo similar, o Cpk maior que 1 indica um processo capaz.

O Cpk leva em consideração o fato de que a média do processo pode ser definida da seguinte forma:

$$C_{pki} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{\frac{3R}{d_2}} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{\frac{3\bar{s}}{d_2}} \quad (20)$$

$$C_{pks} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{\frac{3R}{d_2}} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{\frac{3\bar{s}}{d_2}} \quad (21)$$

## 2.4 GRÁFICOS DE CONTROLE DNOM NO CONTEXTO DE PEQUENOS LOTES PRODUTIVOS

Métodos tradicionais de CEP foram desenvolvidos para dar suporte à produção em grande volume e a corridas de produção extensas. No entanto, as corridas curtas se tornaram cada vez mais comuns, aliadas a tendência para a especialização de produtos, fabricação síncrona, diversidade de produtos e fabricação flexível. À medida que esses esforços tendem a integrar mais estreitamente as várias etapas no processo de produção, torna-se ainda mais crítico prever o que será produzido e quando. Em vez de se preocupar com a entrega de 2000 peças por semana ou 8000 peças uma vez por mês, agora pode ser necessário ter 400 peças entregues às 10h todos os dias da semana. Nesse contexto é essencial que os tomadores de decisão tenham previsibilidade dos dados, e a variação descontrolada pode literalmente levar uma organização a resultados extremamente indesejados de retrabalho e desperdício. Shewhart definiu que um processo é previsível apenas se apresentar um grau razoável de controle estatístico e seus gráficos foram propostos para monitorar produções de grandes volumes. Essa falta de controle estatístico é o que frequentemente transforma o "*just-in-time*" em "já é tarde demais". Apesar da Toyota já ter comprovado a eficiência da metodologia *just-in-time*, é um desafio para muitas organizações alcançar os benefícios do *just-in-time* sem a previsibilidade que só é possível com o controle estatístico (WHEELER, 1991). O termo genérico “pequenos lotes” e seus sinônimos “corridas curtas” ou “pequena escala” são aplicados em contextos de alta diversidade de produtos são produzidos em pequenas quantidades, e, por consequência, demandam um alto número de setups e, conseqüentemente, essa situação pode fazer com que a rotina do uso de gráficos de controle requeira uma análise cuidadosa, uma vez que não se produzem unidades suficientes em qualquer lote para produzir os limites de controle (MEIRA, 2021). Em muitos casos, quando se tenta aplicar o CEP da maneira tradicional, ocorre que o lote de fabricação do produto geralmente é tão pequeno que acaba antes mesmo de se obter dados suficientes das amostras para uma estimativa precisa de parâmetros e para estabelecer cartas de controle válidas, que satisfaçam os pressupostos fundamentais.

Como os métodos do controle estatístico de processos são mais frequentemente aplicados a uma característica de um produto, podemos estender o CEP ao ambiente dos pequenos lotes produtivos focalizando na característica do processo em cada unidade de produto. Para ilustrar, Montgomery (2014) sugeriu que se considere a operação de uma furadeira em uma oficina de trabalho. O operador faz furações em cada peça passando pelo centro da máquina. Algumas peças requerem um tipo orifício e outras, vários orifícios dos mais diversos diâmetros. É quase

impossível a construção de gráficos  $\bar{X}$  e R para cada valor de diâmetro do orifício, uma vez que cada peça é potencialmente diferente. A abordagem correta então, envolve a característica de interesse no processo e não o dimensional de cada furo em si. Nesse caso, a engenharia estaria interessada em orifícios que atendam aos limites de especificação, dentro do diâmetro correto e, conseqüentemente, reduzir, ao máximo possível, a variabilidade no diâmetro do orifício. Isso é feito através da padronização dos dados antes de plotá-los no gráfico de controle. Essencialmente, no exemplo mencionado acima, o valor plotado é a diferença entre o diâmetro efetivo e o diâmetro nominal, que geralmente se refere ao valor especificado em um projeto de engenharia, localizado no meio entre os limites de especificação inferior e superior. Uma vez que as diferenças são calculadas, os limites de controle podem ser estabelecidos da maneira usual. Em tais aplicações, é muito importante que se registre cuidadosamente o início de cada lote no gráfico de controle, de modo que, se a mudança do tamanho, posição ou número de orifícios feitos em cada peça afeta o processo, o padrão resultante nos gráficos de controle será facilmente interpretado (MEIRA, 2021).

#### **2.4.2 Gráficos de controle do desvio do nominal**

O gráfico de controle do desvio do nominal pode ajudar a otimizar as aplicações de CEP na manufatura, encolhendo o número de cartas de controle a serem analisados e, também pode ser empregado no processo de fabricação de mais de um produto de modo sequencial. Este gráfico oferece uma alternativa de monitoramento e controle de processos em relação aos métodos tradicionais. Segundo Meira (2021), o foco deve em analisar produtos com diferentes valores nominais e deve ser também nas características de um mesmo processo de fabricação, considerando que as avaliações através do desvio padrão dos produtos, tem maiores chances de serem a mesma. Quando os processos são operados com pouca variação, ou seja, distantes de seus limites de especificação, é comum encontrar que as variações em torno de vários pontos são iguais ou, pelo menos, quase iguais. O tamanho da amostra esta relacionado aos cálculos dos limites superior e inferior de controle, então ele deve ser constante para os cálculos dos limites do gráfico de controle DNOM da mesma maneira que se calcula em gráficos de controle  $\bar{X}$  (SOWER, 1991). Para centralização adequada do processo, a linha central deve ser 0. Da mesma maneira, o cálculo dos limites de controle para os gráficos R de dispersão podem ser realizados da maneira tradicional. O gráfico DNOM é mais intuitivo quando a especificação nominal é o alvo desejado para o processo e a média do processo está "no alvo".

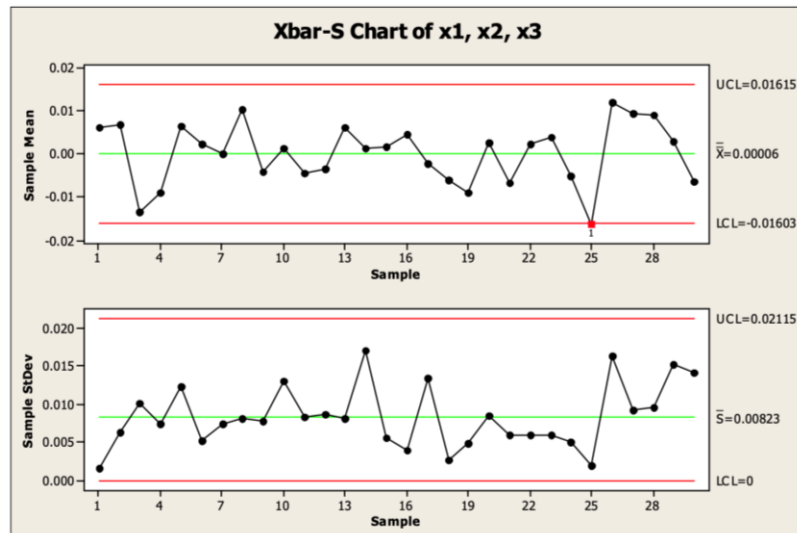
Basicamente, cada dado mensurado é transformado subtraindo o valor nominal ( $x_i = \text{valor medido } m_i - \text{valor nominal}$ ). Para ilustrar o procedimento de construção do gráfico de controle do desvio do nominal, são apresentados na tabela da Figura 10 abaixo com as medidas obtidas de amostras de  $n = 3$  de três produtos diferentes, A, B e C. O valor nominal do dimensional é 17,400 mm. Os desvios são então utilizados da maneira usual para construir o gráfico de controle desejado (por exemplo, Gráficos  $\bar{X}$ -R ou Gráficos  $\bar{X}$ -S).

Figura 10 – Medições da mesma característica de processo de três produtos diferentes

