



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Monitoramento do Volume de envase de Aditivo Radiador Pronto Uso, usando cartas de controle $\bar{X}$ e R

Naftal Zecas Viegas

(UTFPR) naftalzecas@alunos.utfpr.edu.br

Flavio Trojan

(UTFPR) trojan@utfpr.edu.br

João Luiz Kovalski

(UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Dupleix Vital

UTFPR) plexous@gmail.com

Salvador Carlos Grande

(UNIZAMBEZE) salvador.grande@uzambeze.ac.mz

Resumo: O objetivo do artigo é usar as cartas de controle da média ($\bar{X}$) e da amplitude (R) construída no *Minitab 19*, para fazer o monitoramento do volume de envase do Aditivo Radiador pronto uso nos bicos 1 e 12 da máquina envasadora Dipec linear automática gravimétrica (D.E.L.A.1500g) na indústria Chesiquímica Ltda., para avaliar se o processo se encontra estatisticamente sob controle. Foi feita, uma revisão abrangente da literatura sobre o tema. O artigo explora a resolução de um problema real enfrentado pela empresa, que consistia na variação de volume de enchimento ao longo do envase nos bicos da envasadora. Os resultados permitiram identificar a existência de causas especiais no bico 12, causadas por má regulação das válvulas e dos calços no bico, além do excesso de ajustes durante a mudança de envase para produtos diferentes de 1 litro.

Palavras-chave: Cartas de controle de $\bar{X}$ e R , Monitoramento, Aditivo Radiador.

Monitoring the Filling Volume of Ready-to-Use Radiator Additive using $\bar{X}$ and R control charts

Abstract: The aim of this article is to use the mean ($\bar{X}$) and range (R) control charts built in Minitab 19 to monitor the filling volume of ready-to-use Radiator Additive in nozzles 1 and 12 of the Dipec linear automatic gravimetric filling machine (D.E.L.A.1500g) in the Chesiquímica Ltda. industry, to assess whether the process is statistically under control. A comprehensive review of the literature on the subject was carried out. The article explores the resolution of a real problem faced by the company, which consisted of filling volume variation throughout the filling process in the filling machine nozzles. The results made it possible to identify the existence of special causes in nozzle 12, caused by poor adjustment of the valves and shims in the nozzle, as well as excessive adjustments during the filling changeover for products other than 1 liter.

Keywords: control charts, statistical process control, and $\bar{X}$ e R charts.

1. Introdução

Para obter vantagens competitivas as empresas monitoram seus processos e obtêm qualidade no desenvolvimento de seus produtos (MONTGOMERY, 2016). O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta disponível usada para avaliar a qualidade e o controle de processos na indústria de transformação, que geralmente precisa atender a determinadas métricas (BATISTA; GONÇALVES; FONTANA, 2022).

Para alcançar essa precisão no processo de envase, as cartas de controle da média ($\bar{X}$) e da amplitude (R) são ferramentas estatísticas amplamente utilizadas. Elas permitem o monitoramento contínuo do processo de envase, identificando variações que possam ocorrer ao longo do tempo, como também otimiza o processo de produção, reduzindo desperdícios. Ao identificar rapidamente qualquer anomalia, a empresa pode tomar ações corretivas imediatas, garantindo que o produto esteja dentro dos limites especificados (COSTA *et al.*, 2023).

O problema abordado neste artigo está relacionado à inconsistência no volume de envase do Aditivo Radiador Pronto Uso na linha de produção da envasadora D.E.L.A.1500g. Especificamente, foi observado que os frascos envasados pelos bicos 1 e 12 não atingiam o volume de 1 litro, o que compromete a qualidade do produto e pode levar a insatisfação dos clientes, além de possíveis repercussões legais e financeiras para a empresa. Portanto, o objetivo do artigo é aplicar cartas de $\bar{X}$ e R e monitorar o volume de envasado nos bicos 1 e 12 da D.E.L.A. 1500g.