| PEÇA    |      |         | MEDIÇÕES |        |        | DESVIO DO NOMINAL |        |        | ESTATÍSTICAS DO GRÁFICO |           |           |
|---------|------|---------|----------|--------|--------|-------------------|--------|--------|-------------------------|-----------|-----------|
| Amostra | Tipo | Nominal | m1       | m2     | m3     | x1                | x2     | x3     | $\bar{x}$               | R         | S         |
| 1       | A    | 17,400  | 17,408   | 17,404 | 17,407 | 0,008             | 0,004  | 0,007  | 0,0063                  | 0,003     | 0,0021    |
| 2       | A    | 17,400  | 17,403   | 17,404 | 17,414 | 0,003             | 0,004  | 0,014  | 0,0070                  | 0,011     | 0,0061    |
| 3       | A    | 17,400  | 17,392   | 17,393 | 17,375 | -0,008            | -0,007 | -0,025 | -0,0133                 | 0,018     | 0,0101    |
| 4       | A    | 17,400  | 17,387   | 17,400 | 17,387 | -0,013            | 0,000  | -0,013 | -0,0087                 | 0,013     | 0,0075    |
| 5       | A    | 17,400  | 17,400   | 17,399 | 17,420 | 0,000             | -0,001 | 0,020  | 0,0063                  | 0,022     | 0,0118    |
| 6       | A    | 17,400  | 17,408   | 17,400 | 17,399 | 0,008             | 0,000  | -0,001 | 0,0023                  | 0,010     | 0,0049    |
| 7       | A    | 17,400  | 17,409   | 17,396 | 17,395 | 0,009             | -0,004 | -0,005 | 0,0000                  | 0,014     | 0,0078    |
| 8       | A    | 17,400  | 17,411   | 17,418 | 17,402 | 0,011             | 0,018  | 0,002  | 0,0103                  | 0,016     | 0,0080    |
| 9       | A    | 17,400  | 17,397   | 17,403 | 17,387 | -0,003            | 0,003  | -0,013 | -0,0043                 | 0,015     | 0,0081    |
| 10      | A    | 17,400  | 17,415   | 17,400 | 17,389 | 0,015             | 0,000  | -0,011 | 0,0013                  | 0,026     | 0,0131    |
| 11      | B    | 12,700  | 12,698   | 12,702 | 12,686 | -0,002            | 0,002  | -0,014 | -0,0047                 | 0,016     | 0,0083    |
| 12      | B    | 12,700  | 12,697   | 12,704 | 12,687 | -0,003            | 0,004  | -0,013 | -0,0040                 | 0,017     | 0,0085    |
| 13      | B    | 12,700  | 12,698   | 12,713 | 12,708 | -0,002            | 0,013  | 0,008  | 0,0063                  | 0,016     | 0,0076    |
| 14      | B    | 12,700  | 12,720   | 12,687 | 12,698 | 0,020             | -0,013 | -0,002 | 0,0017                  | 0,033     | 0,0168    |
| 15      | B    | 12,700  | 12,696   | 12,702 | 12,707 | -0,004            | 0,002  | 0,007  | 0,0017                  | 0,011     | 0,0055    |
| 16      | B    | 12,700  | 12,709   | 12,702 | 12,702 | 0,009             | 0,002  | 0,002  | 0,0043                  | 0,007     | 0,0040    |
| 17      | B    | 12,700  | 12,695   | 12,686 | 12,712 | -0,005            | -0,014 | 0,012  | -0,0023                 | 0,026     | 0,0132    |
| 18      | B    | 12,700  | 12,695   | 12,691 | 12,696 | -0,005            | -0,009 | -0,004 | -0,0060                 | 0,005     | 0,0026    |
| 19      | B    | 12,700  | 12,685   | 12,693 | 12,695 | -0,015            | -0,007 | -0,005 | -0,0090                 | 0,009     | 0,0053    |
| 20      | B    | 12,700  | 12,712   | 12,695 | 12,700 | 0,012             | -0,005 | 0,000  | 0,0023                  | 0,016     | 0,0087    |
| 21      | C    | 10,500  | 10,487   | 10,499 | 10,494 | -0,013            | -0,001 | -0,006 | -0,0067                 | 0,012     | 0,0060    |
| 22      | C    | 10,500  | 10,502   | 10,508 | 10,496 | 0,002             | 0,008  | -0,004 | 0,0020                  | 0,012     | 0,0060    |
| 23      | C    | 10,500  | 10,504   | 10,498 | 10,510 | 0,004             | -0,002 | 0,010  | 0,0040                  | 0,012     | 0,0060    |
| 24      | C    | 10,500  | 10,500   | 10,496 | 10,490 | 0,000             | -0,004 | -0,010 | -0,0047                 | 0,010     | 0,0050    |
| 25      | C    | 10,500  | 10,485   | 10,481 | 10,485 | -0,015            | -0,019 | -0,015 | -0,0163                 | 0,003     | 0,0023    |
| 26      | C    | 10,500  | 10,526   | 10,516 | 10,494 | 0,026             | 0,016  | -0,006 | 0,0120                  | 0,032     | 0,0164    |
| 27      | C    | 10,500  | 10,519   | 10,501 | 10,508 | 0,019             | 0,001  | 0,008  | 0,0093                  | 0,018     | 0,0091    |
| 28      | C    | 10,500  | 10,520   | 10,503 | 10,504 | 0,020             | 0,003  | 0,004  | 0,0090                  | 0,017     | 0,0095    |
| 29      | C    | 10,500  | 10,512   | 10,486 | 10,512 | 0,012             | -0,014 | 0,012  | 0,0033                  | 0,026     | 0,0150    |
| 30      | C    | 10,500  | 10,494   | 10,508 | 10,479 | -0,006            | 0,008  | -0,021 | -0,0063                 | 0,028     | 0,0145    |
|         |      |         |          |        |        |                   |        |        | 0,0001                  | 0,0159    | 0,0083    |
|         |      |         |          |        |        |                   |        |        | $\bar{X}$               | $\bar{R}$ | $\bar{S}$ |

Fonte: Wachs, 2009

Os gráficos  $\bar{X}$ -S construídos a partir dos valores de Desvio do Nominal estão apresentados a seguir na Figura 11.

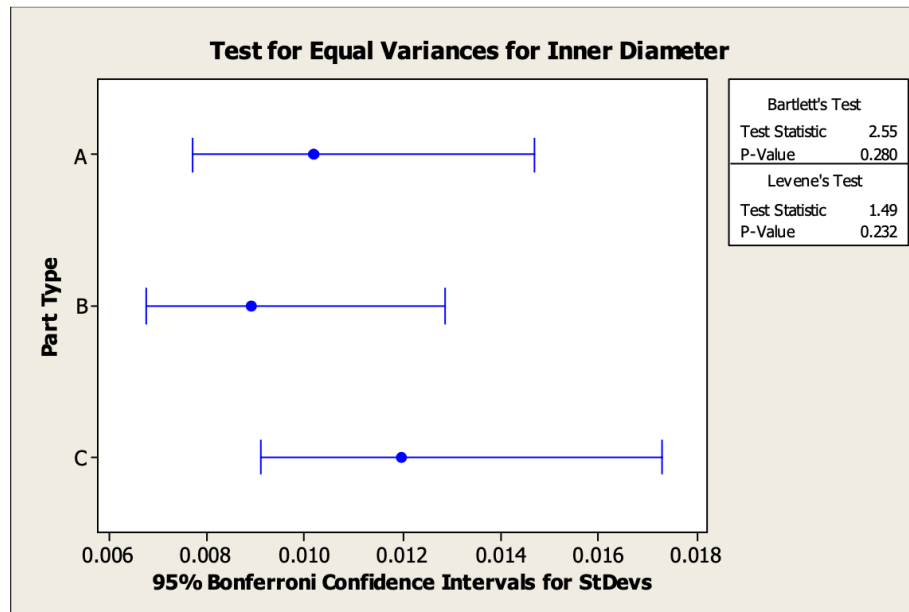
Figura 11 – Gráfico  $\bar{X}$ -S do desvio do nominal

Fonte: Wachs, 2009

Pressupõe-se que o desvio padrão do processo para os diferentes tipos de peças seja estatisticamente o mesmo. Muitas vezes, peças com medidas nominais maiores também terão desvios padrão maiores. Se os desvios padrão não forem iguais em todos os tipos de peças, a abordagem acima é inválida e gráficos DNOM padronizados devem ser utilizados (MONTGOMERY, 2014).

Segundo Wachs (2009), uma análise estatística pode ser realizada para verificar se as diferenças observadas nos desvios padrão (ou variâncias) de múltiplos grupos representam uma diferença estatisticamente significativa. Diferenças estatisticamente significativas significam que é muito improvável que a magnitude das diferenças tenha ocorrido por acaso, resultando na diferença indesejada entre os desvios-padrão. Quando apenas dois grupos estão sendo testados, é realizado um teste F (se cada grupo seguir uma distribuição normal) ou um Teste de Levene (se a suposição de normalidade não se aplicar). Quando mais de dois grupos estão sendo testados, é realizado um teste de Bartlett (se os grupos seguem uma distribuição normal) ou um Teste de Levene (se a suposição de normalidade não se aplica). A Figura 12 mostra um exemplo de teste de variância para 3 grupos de dados de diâmetros internos distintos.