O artigo compreende em cinco parte/seções, a introdução, onde é feita a contextualização do tema geral, com uma breve descrição do problema que se pretende resolver. Além disso, são apresentados os objetivos principais da pesquisa, destacando sua relevância e justificativa. A segunda seção descreve os métodos adotados para conduzir o estudo, coleta e análise de dados, com ênfase na aplicação das cartas de controle $\bar{X}$ e R para o monitoramento do processo de envase. Na terceira seção, é apresentada o referencial teórico, e teorias fundamentais que sustentam a pesquisa. Nesta quarta seção, são apresentados os resultados e discussão, que é centrada na análise das variações detectadas no processo de envase, relacionando-as com o problema inicialmente proposto. A última seção resume as principais descobertas do estudo, destacando as contribuições da pesquisa para a prática industrial.

2. Metodologia

2.1. Coleta de dados

O Conjunto de dados foi coletado na Chesiquimica Ltda, uma empresa industrial localizada em Ponta Grossa – PG, fundada em agosto de 1997, a Chesiquimica é uma empresa experiente no desenvolvimento e comercialização de produtos e serviços para as indústrias de construção civil, higiene, limpeza e sanitização, além de atender a mercados institucionais, industriais e de revenda.

O objetivo do controle de qualidade de uma empresa é acompanhar e ajudar durante todo o processo de fabricação, mantendo um padrão e garantindo que os produtos finais sejam de qualidade para o consumidor.

O processo de envase do Aditivo Radiador Pronto Uso na empresa ocorre em uma área de acesso controlado, onde são rigorosamente inspecionadas características como volume e condições de higiene. Os lotes de embalagens são rotulados, codificados e numerados, e após a produção, as garrafas são embaladas e armazenadas. O volume de envase em frascos de 1 litro de polietileno de alta densidade (HDPE) é a variável de interesse neste estudo. A máquina envasadora automática linear gravimétrica Dipev (D.E.L.A.1500g), produzida pelo DIPEV, desempenha um papel importante no processo. A envasadora tem

doze (12) bicos injetores independentes e seu principio de funcionamento é por vácuo, isso para remoção do ar antes de enchimento por bombas.

Figura 1 – Exemplo de figura



Fonte: Autores (2024)

Foram coletadas neste trabalho, Amostras de volumes de envase do Aditivo nos bicos 1 e 12, para facilitar o processo de coleta e análise. Foi realizada a coleta de amostras para determinar os parâmetros média, amplitude e os limites de controle de controle para as cartas de $\bar{X}$ e R. Planejar o número de amostras m , o tamanho n e o intervalo entre cada amostra t são etapas explicadas por Montgomery (2016). Um total de vinte amostras ($m = 20$) de tamanho ($n = 5$) foram coletadas com intervalos de $t = 10$ minutos entre cada. As medições da confirmação do volume de cada amostra foram realizadas por meio de uma proveta e que foi registrada na Tabelas 1.

Tabela 1 – Medidas de volume de envase de Aditivo Radiador nos bicos 1 e 12 em ml.