Figura 12 – Testes para as variâncias das características A, B e C



Fonte: Wachs, 2009

O gráfico apresentado refere-se aos resultados do teste de hipótese para verificar a igualdade das variâncias nos três tipos de peças mencionados anteriormente nos dados mostrados na Figura 10. Os *p-values* relativamente elevados ( $>0,05$ ) sugerem que não dispomos de evidências significativas para afirmar que as variâncias são distintas, com uma confiança de 95%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa se dedica a análise dos dados de renomada multinacional da indústria de bebidas, que produz cervejas, sucos, refrigerantes, energéticos e água mineral. No Brasil, possui diversas marcas de cerveja e sete fábricas com tecnologia avançada, possuindo um laboratório de qualidade assegurada no interior do estado de São Paulo. Cada lote produzido inclui centenas de milhares de bebidas, constantemente avaliadas para manter o padrão de sabor internacional da marca. Utiliza-se um software de Controle Estatístico de Processos, ajustado ao ambiente de produção, para analisar os insumos dos fornecedores. Este software realiza cálculos de limites de controle após a análise de subgrupos específicos. Períodos são designados para ajustes e análises de CEP em cada lote, assegurando a constante verificação do processo. Avaliações qualitativas foram realizadas para garantir a qualidade do malte de dois fornecedores, I e II, comparando o desempenho de dois tipos de malte, A e B. O foco da pesquisa é a variável “P.D.M.S ( $\mu\text{g/L}$ )”, que significa Precursor de Sulfeto de Dimetila, um composto que pode dar um sabor de “batata cozida” à cerveja. O objetivo é minimizar o P.D.M.S para evitar sabores, aromas e cores indesejáveis. Considerando que é impraticável esperar um malte completamente isento de P.D.M.S., a equipe de engenharia da empresa definiu como meta alcançar níveis aceitáveis desse componente. Esta abordagem reconhece as limitações inerentes ao processo de produção do malte e estabelece padrões de qualidade viáveis, garantindo que a presença de P.D.M.S. permaneça dentro de limites que não comprometam o sabor e a qualidade do produto final. Para o malte A, o padrão estabelecido como valor alvo é  $1,00 \mu\text{g/L}$  e, para o malte B, o valor alvo estabelecido é de  $1,30 \mu\text{g/L}$ ; os dois maltes possuem o mesmo LSE de  $4,00 \mu\text{g/L}$ , já que valores mais altos podem indicar contaminação. Apesar de receberem um laudo técnico da qualidade dos fornecedores, profissionais da empresa realizam as medidas para monitoramento e controle das características no laboratório central de qualidade assegurada da empresa por meio de equipamento de cromatografia. As especificações técnicas estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de especificação da característica “P.D.M.S.”

| Malte | LIE [ $\mu\text{g/L}$ ] | Valor Alvo [ $\mu\text{g/L}$ ] | LSE [ $\mu\text{g/L}$ ] |
|-------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| A     | -                       | 1,00                           | 4,00                    |
| B     | -                       | 1,30                           | 4,00                    |

Fonte: Elaborada pela autora

A abordagem sugerida para esta pesquisa indica que uma única característica de qualidade com dois valores nominais distintos pode ser representada em um único gráfico de controle. Isso possibilita a otimização da análise de características comuns, refletindo o comportamento do processo para cada fornecedor de malte.

### 3.2 ANÁLISE DAS OBSERVAÇÕES

Cada subgrupo de dados inclui 3 medições para cada tipo de malte, representando aproximadamente os lotes mensais recebido de cada fornecedor, durante o período de 6 meses. Os dois gráficos de controle foram aplicados a partir de um conjunto de dados reais composto por 120 medidas, que foram tratados e adaptados para o gráfico de controle DNOM e sua estabilidade. Embora possuam processos similares, os maltes são produtos distintos e provenientes de fornecedores diferentes. O desempenho do P.D.M.S. do malte é avaliado para cada fornecedor, visando verificar a consistência e a capacidade de atingir os valores alvo definidos. As Tabelas 2 e 3 apresentam os conjuntos de dados das medições da característica para os dois tipos de malte, sendo divididas por fornecedor. As Tabelas 4 e 5 mostram os cálculos estatísticos para cada fornecedor construídos no software Microsoft Excel, após tratamento dos dados para o gráfico de controle do desvio do nominal, de acordo com a fórmula apresentada abaixo.

$$Xi = Mi - Va$$

Onde:

Mi = medida da amostra

Va = valor alvo para a amostra

Tabela 2 – Observações de P.D.M.S. nos tipos de malte para o fornecedor I

(continua)

| Característica P.D.M.S. |         |            |         | Medições [µg/L] |      |      |
|-------------------------|---------|------------|---------|-----------------|------|------|
| Amostra                 | Produto | Fornecedor | Nominal | m1              | m2   | m3   |
| 1                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,67            | 1,24 | 1,46 |
| 2                       | Malte A | I          | 1,00    | 0,95            | 1,00 | 0,93 |
| 3                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,24            | 1,83 | 1,53 |
| 4                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,21            | 1,20 | 1,21 |
| 5                       | Malte A | I          | 1,00    | 0,90            | 1,06 | 0,97 |
| 6                       | Malte A | I          | 1,00    | 0,91            | 1,72 | 1,31 |



Tabela 2 – Observações de P.D.M.S. nos tipos de malte para o fornecedor I

(conclusão)

| Característica P.D.M.S. |         |            |         | Medições [µg/L] |      |      |
|-------------------------|---------|------------|---------|-----------------|------|------|
| Amostra                 | Produto | Fornecedor | Nominal | m1              | m2   | m3   |
| 7                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,62            | 1,56 | 1,64 |
| 8                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,41            | 1,16 | 1,28 |
| 9                       | Malte A | I          | 1,00    | 1,89            | 1,15 | 1,85 |
| 10                      | Malte A | I          | 1,00    | 1,17            | 0,88 | 0,58 |
| 11                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,50            | 1,54 | 1,52 |
| 12                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,14            | 1,93 | 1,53 |
| 13                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,42            | 1,22 | 1,32 |
| 14                      | Malte B | I          | 1,30    | 3,36            | 1,65 | 2,50 |
| 15                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,62            | 1,29 | 1,46 |
| 16                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,93            | 1,08 | 1,75 |
| 17                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,46            | 1,33 | 1,39 |
| 18                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,78            | 3,00 | 2,39 |
| 19                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,73            | 1,89 | 1,81 |
| 20                      | Malte B | I          | 1,30    | 1,90            | 1,94 | 1,92 |

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 3 – Observações de P.D.M.S nos tipos de malte para o fornecedor II

(continua)

| Característica P.D.M.S. |         |            |         | Medições [µg/L] |      |      |
|-------------------------|---------|------------|---------|-----------------|------|------|
| Amostra                 | Produto | Fornecedor | Nominal | m1              | m2   | m3   |
| 1                       | Malte A | II         | 1,00    | 0,82            | 0,68 | 1,55 |
| 2                       | Malte A | II         | 1,00    | 1,48            | 1,62 | 2,68 |
| 3                       | Malte A | II         | 1,00    | 4,01            | 2,83 | 2,12 |
| 4                       | Malte A | II         | 1,00    | 1,99            | 3,20 | 2,22 |
| 5                       | Malte A | II         | 1,00    | 0,87            | 0,40 | 0,10 |
| 6                       | Malte A | II         | 1,00    | 1,06            | 0,52 | 0,73 |
| 7                       | Malte A | II         | 1,00    | 0,70            | 2,37 | 1,03 |
| 8                       | Malte A | II         | 1,00    | 3,54            | 3,41 | 3,26 |
| 9                       | Malte A | II         | 1,00    | 0,71            | 2,12 | 1,14 |
| 10                      | Malte A | II         | 1,00    | 0,87            | 0,80 | 0,70 |
| 11                      | Malte B | II         | 1,30    | 1,45            | 0,96 | 1,43 |
| 12                      | Malte B | II         | 1,30    | 2,01            | 3,73 | 2,29 |
| 13                      | Malte B | II         | 1,30    | 2,09            | 1,30 | 1,15 |
| 14                      | Malte B | II         | 1,30    | 1,89            | 1,76 | 1,62 |
| 15                      | Malte B | II         | 1,30    | 1,45            | 2,35 | 1,80 |
| 16                      | Malte B | II         | 1,30    | 3,20            | 1,02 | 2,32 |

Tabela 3 – Observações de P.D.M.S nos tipos de malte para o fornecedor II

(conclusão)

| Desvio do Nominal |         |    | Estatísticas |      |      |      |
|-------------------|---------|----|--------------|------|------|------|
| x1                | x2      | x3 | $\bar{x}$    | R    | S    |      |
| 17                | Malte B | II | 1,30         | 3,27 | 3,40 | 3,28 |
| 18                | Malte B | II | 1,30         | 2,44 | 1,58 | 2,80 |
| 19                | Malte B | II | 1,30         | 1,13 | 2,40 | 1,94 |
| 20                | Malte B | II | 1,30         | 2,03 | 2,00 | 2,88 |

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 4 – Cálculos para construção do gráfico DNOM para o fornecedor I

| Desvio do Nominal |       |       | Estatísticas |        |        |  |
|-------------------|-------|-------|--------------|--------|--------|--|
| x1                | x2    | x3    | $\bar{x}$    | R      | S      |  |
| 0,67              | 0,24  | 0,46  | 0,4550       | 0,4300 | 0,2150 |  |
| -0,05             | 0,00  | -0,07 | -0,0400      | 0,0700 | 0,0361 |  |
| 0,24              | 0,83  | 0,54  | 0,5350       | 0,5900 | 0,2950 |  |
| 0,21              | 0,20  | 0,21  | 0,2050       | 0,0100 | 0,0050 |  |
| -0,10             | 0,06  | -0,03 | -0,0233      | 0,1600 | 0,0802 |  |
| -0,09             | 0,72  | 0,31  | 0,3133       | 0,8100 | 0,4050 |  |
| 0,62              | 0,56  | 0,64  | 0,6067       | 0,0800 | 0,0416 |  |
| 0,41              | 0,16  | 0,28  | 0,2833       | 0,2500 | 0,1250 |  |
| 0,89              | 0,15  | 0,85  | 0,6300       | 0,7400 | 0,4162 |  |
| 0,17              | -0,12 | -0,42 | -0,1217      | 0,5850 | 0,2925 |  |
| 0,20              | 0,24  | 0,22  | 0,2200       | 0,0400 | 0,0200 |  |
| -0,16             | 0,63  | 0,23  | 0,2333       | 0,7900 | 0,3950 |  |
| 0,12              | -0,08 | 0,02  | 0,0200       | 0,2000 | 0,1000 |  |
| 2,06              | 0,35  | 1,21  | 1,2050       | 1,7100 | 0,8550 |  |
| 0,32              | -0,01 | 0,16  | 0,1550       | 0,3300 | 0,1650 |  |
| 0,63              | -0,22 | 0,45  | 0,2867       | 0,8500 | 0,4479 |  |
| 0,16              | 0,03  | 0,09  | 0,0933       | 0,1300 | 0,0651 |  |
| 0,48              | 1,70  | 1,09  | 1,0900       | 1,2200 | 0,6100 |  |
| 0,43              | 0,59  | 0,51  | 0,5100       | 0,1600 | 0,0800 |  |
| 0,60              | 0,64  | 0,62  | 0,6200       | 0,0400 | 0,0200 |  |