<i>n</i>										
<i>m</i>	<i>Bico 1</i>					<i>Bico 12</i>				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	1020	1000	1020	1000	995	1020	1000	1020	1000	995
2	995	1005	1000	1000	995	995	1005	1000	1000	995
3	1010	1010	1010	1025	1005	1010	1010	1010	1025	1005
4	995	1005	995	1010	995	995	1005	995	1010	995
5	1000	1020	1010	1005	1005	1000	1020	1010	1005	1005
6	1010	1000	1000	1000	1010	1010	1000	1000	1000	1010
7	1005	1010	1010	1020	1010	1005	1010	1010	1020	1010
8	1000	1005	1005	1000	1010	1000	1005	1005	1000	1010
9	1000	1015	1010	1010	1010	1000	1015	1010	1010	1010
10	990	1000	1010	1010	1000	990	1000	1010	1010	1000
11	1005	1005	1000	1010	1010	1005	1005	1000	1010	1010
12	1010	1020	1005	1010	1020	1010	1020	1005	1010	1020
13	1005	1000	1010	1005	1010	1005	1000	1010	1005	1010
14	1010	1010	1020	1010	1000	1010	1010	1020	1010	1000
15	1005	1000	1010	1005	1010	1005	1000	1010	1005	1010
16	995	1005	1010	990	995	995	1005	1010	990	995
17	1010	1010	1000	1010	1000	1010	1010	1000	1010	1000
18	1000	1005	1000	1010	990	1000	1005	1000	1010	990
19	1000	1005	1005	1005	1005	1000	1005	1005	1005	1005
20	1020	1010	1010	1010	1020	1020	1010	1010	1010	1020

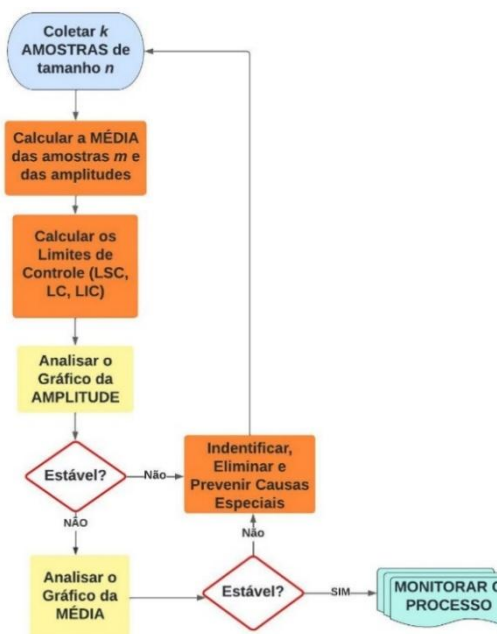
Fonte: Autores (2024)

2.2. Determinação dos gráficos ou cartas de controle

As cartas de controle de $(\bar{X})$ e (R) são sugeridos para fazer o monitoramento da média e da variabilidade de um processo contínuo (MONTGOMERY, 2016).

Para monitorar a variável de estudo, uma amostra de tamanho n é coletada e analisada a cada intervalo de tempo t , onde é determinada a média $\bar{X}$ e $\bar{R}$ das amostragens m , e com a equação (5), (6), (7), (8), (9) e (10) são determinados os limites de controle e seguidamente analisados em função ao resultado do gráfico, e as etapas são descritas pelo fluxograma 1.

Figura 2 – Fluxograma de processo



Fonte: Autores (2024)

3. Referencial Teórico

3.1. Controle estatístico de processo (CEP)

O CEP é uma ferramenta útil para avaliar a estabilidade de um processo e aumentar a capacidade reduzindo a variabilidade. É Através de cartas de controle que permitem a identificação de causas de variação comuns e especiais dentro do processo (MONTGOMERY, 2016; VIHAROS; JAKAB, 2021).

Abrão e Cardoso (2020) e Costa *et al.* (2023) afirmam que CEP ajuda a controlar a qualidade das etapas de um processo, especialmente em processos repetitivos, baseado em ideias e técnicas de engenharia de produção e estatística. Em outras palavras, é uma abordagem preventiva que utiliza técnicas estatísticas para comparar os resultados com um padrão existente e eliminar ou controlar variações específicas (SMANIOTTO; ROSA; BEMVENUTI, 2020). O objetivo do CEP é garantir o controle e a melhoria contínua dos processos de produção. Para realizar o controle da qualidade de um processo produtivo, são necessárias as seguintes ações (BARBOSA; PANAINO, 2021; COSTA *et al.*, 2023):

- Definir um padrão para o produto e padronizar o processo;
- Inspecionar por meio de medição o que foi produzido e compará-lo com o padrão;
- Diagnosticar as não conformidade;
- Identificar as causas das não conformidades;
- Implementar medidas corretivas as causas.