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5 – Cálculos para construção do gráfico DNOM para o fornecedor II

| Desvio do Nominal |        |        | Estatísticas |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| x1                | x2     | x3     | $\bar{x}$    | R      | S      |
| -0,180            | -0,320 | 0,550  | 0,0167       | 0,8700 | 0,2773 |
| 0,480             | 0,620  | 1,680  | 0,9267       | 1,2000 | 0,9229 |
| 3,010             | 1,830  | 1,120  | 1,9867       | 1,8900 | 0,5050 |
| 0,990             | 2,200  | 1,220  | 1,4700       | 1,2100 | 0,1350 |
| -0,130            | -0,600 | -0,900 | -0,5433      | 0,7700 | 0,4537 |
| 0,060             | -0,480 | -0,270 | -0,2300      | 0,5400 | 1,0967 |
| -0,300            | 1,370  | 0,030  | 0,3667       | 1,6700 | 0,0723 |
| 2,540             | 2,410  | 2,260  | 2,4033       | 0,2800 | 0,6268 |
| -0,290            | 1,120  | 0,140  | 0,3233       | 1,4100 | 0,6430 |
| -0,130            | -0,200 | -0,300 | -0,2100      | 0,1700 | 0,4996 |
| 0,150             | -0,340 | 0,130  | -0,0200      | 0,4900 | 0,2773 |
| 0,710             | 2,430  | 0,990  | 1,3767       | 1,720  | 0,9229 |
| 0,790             | 0,000  | -0,150 | 0,2133       | 0,940  | 0,5050 |
| 0,590             | 0,460  | 0,320  | 0,4567       | 0,270  | 0,1350 |
| 0,150             | 1,050  | 0,500  | 0,5667       | 0,900  | 0,4537 |
| 1,900             | -0,280 | 1,020  | 0,8800       | 2,180  | 1,0967 |
| 1,970             | 2,100  | 1,980  | 2,0167       | 0,130  | 0,0723 |
| 1,140             | 0,280  | 1,500  | 0,9733       | 1,220  | 0,6268 |
| -0,170            | 1,100  | 0,640  | 0,5233       | 1,270  | 0,6430 |
| 0,730             | 0,700  | 1,580  | 1,0033       | 0,880  | 0,4996 |

Fonte: Elaborado pela autora

### 3.2.1 Teste de normalidade

O teste de normalidade Anderson-Darling é utilizado para avaliar se uma amostra de dados segue uma distribuição específica, comumente a distribuição normal. Este teste verifica a conformidade com a distribuição normal e, também indica se os dados estão suficientemente próximos dela para que ferramentas estatísticas baseadas na normalidade possam ser aplicadas. Ele opera como um teste de hipótese, onde a hipótese nula é que os dados não são diferentes da normalidade.

As hipóteses para o teste Anderson-Darling são:

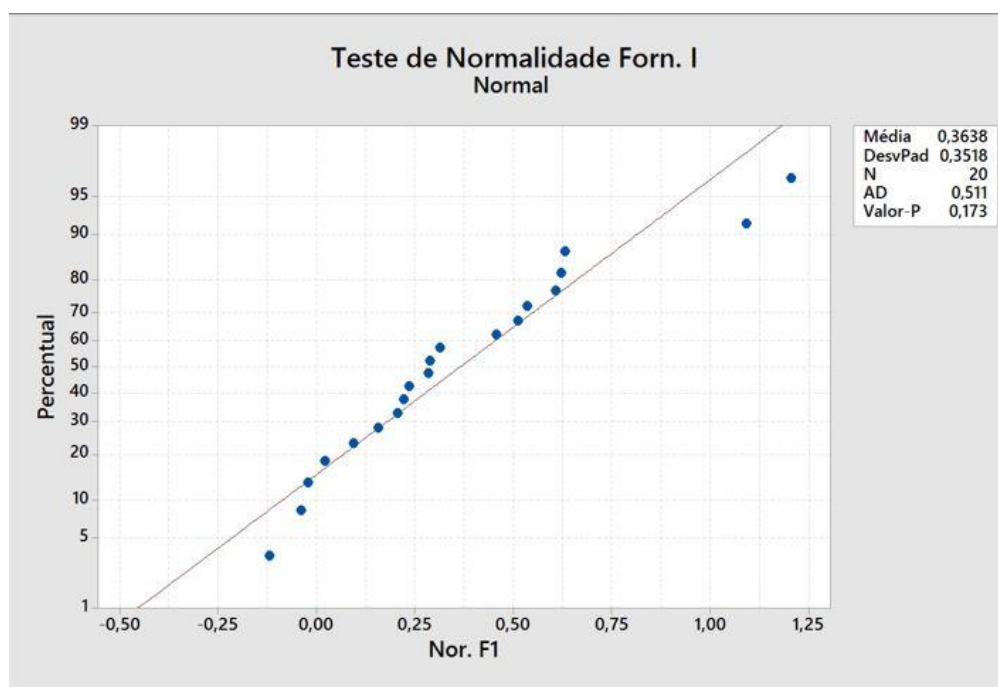
$H_0$ : Os dados seguem a distribuição normal

$H_1$ : Os dados não seguem a distribuição normal

O valor-p, calculado a partir da estatística Anderson-Darling, é crucial para determinar qual modelo de distribuição é mais adequado. Este valor é usado para testar se os dados seguem a distribuição normal presumida para as observações desta pesquisa. Se o valor-p for menor que um limiar definido (0,05), rejeita-se a hipótese nula de que os dados seguem a distribuição normal. Em comparações entre várias distribuições, aquela com o maior valor-p geralmente apresenta o melhor ajuste aos dados.

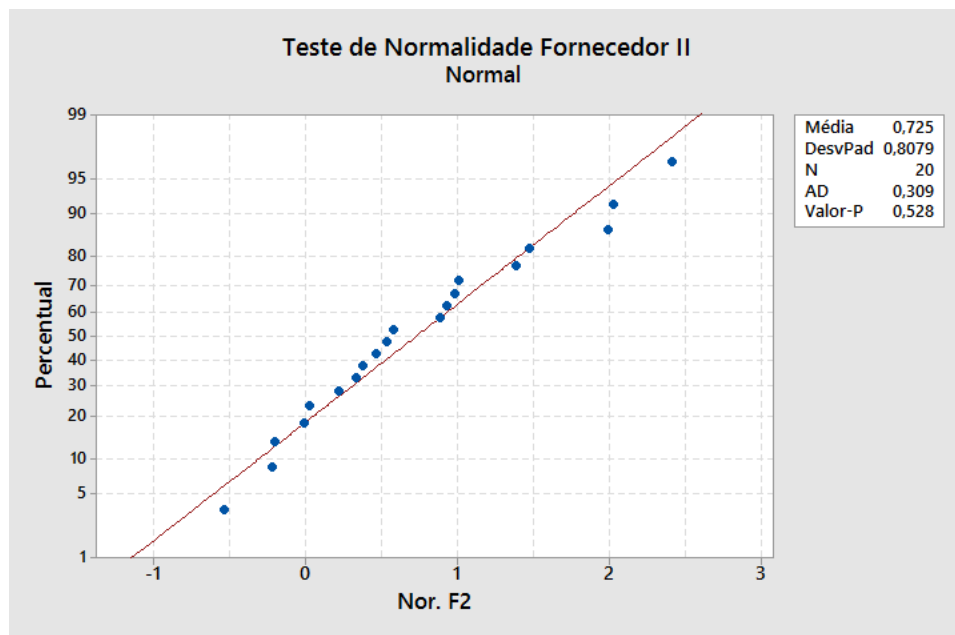
Para análise e construção dos gráficos de controle, o primeiro passo consiste em verificar se as observações do P.D.M.S. do malte dos dois fornecedores seguem uma distribuição normal, premissa essencial para análise através de gráficos de controle. Os dados foram processados no Microsoft Excel e, em seguida, realizaram-se os testes de normalidade no software Minitab 18, utilizando a estatística Anderson-Darling para avaliar o ajuste da distribuição.

Figura 13 – Teste de normalidade Anderson-Darling para as observações de P.D.M.S. do malte do fornecedor I



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 – Teste de normalidade Anderson-Darling para as observações de P.D.M.S. do malte do fornecedor II



Fonte: Elaborado pela autora

No teste para os dados do fornecedor I, obteve-se um *p-value* de 0,173 e, no teste para o fornecedor II, um *p-value* de 0,528. Ambos os valores são maiores que 0,05. Isso indica que não existem evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal. Além disso, as estatísticas de Anderson-Darling (AD) de 0,511 e 0,309 são relativamente baixas, sugerindo que os dados se ajustam bem à distribuição normal. Sendo assim, os resultados dos testes estão em consonância com a suposição de normalidade dos dados.

### 3.2.2 Teste das variâncias

O teste F, criado por Sir Ronald Aylmer Fisher e nomeado por George W. Snedecor em sua homenagem, é uma ferramenta estatística usada para comparar variâncias entre dois ou mais grupos. Este teste é fundamental em análises que requerem a comparação de variabilidade entre diferentes conjuntos de dados. Similarmente ao teste de normalidade, ele opera como um teste de hipótese, que são apresentadas a seguir.

$H_0$  : Não há diferença significativa entre as observações dos tipos de malte

$H_1$ : Há diferença significativa entre as observações dos tipos de malte

A estatística de teste F é calculada como a razão entre as variâncias estimadas dentro dos grupos e entre os grupos.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Onde:

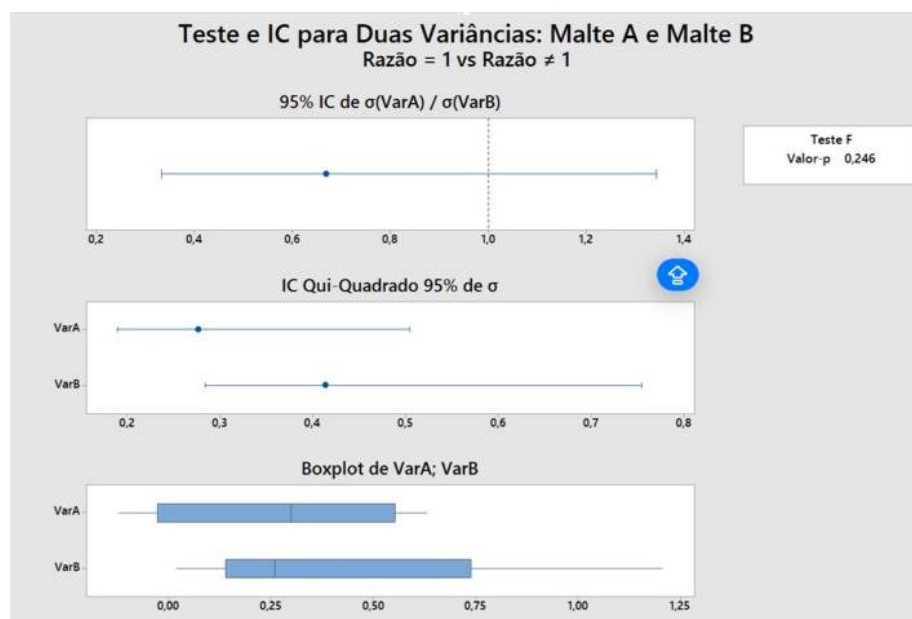
$S_1^2$  = variância da amostra do malte A

$S_2^2$  = variância da amostra do malte B

No teste F, um valor significativamente maior que 1 indica uma diferença nas variâncias entre os grupos. A hipótese nula do teste é que as variâncias são iguais, e se o *p-value* associado ao teste F for menor que um nível de significância pré-estabelecido (neste caso, 0,05), essa hipótese é rejeitada, por sugerir que as variâncias dos grupos não são iguais.

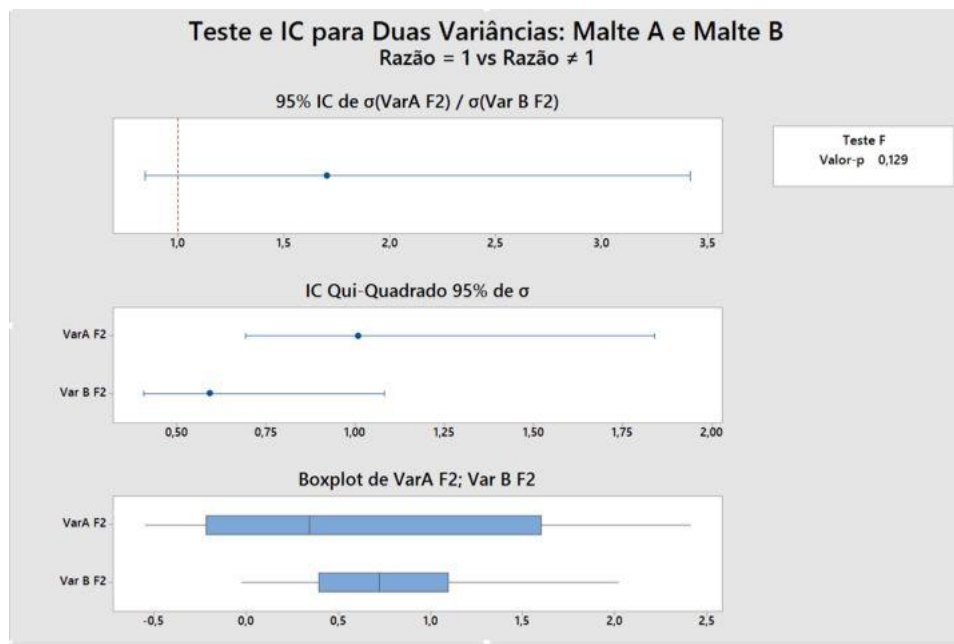
No teste entre os dados do malte A e malte B para o fornecedor I, o teste F para as variâncias mostrou um *p-value* de 0,246, acima de 0,05. Isso indica que não há evidências suficientes para afirmar que as variâncias dos dois grupos de malte são diferentes. No segundo teste F, para o fornecedor II, o *p-value* foi de 0,160, apesar de menor do que o do primeiro fornecedor, ainda está acima do limiar de 0,05. Isso também sugere que não há evidências suficientes para afirmar que as variâncias dos dois grupos de malte são diferentes.

Figura 15 – Teste de variância para as observações de P.D.M.S. entre os dois tipos de malte do fornecedor I



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15 – Teste de variância para as observações de P.D.M.S. entre os dois tipos de malte do fornecedor II



Fonte: Elaborado pela autora

Com base nos resultados dos testes (todos os *p-value* acima de 0,05), os dados dos dois grupos em cada teste não mostram evidências de diferenças significativas em suas variâncias.

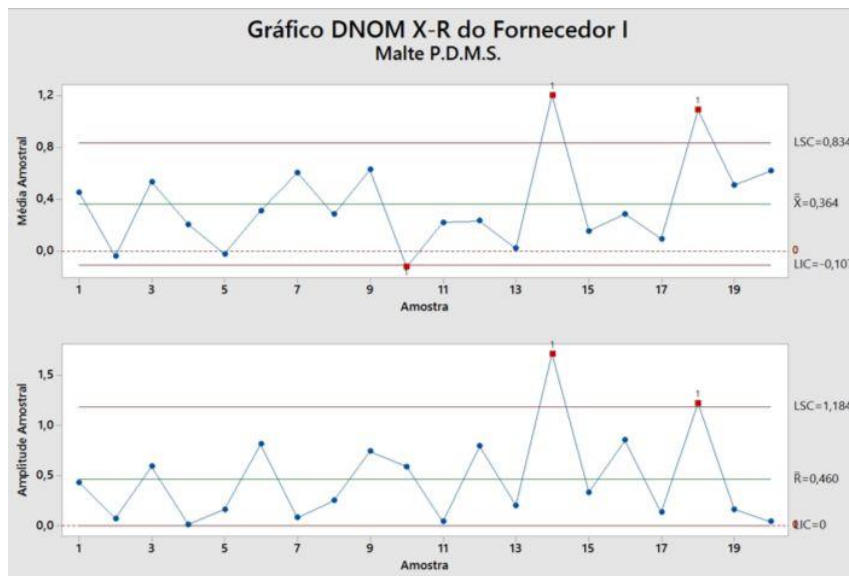
### 3.2.2 Gráficos de controle DNOM

Como discutido na seção 2.1., um princípio da manufatura de produtos de boa qualidade é que a variabilidade deve ser pequena. Por isso, nos gráficos de controle mostrados abaixo, o desejado é que se produza maltes com P.D.M.S. que seja o mais próximo possível do alvo e com o mínimo de variação possível. No caso desta característica da qualidade, o ideal é o menor nível possível de P.D.M.S. Por não ser prático estipular um valor alvo igual a 0, a empresa opta por definir como meta níveis aceitáveis deste composto, visando assegurar a produção de cervejas que atendam aos padrões de sabor e odor estabelecidos pela marca. Lotes de produção que apresentem valores acima do Limite Superior de Especificação (LSE) serão rejeitados.

Cada subgrupo representa uma fotografia do processo em determinado período mensal. O eixo horizontal é disposto cronologicamente, permitindo que o gráfico de controle ilustre o histórico de desempenho de cada fornecedor em relação a uma característica de qualidade específica. O gráfico R ilustra os intervalos de cada subgrupo, e sua linha central representa a média destes intervalos, pressupondo que o tamanho do subgrupo seja constante. A análise deve começar pelo gráfico R, que mostra os intervalos de cada subgrupo, ajudando a determinar se

a variação do processo está sob controle. Se a variação do processo não estiver controlada, os limites do gráfico  $\bar{X}$  serão imprecisos e poderão não refletir adequadamente o processo, influenciando as estimativas dos parâmetros do processo. O gráfico  $\bar{X}$  evidencia a consistência das médias do processo ao plotar a média de cada subgrupo.