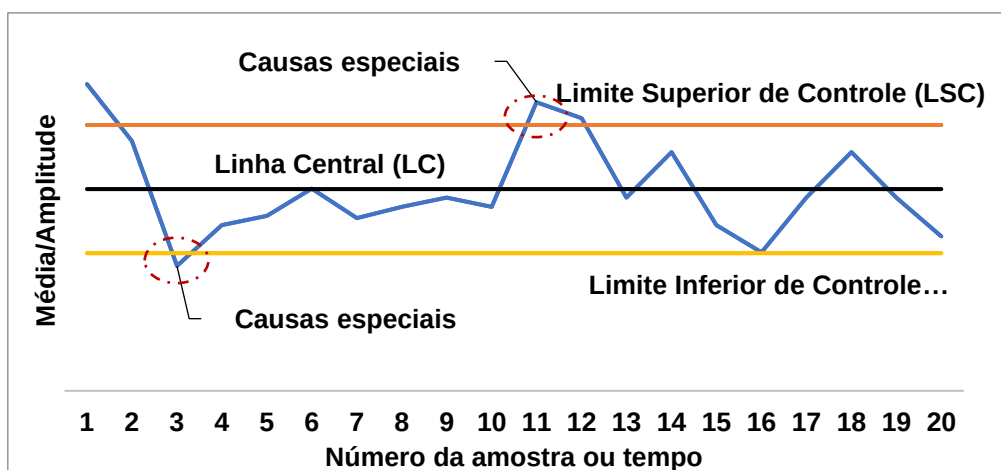
3.2. Gráficos ou cartas de Controle

As cartas de controle foram desenvolvidas na década de 1920, por Walter Shewhart (1891-1967), conhecido como o pai do controle estatístico de processos. No CEP, as cartas de controle são uma ferramenta muito usada, embora não seja a mais importante. Elas são usadas para registrar as medições das variáveis de interesse em pontos distintos ao longo do tempo, permitindo que os dados coletados identifiquem desvios significativos do processo (FERREIRA DE FRANÇA; JOSÉ DETONI, 2022; OLIVEIRA; MIRANDA; SAMPAIO, 2024).

Para Abrão e Cardoso (2020), esses gráficos são projetados para ver se o processo está ou não sob controle. Se uma causa específica for identificada, uma correção direta ou sua compensação com outras variáveis é implementada. Com esta ferramenta é determinando estatisticamente duas faixas para limites de controle, sendo Limite Inferior de Controle (LIC) e Limite Superior de Controle (LSC) (BARBOSA; PANAINO, 2021).

Segundo Montgomery (2016) e Fonseca *et al* (2020), o LIC é traçada abaixo da linha central (LC), indica o limite inferior aceitável de variação aleatória no processo dentro da zona de controle. A LC divide o gráfico de controle em duas regiões, representando a média das observações e LSC, traçada por cima da LC e representa o limite máximo aceitável de variação do processo.

Figura 3 – Processo instável: Fora do controle



Fonte: Autores (2024)

3.2.1. Causas Comuns

Como afirmado por Smaniotto *et al.* (2020). As causas comuns, conhecidas também por variações aleatórias ou naturais, são as fontes de variação inerentes ao processo. Elas normalmente surgem como resultado das complexidades de um processo, como à variação da matéria prima, condições ambientais e outros fatores. Em qualquer processo, existem as causas comuns e são consideradas normais. Elas fornecem pontos de dados que se encontram dentro dos limites de controle (LIC e LSC), e são mostrados em um gráfico, que indicam que o processo está sob controle (RODRIGUES *et al.*, 2021).