Figura 16 – Gráfico de controle DNOM para a característica P.D.M.S. para o fornecedor I

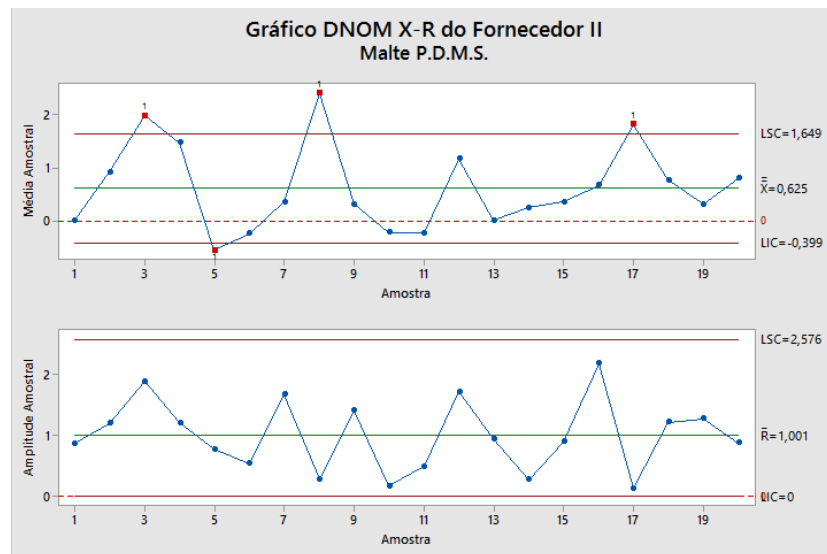


Fonte: Elaborado pela autora

A amostra 14 no gráfico de controle R do fornecedor I indica que o processo está fora de controle, necessitando de uma análise detalhada para identificar a causa especial e, assim, eliminar este ponto do gráfico e recalculer os limites de controle. Após a exclusão das amostras 10, 14 e 18, os LCS e LCI foram recalculados. A Figura 18 exibe o gráfico de controle DNOM para o fornecedor I após o tratamento dos dados para aprovação da característica, mostrando um processo estabilizado e sob controle.



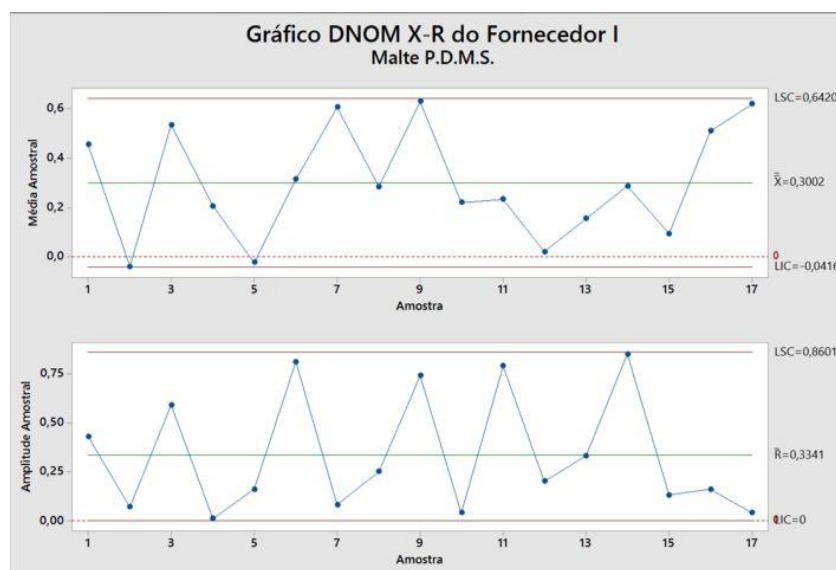
Figura 17 – Gráfico de controle DNOM para a característica P.D.M.S. para o fornecedor II



Fonte: Elaborado pela autora

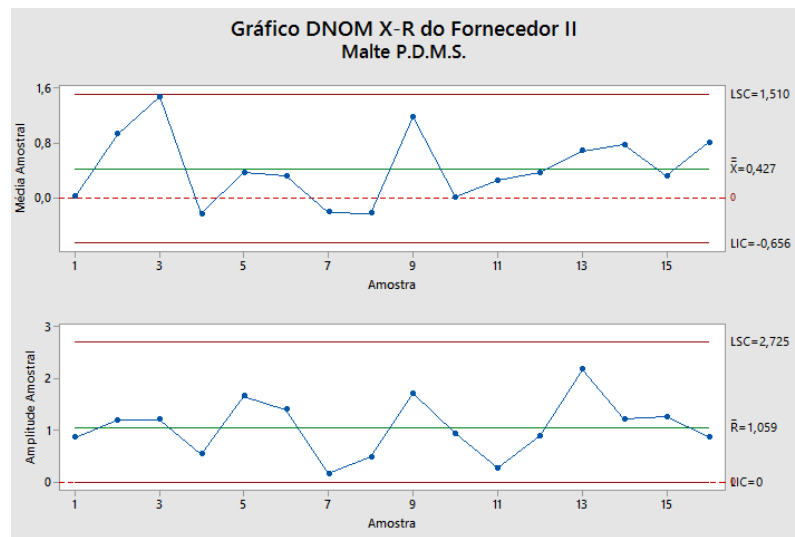
O gráfico R do fornecedor II revela um processo estável e controlado, com variações previsíveis. No entanto, o gráfico  $\bar{X}$  apresenta três amostras (3, 8 e 17) acima do Limite Superior de Controle (LSC) e uma amostra (5) abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC). Embora no contexto da P.D.M.S. é desejável o menor valor possível, é necessário investigar e excluir todas estas amostras do gráfico de controle para que se recalcule os limites de controle e índices de capacidade. A Figura 18 mostra o novo gráfico de controle para o fornecedor II, após a estabilização do processo.

Figura 18 – Gráfico de controle DNOM para o P.D.M.S. para o fornecedor I estável



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 19 – Gráfico de controle DNOM para o P.D.M.S. para o fornecedor II estável



Fonte: Elaborado pela autora

No gráfico  $\bar{\bar{X}}$ , do ponto de vista analítico, não há motivo para preocupação ao observar amostras fora de controle situadas abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC). Na verdade, essas amostras são ainda mais próximas do ideal, que é ter a menor presença possível do composto P.D.M.S. na bebida. Esta condição indica que o processo está operando de forma a reduzir ao máximo a concentração deste composto. No entanto, variações acima do Limite Superior de Controle (LSC) indicam variações indesejadas que devem ser exploradas. O processo do fornecedor I apresenta uma média  $\bar{\bar{X}}$  (0,3002) mais próxima do valor ideal (0) do que o processo do fornecedor II (0,4270), indicando uma menor variação entre as médias das amostras e o valor alvo.

Ao comparar os Limites Superiores de Controle dos fornecedores, fica evidente que o LSC do fornecedor I (0,6420) apresenta um desempenho melhor do que o do fornecedor II (1,5100). Isso significa que o comportamento normal das médias das amostras do processo do fornecedor I opera mais distante do LSE e de valores elevados de P.D.M.S., o que é benéfico, considerando que quantidades maiores deste composto são indesejadas no malte.

### 3.2.3 Teste t para as médias das observações

O valor-t em um teste t é utilizado para avaliar a diferença entre a média de uma amostra e um valor hipotético da população, expressa em unidades do erro padrão. O p-value, derivado do valor-t, é uma medida de probabilidade que fornece evidências contra a hipótese nula. Um

p-value baixo indica forte evidência contra a hipótese nula. Em um teste t bilateral com um nível de significância de 0,05, busca-se determinar se as diferenças nas médias das populações são significativamente diferentes do valor hipotético, além de estabelecer um intervalo de confiança. O teste t para duas amostras é frequentemente usado para comparar as médias de grupos diferentes de dados.

$\mu_1$ : média das observações do fornecedor I

$\mu_2$ : média das observações do fornecedor II

Para determinar se a diferença entre as médias da população é estatisticamente significativa, é comparado o p-value com o nível de significância de 0,05.

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Em geral, quanto menor for o valor-p, a evidência da amostra é mais forte para rejeitar  $H_0$ . A hipótese nula afirma que a diferença entre as avaliações para os dois fornecedores é zero. Como o valor de p é 0,079, que é maior do que o nível de significância de 0,05, é possível aceitar a hipótese nula e concluir que as avaliações das médias para os dois fornecedores não são significativamente diferentes.

### 3.2.4 Cálculo do Cpk

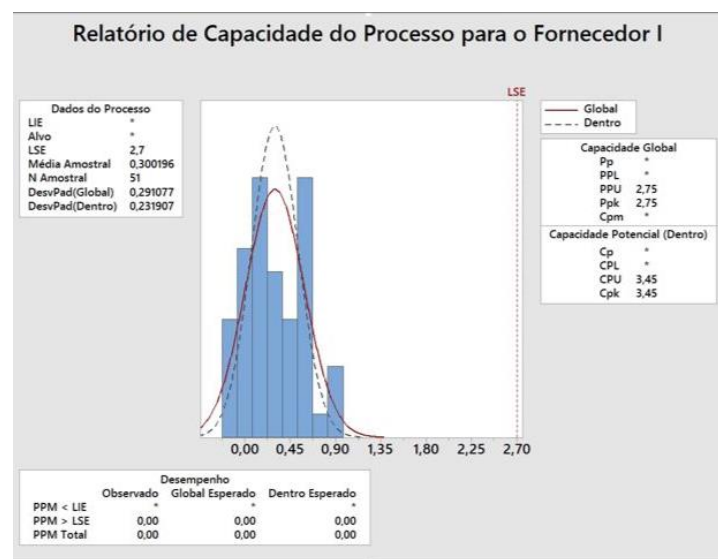
Não é possível calcular o índice Cp em processos com tolerâncias unilaterais. No entanto, o Cpk pode ser determinado através do C<sub>pk1</sub> ou C<sub>pk2</sub>, com base na premissa de normalidade dos dados. Neste estudo, foi empregado o índice C<sub>pk2</sub> como ferramenta para estimar a probabilidade de um fornecedor entregar insumos que ultrapassem o valor máximo permitido. Assume-se que índices unilaterais são adequados para avaliar a estabilidade de um processo e sua capacidade de cumprir especificações técnicas. Conforme Chen (2007), esses índices são fundamentais em análises de desempenho para especificações unilaterais.

Para esta análise, o Limite Superior de Especificação (LSE) é definido pela diferença entre o LSE estabelecido para a característica P.D.M.S. (4,00 ug/L) e o maior valor nominal encontrado entre os maltes A e B (1,30 ug/L). Essa abordagem determina o limite geral para as amostras, considerando as medidas obtidas subtraindo-se o valor nominal correspondente.

Dessa forma, foi estabelecido um parâmetro claro que indica o limite máximo permitido para as amostras, considerando a variação específica de cada lote de malte em relação ao seu valor nominal.

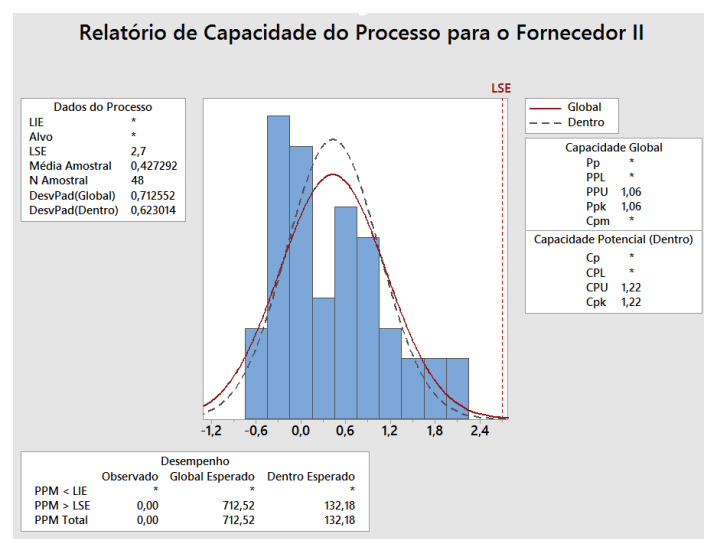
Na prática, um índice Cpk superior a 1 indica que o processo do fornecedor é considerado capaz e adequadamente ajustado para satisfazer as especificações do cliente em relação à característica em questão. Os resumos estatísticos da variável P.D.M.S. para ambos os fornecedores estão detalhados nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Resumo estatístico e Cpk para o fornecedor I



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 21 – Resumo estatístico e Cpk para o fornecedor II



Fonte: Elaborado pela autor

Além disso, processos com Cpk acima de 1 geralmente são considerados estáveis, o que coloca o fornecedor I em uma posição de consistência e previsibilidade superiores em comparação ao fornecedor II, cujo Cpk de 1,22 indica menor estabilidade e capacidade do processo. O processo do fornecedor II mostra maior dispersão que o do fornecedor I, cuja curva menos estreita aponta para uma maior probabilidade de defeitos. Devido à ausência de um limite inferior de especificação (LIC) para a característica P.D.M.S., o Cp não foi calculável, mas a análise do histograma e do desvio padrão indica que o processo do fornecedor I tem menor variação que o do fornecedor II.

O primeiro fornecedor apresenta um processo de produção de malte mais capaz e estável, com valores inferiores de PDMS e menor variação, denotando uma qualidade superior em relação ao segundo fornecedor. Portanto, com base nessa análise, o primeiro fornecedor mostra-se como a melhor opção. Essa análise sublinha a importância de o fornecedor II investigar e concentrar esforços para reduzir a variabilidade e garantir a produção de maltes dentro das especificações, enfocando em identificar as causas que podem levar seu processo a fornecer maltes com níveis acima do desejado para o P.D.M.S. A aplicação de gráficos DNOM pode ser particularmente útil neste contexto, pois permite um monitoramento mais preciso das variações do processo em relação ao valor nominal desejado. Além disso, a integração de análises estatísticas detalhadas, como a Análise de Variância (ANOVA), pode ajudar a identificar fatores específicos que contribuem para a variabilidade no processo do fornecedor II. A adoção de uma abordagem de melhoria contínua, com foco em análises detalhadas e ações corretivas, é fundamental para garantir a qualidade do produto acabado e a satisfação do cliente final.

É importante ressaltar que, de acordo com o que foi mostrado nos gráficos de controle nas figuras 16 e 17, ambos os fornecedores estão fazendo um bom trabalho em entregar maltes situados entre os limites de especificação de P.D.M.S. No entanto, vemos dois processos que não estão em controle estatístico, apesar de não produzirem lotes acima dos LSE. Embora tenham demonstrado variações, que normalmente indicariam uma certa imprevisibilidade, é notável que ambos os maltes ainda assim conseguiram atender aos requisitos estabelecidos. A falta de lotes defeituosos pode dar uma falsa sensação de segurança, já que esses processos podem produzir não conformidades a qualquer momento.

\

#### 4. CONCLUSÕES E SUGESTÃO DE PESQUISA FUTURA

A associação da qualidade assegurada dos lotes de insumos provenientes dos fornecedores com gráficos visuais representa uma ferramenta eficiente para a comunicação de informações complexas de maneira clara e acessível para todas as partes interessadas.

Um dos aspectos mais significativos do uso de gráficos DNOM na gestão de qualidade assegurada e na relação com fornecedores reside na sua capacidade de otimizar a gestão do Controle Estatístico de Processos (CEP) na empresa. A utilização desses gráficos permite a consolidação de múltiplas especificações de qualidade em um único gráfico de controle, reduzindo drasticamente a necessidade de múltiplas cartas de controle para cada combinação específica de fornecedor, característica da qualidade e especificação nominal.

Por exemplo, no contexto de uma empresa produtora de cerveja, a aplicação de gráficos DNOM possibilita o monitoramento do diâmetro de garrafas de vidro provenientes de um mesmo fornecedor em um único gráfico, independentemente de suas variações nominais específicas. Por exemplo, em vez de gerenciar um conjunto extenso de gráficos de controle, como "fornecedor A - altura da garrafa - 15 cm", "fornecedor A - altura da garrafa - 20 cm" e outros similares, pode-se consolidar toda essa informação em uma única carta de controle, como "fornecedor A – altura da garrafa". A capacidade de registrar todas as amostras pertinentes em um único gráfico DNOM não apenas reduz a complexidade operacional, mas também melhora a eficiência e a clareza na análise de dados.

Isso se traduz em uma gestão do CEP mais ágil e eficaz, permitindo respostas mais rápidas às variações de qualidade e facilitando a tomada de decisões baseadas em informações mais integradas e completas. Com o suporte de softwares avançados para CEP, como o DataLyzer Spectrum, cada ponto no gráfico pode ainda conter detalhes adicionais, como data e hora de recebimento, inspetor responsável pela medida, equipamento utilizado, número do lote do fornecedor e a especificação nominal da amostra, proporcionando uma compreensão mais profunda do processo e suas variações e representando um avanço significativo na otimização da gestão do CEP nas empresas.

Com as informações obtidas nesta pesquisa, a empresa está habilitada a monitorar a variabilidade do malte recebido em várias características fundamentais para a qualidade do produto, expandindo essas análises para outros fornecedores e produtos que são aspectos essenciais para a produção de cerveja de alta qualidade. A avaliação contínua desses parâmetros ajuda a empresa a manter um controle de qualidade rigoroso, minimizando o risco de variações indesejadas no produto final. Esses estudos fornecem uma base sólida para decisões de negócios

baseadas em dados quantitativos, em vez de suposições. Os dados coletados e analisados também fornecem uma base sólida para negociações futuras, garantindo que os fornecedores compreendam a importância de manter a consistência na qualidade do malte fornecido.

No estudo atual, um dos desafios enfrentados foi a ausência de limites de especificação duplos (superior e inferior) para calcular e comparar  $C_p$  e  $C_{pk}$ . Isso limita a compreensão da verdadeira capacidade dos processos em atender a uma gama mais ampla de especificações de produto. Em futuros estudos, abordar esses aspectos ajudaria a fornecer uma análise mais abrangente e detalhada do desempenho do processo. A inclusão de diferentes valores nominais a cada lote e a análise de produtos com ambos os limites de especificação permitiriam uma visão mais completa da capacidade do processo em atender às exigências variadas de qualidade e desempenho, essencial para uma gestão de qualidade eficaz e adaptativa baseada no conceito da aplicação de gráficos da diferença do nominal para pequenos lotes.