3.2.2. Causas Especiais

As causas especiais são as causas de variação que não são comuns e podem ser identificadas e corrigidas. Eles também são conhecidos como causas atribuíveis ou ainda por variações não-aleatórias (SMANIOTTO; ROSA; BEMVENUTI, 2020). Geralmente ocorrem como resultado de eventos específicos, problemas técnicos, falhas de máquinas,

erro de operador ou mesmo negligência, matérias-primas defeituosas ou fora de especificação e máquinas desajustadas (AMANCIO; ALFINETO; MACHADO, 2018). Quando há presença de causas especiais os pontos de dados ocorrem fora dos limites de controle, assim chamado processo fora de controle (BALDASSO; PIMENTA; FERREIRA, 2020). Quando as causas específicas são identificadas num processo, é necessário investigar a causa e eliminar, para que o processo esteja sob controle (BARBOSA; PANAINO, 2021).

3.3. Gráficos de Controle para $\bar{X}$ e R

Quando lidamos com característica de qualidade expressa em medida (comprimento, peso, resistência, volume, etc.), observar tanto o valor médio das características de qualidade quanto sua variabilidade é comum, e normalmente são usadas cartas de controle para variáveis (MONTGOMERY, 2016; KELLER *et al.*, 2020). O gráfico de controle para médias, também conhecido como gráfico X, exerce controle sobre a média, enquanto a variabilidade do processo pode ser controlada pelo gráfico de amplitude R ou pelo gráfico de desvio padrão (S).

Conforme Costa *et al.* (2023), os gráficos de $(\bar{X})$ e (R) são complementares e devem ser usados juntos. O gráfico $\bar{X}$ mostra a variabilidade de um processo, bem como as mudanças que ocorreram nele. A análise da dispersão do processo que resulta na variabilidade é identificada pelo gráfico de R.

3.3.1. Etapas para construção de gráficos/cartas de controle de $\bar{X}$ e R

Para a construção dos gráficos, foram adotadas etapas sugeridas por (MONTGOMERY, 2016; SHAFQAT; HUANG; ASLAM, 2021):

Etapa 1: Coleta de dados conforme as técnicas descritas por Montgomery (2016).

Etapa 2: Cálculo das médias $\bar{x}$ para cada amostra n , pela equação 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Etapa 3: Cálculo da média $\bar{\bar{X}}$ das amostras m , pela equação 2:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{x}_i}{m} \quad (2)$$

Etapa 4: Verificar o comportamento dos dados pelo teste de normalidade de Anderson-Darling e de Kolmogorov-Smirnov.

Etapa 5: Cálculo das amplitudes de cada uma das amostras, equação 3.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3)$$

Etapa 6: Cálculo da média das amplitudes, pela equação 4.

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{m} \quad (4)$$

Etapa 7: Cálculo dos limites de controle para o gráfico $\bar{X}$

$$\text{Limite superior de controle: } LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (5)$$

$$\text{Limite central: } LC = \bar{\bar{X}} \quad (6)$$

$$\text{Limite inferior de controle: } LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (7)$$

Etapa 8: Cálculo dos limites de controle para o gráfico R

$$\text{Limite superior de controle: } LSC = D_4 \bar{R} \quad (8)$$

$$\text{Limite central: } LC = \bar{R} \quad (9)$$

$$\text{Limites inferior de controle: } LIC = D_3 \bar{R} \quad (10)$$

Etapa 9: Mostrar no gráfico todos os pontos de $\bar{X}$ e R de cada sub grupo.

Etapa 10: Fazer a análise retrospectiva dos gráficos, e tomar a decisão.

Se $\bar{X} \geq LSC$ ou $\bar{X} \leq LIC$ se declara processo fora de controle, e neste caso se recomenda a voltar a etapa 1, e se declara processo está sob controle se $LIC \leq \bar{X} \leq LSC$ (ETGAR; FREUND, 2023).

Onde:

R é a amplitude dos subgrupos;

$\bar{R}$ é a média das amplitudes;

x_i é o i -ésimo valor presente no subgrupo

$\bar{x}$ é a média do subgrupo n ;

$\bar{\bar{X}}$ é a média das amostragens m ;

n é o tamanho da amostra;

m é a quantidade de subgrupos (amostras);

A_2 , D_3 e D_4 são constantes cujos valores são tabelados, apresentadas no Anexo 1.

4. Resultados e Discussões

Com as equações (1), (2), (3) e (4), preencheu-se a tabela 2.

Tabela 2 – Medidas de volume de envase de Aditivo Radiador nos bicos 1 e 12 em ml.

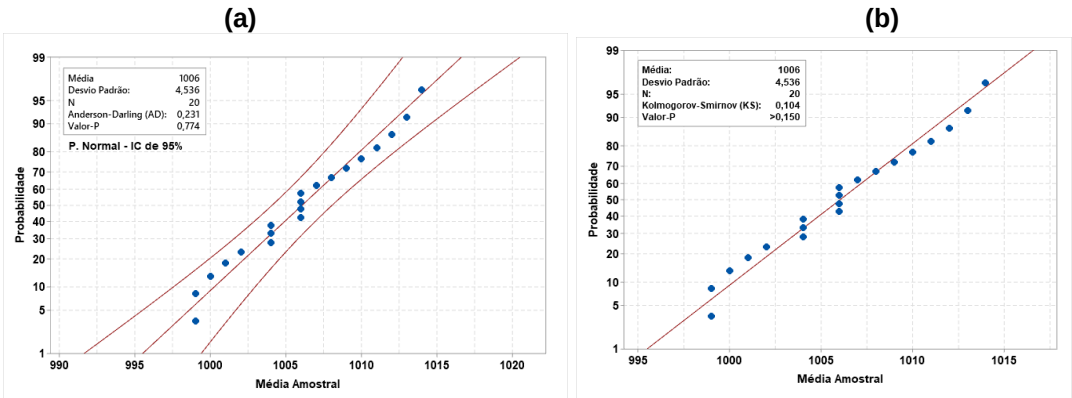
Bico 1								Bico 12						
m	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\bar{x}$	R
1	1020	1000	1020	1000	995	1007	25	1000	1000	1000	1010	995	1001	15
2	995	1005	1000	1000	995	999	10	1005	1005	1005	1000	995	1002	10
3	1010	1010	1010	1025	1005	1012	20	1020	1015	990	1010	1005	1008	30
4	995	1005	995	1010	995	1000	15	990	990	990	1005	990	993	15
5	1000	1020	1010	1005	1005	1008	20	1010	1000	1010	1000	990	1002	20
6	1010	1000	1000	1000	1010	1004	10	1000	1010	1005	1010	995	1004	15
7	1005	1010	1010	1020	1010	1011	15	1005	1010	1010	1000	1010	1007	10
8	1000	1005	1005	1000	1010	1004	10	990	1010	1005	995	1015	1003	25
9	1000	1015	1010	1010	1010	1009	15	1000	1005	1010	995	1015	1005	20
10	990	1000	1010	1010	1000	1002	20	995	995	1010	1010	1010	1004	15
11	1005	1005	1000	1010	1010	1006	10	1010	1010	990	1010	1015	1007	25
12	1010	1020	1005	1010	1020	1013	15	1000	1000	1000	995	1000	999	5
13	1005	1000	1010	1005	1010	1006	10	1015	1005	1005	1000	1000	1005	15
14	1010	1010	1020	1010	1000	1010	20	1010	1010	1000	1010	1000	1006	10
15	1005	1000	1010	1005	1010	1006	10	1000	1000	995	1005	1015	1003	20
16	995	1005	1010	990	995	999	20	1000	1010	1010	1010	995	1005	15
17	1010	1010	1000	1010	1000	1006	10	1000	1005	1005	1000	1000	1002	5