Embora o conjunto de dados utilizado neste exemplo tenha proporcionado a oportunidade de demonstrar claramente a utilização de gráficos de desvio do nominal (DNOM) para monitorar a qualidade dos dados provenientes de fornecedores, o tamanho reduzido do conjunto de dados pode ser visto como uma limitação ao alcance desses métodos. Um estudo mais extenso sobre como as características de qualidade evoluem ao longo do tempo nos gráficos DNOM seria benéfico, permitindo investigar padrões sazonais ou tendências de longo prazo na qualidade do produto e identificar fatores que influenciam o desempenho do fornecedor. Além disso, estudos futuros poderiam explorar métodos automatizados para a medição das dimensões da qualidade, a sensibilidade e a interpretação dos gráficos de controle.

Os princípios discutidos na pesquisa, que abordam a qualidade assegurada de fornecedores e a utilização de gráficos DNOM, são aplicáveis mesmo quando expandimos para conjuntos de dados maiores e mais complexos. Com o crescimento do volume e da diversidade de dados, a adaptabilidade e o aprimoramento dos gráficos DNOM tornam-se essenciais para monitorar eficazmente a qualidade dos produtos fornecidos. Um exemplo prático seria a aplicação de gráficos DNOM padronizados propostos por Wheeler (1991) como Z-charts ou Zed Chart, em situações nas quais as variâncias entre os lotes são significativamente distintas, aumentando a precisão na detecção de desvios da qualidade desejada. Assim, uma aplicação prática em pesquisa futura dos gráficos DNOM padronizados, demonstraria a flexibilidade e refinamento da ferramenta para o enfrentamento dos desafios de monitorar a qualidade em uma gama cada vez mais ampla e diversificada de produtos, garantindo que as decisões tomadas sejam embasadas em dados confiáveis e precisos.

## REFERÊNCIAS

AIAG. **Controle estatístico do processo (CEP):** manual de referência. 2. ed. São Paulo: IQA, 2005.

AHMED, A. A.; NAWRES Q. A. Improving the statistical process control chart by applying a DNOM chart for multiprocessor products. **IOP conference series: materials science and engineering**, United Kingdom, v. 433., 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/433/1/012068/pdf>. Acesso em: 08 set. 2023.

BARROS, E.; BONAFINI, F. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2015. *E-book*.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade:** conceitos e técnicas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010. *E-book*.

CASTELLO, J.; CASTRO, R.; MARIMON, F. Use of quality tools and techniques and their integration into ISO 9001: a wind power supply chain case. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 37, n. 1, p. 68-89. 2020. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJQRM-07-2018-0171/full/html>. Acesso em: 10 set. 2023.

CAULCUTT, R. Responding to process changes. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 12, p. 55-62, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1638\(199601\)12:1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1638(199601)12:1). Acesso em: 08 out. 2023.

CHEN, K. S.; HUANG, H. L.; HUANG, C. T. Control charts for one-side capability indices. **Quality & Quantity**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 413-427, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9013-y>. Acesso em: 06 out. 2023.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Grupo GEN, 2005. *E-book*.

DEMING, W. E. **Out of crisis**. Cambridge, MA: Center for Advanced Engineering Study, Massachusetts Institute of Technology, 1986. *E-book*.

GARVIN, D. A. Competing on the eight dimensions of quality. **Harvard Business Review**. November, 1987. Disponível em: <https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality>. Acesso em: 08 set. 2021.

GOUVEIA, M. A. C. **Controle estatístico da qualidade**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. *E-book*.

KONRATH, A. C. **Influência do processo de medição no controle estatístico de processos**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91625>. Acesso em: 13 out. 2023.



KHOO B. C. M. *et al.* Short runs multivariate control chart for process dispersion. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, v. 12, p. 127-147, Singapore, 2005. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218539305001732>. Acesso em: 10 set. 2023.

MACHADO, J. F. **Método estatístico: gestão da qualidade para melhoria contínua**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. *E-book*.

MARTINS, M. M. **Qualidade de vida e capacidade para o trabalho dos profissionais em enfermagem no trabalho em turnos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Área de Ergonomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: [https://nucidh.ufsc.br/files/2011/09/dissertacao\\_marilu.pdf](https://nucidh.ufsc.br/files/2011/09/dissertacao_marilu.pdf). Acesso em: 13 out. 2023.

MEIRA, R. M. M. **Análise do desempenho do gráfico de controle do desvio do nominal em pequenos lotes de produção**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/14727>. Acesso em: 02 maio 2023.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. New York: John Wiley and Sons, 1985.

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

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

PALADINI, E. P. **Gestão e avaliação da qualidade: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Grupo GEN, 2019. *E-book*.

PEZZATTO, A. T. *et al.* **Sistema de controle da qualidade**. São Paulo: Grupo A, 2018. *E-book*.

POSSATO, D. S. V. **Discussão da utilização do controle estatístico de processo: análise bibliométrica e estudo de caso em uma empresa do setor alimentício**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Blucher, 2000. *E-book*.

RAMOS, E. M. L. S.; ALMEIDA, S. S.; ARAÚJO, A. R. **Controle estatístico da qualidade**. São Paulo: Grupo A, 2012. *E-book*.

RIBEIRO, J. L. S.; CATEN, C. S. C. 172p. **Série monográfica qualidade: Controle estatístico do processo**. 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. ISBN 85-88085-10-0. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. III.

Título. IV. Série CDU519.2, Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012. Disponível em: [https://www.academia.edu/36689102/Série\\_monográfica\\_Qualidade\\_Control\\_Estatístico\\_do\\_Processo](https://www.academia.edu/36689102/Série_monográfica_Qualidade_Control_Estatístico_do_Processo). Acesso em: 04 abr. 2023.

ROBINSON, T.; AUDIBERT, R.; ZENDA, W. Statistical process control ± it's a tool not a cult. **Manufacturing Engineering**. v. 24, p. 104-107, Liverpool, 2000. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/295532000\\_Statistical\\_process\\_control\\_it's\\_a\\_tool\\_not\\_a\\_cult](https://www.researchgate.net/publication/295532000_Statistical_process_control_it's_a_tool_not_a_cult). Acesso em: 08 maio 2023.

SALES, L. O. F. **Gráficos de controle para o monitoramento de dados simétricos e log-simétricos**. 2020. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Estatística) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Matemática Aplicada e Estatística. Natal, 2020.

SIQUEIRA, L.G.P. **Controle estatístico da qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1997.

SHEWHART, W. A. **Economic control quality of manufacturing product**. New York: Van Nostrand, 1931.

SONOCH, S.; KIATCHAROENPOL, T.; LAOSIRIHONGTHONG, T. **An approach to comparing measurement system analysis with process capability study for prioritizing improvement**. Bangkok, 2007. Disponível em: [http://gebrc.nccu.edu.tw/proceedings/APDSI/2007/papers/Final\\_144.pdf](http://gebrc.nccu.edu.tw/proceedings/APDSI/2007/papers/Final_144.pdf). Acesso em: 14 ago. 2023.

SORIANO, F. R. **Análise da aplicação do controle estatístico de processo segundo as percepções dos usuários do setor de autopeças**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

SOWER, V. E.; MOTWANI, J. G.; SAVOIE, M. J. The use of delta charts in short run statistical process control. **ASQC Quality Congress Transactions**, 1994. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/239429891\\_b\\_Charts\\_for\\_Short\\_Run\\_Statistical\\_Process\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/239429891_b_Charts_for_Short_Run_Statistical_Process_Control). Acesso em: 10 abr. 2023.

TARÍ, J. J.; SABATER, V. Quality tools and techniques: are they necessary for quality management?. **International Journal of Production Economics**. v. 91. 3rd ed. p. 267-280. Munich, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527303003268?via%3Dihub>. Acesso em: 08 set. 2021.

OAKLAND, J. S. **Total quality management: text with cases**. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.

OLIVEIRA, D. **Sistemas, organizações e métodos: uma abordagem gerencial**. 21. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ORSATTO, F. *et al.* **Shewhart's control charts and process capability ratio applied to a sewage treatment station**. Scientific Papers. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/XNkRxCfZYTpT56M4CghmYRD/?lang=en>. Acesso em: 15 dez. 2023.

VASCONCELOS, A. P. **Estudo do gráfico de controle por grupos como uma alternativa ao modelo de Shewhart em processos paralelos**. Dissertação (Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará) – Programa de Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional, Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza, 2009.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. São Paulo: Grupo GEN, 2014. *E-book*.

WACHS, S. **How do I implement SPC for short production runs**. Michigan: Integral Concepts, Inc, USA, 2009. Disponível em: <https://www.integral-concepts.com/wp-content/media/How-do-I-Implement-SPC-for-Short-Production-Runs-Part-I.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.

WALPOLE, R. E. *et al.* **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008. *E-book*.

WHEELER, D. J. **Short run SPC**. 3rd ed., Knoxville: SPC Press, Inc., 1991.