18	1000	1005	1000	1010	990	1001	20	1000	1005	1000	995	1000	1000	10
19	1000	1005	1005	1005	1005	1004	5	1000	1000	1010	1000	1020	1006	20
20	1020	1010	1010	1010	1020	1014	10	1010	1000	1010	1000	1000	1004	10
$\bar{X}$							$\bar{R}$	$\bar{X}$						
= 1006,05							= 14,5	= 1003,3						
								= 15,5						

Fonte: Autores (2024)

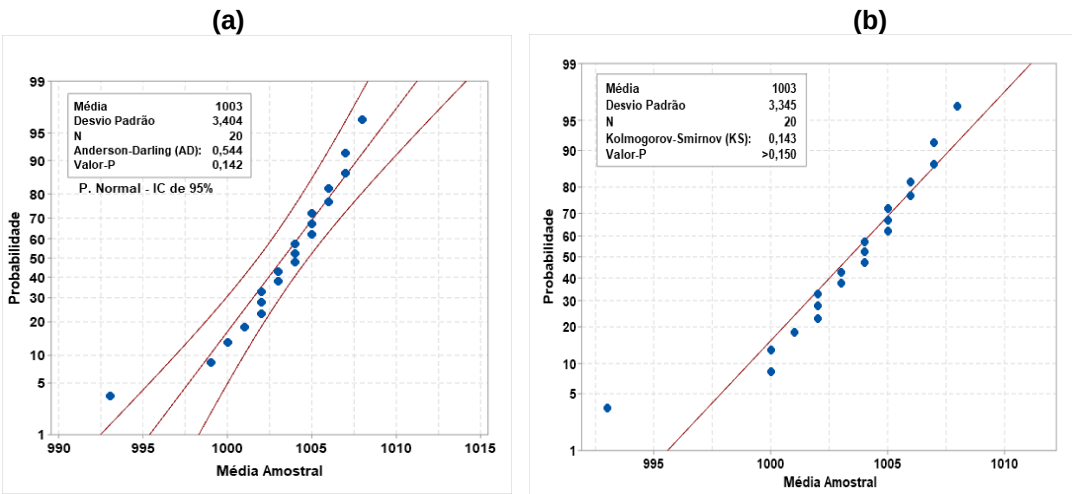
Antes de construção dos graficos de controle, é foi realizado o teste estatístico de Anderson-Darling (AD), se o valor-p for maior que o nível de significância (0,05), não se rejeita a hipótese nula, Como o valor-p é 0,774, que é maior que 0,05, conforme mostrado na Figura 3 (a), e valor-p 0,140 é maior que 0,05, apresentado na Figura 4 (a), conclui-se que os dados apresentam uma distribuição normal. Também foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), se o valor-p for maior que o nível de significância, não se rejeita a hipótese nula, Como pode- se verificar nas Figuras 3 (b) e 4(b), o valor-p é igual a 0,150, que é maior que 0,05, isso indica que os dados apresentam distribuição normal.

Figura 3 – Gráfico teste de probabilidade normal de AD (a) e de normalidade KS (b), para o Bico 1.



Fonte: Autores (2024)

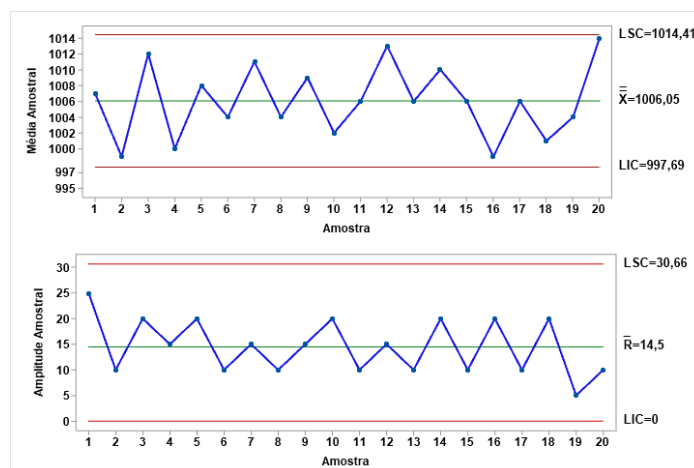
Figura 4 - Gráfico teste de probabilidade normal de AD (a) e de normalidade KS (b), para o Bico 12.



Fonte: Autores (2024)

Foram construídos as cartas de controle de $\bar{X}$ e R, com recurso ao *software* Minitab 19 conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. A média global foi estimada em 1006,05 para o bico 1 e 1003,3 para o bico 12. Quanto às amplitudes, os valores foram de 14,5 para o bico 1 e 15,5 para o bico 12, respectivamente.

Figura 5: Gráficos de controle de $\bar{X}$ e R para o volume de envase de Aditivo para bico 1.

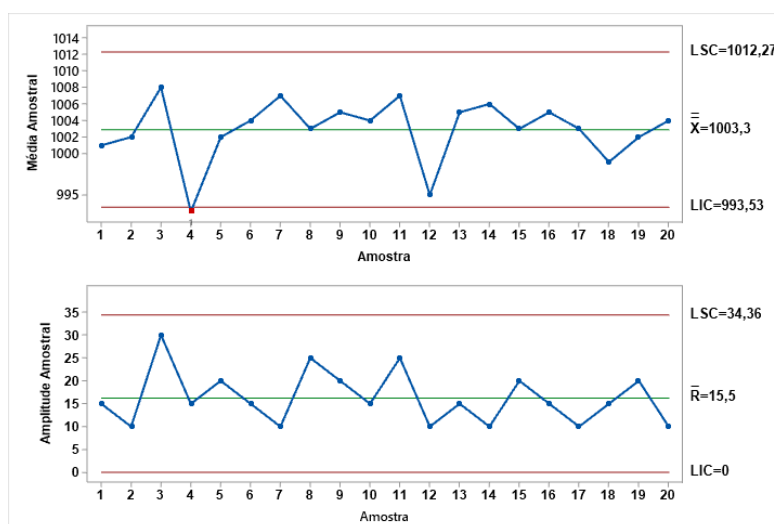


Fonte: Autores (2024)

Analisando o gráfico de controle na figura 5, é possível verificar que todos os pontos na carta $\bar{X}$ e na R estão dentro dos limites de controle (superior e inferior), isso sugere que o processo está sob controle estatístico, isto é o volume de envase do aditivo ocorre com uma variabilidade natural, ou dentro do que é esperado. Não há necessidade de ajustar o processo porque ele funciona normalmente e não mostra sinais de variação.

O ponto da amostra 4 na Figura 6 está fora do limite de controle, mostrando a existência de causas especiais, que podem ter sido afetadas por um fator especial que resultou em uma variação anormal. A queda abaixo do limite inferior de controle pode indicar um problema como falha no equipamento, erro humano ou má regulagem do equipamento. No caso de estar abaixo do limite inferior de controle, isso pode indicar um problema como: Falha no equipamento, Erro humano, Matéria-prima de baixa qualidade e má regulagem dos equipamentos.

Figura 6 - Gráficos de controle de $\bar{X}$ e R para o volume de envase de Aditivo para bico 12.



Fonte: Autores (2024).

Após investigação, constatou-se que a observação da amostra 4 foi influenciada por causas especiais, a má regulagem da válvula e do calço do bico 12 da envasadora, excessivos ajustes decorrentes da troca do granel, e a troca de operadores.

5. Conclusões

O artigo discute o monitoramento do volume de envase de Aditivo Radiador Pronto Uso por meio das cartas de controle $\bar{X}$ e R . O objetivo central é construir as cartas de controle de

($\bar{X}$) e (R) para supervisionar o volume de envase nos bicos 1 e 12 da máquina envasadora Dipev linear automática gravimétrica (D.E.L.A.1500g) na indústria Chesiquimica Ltda.

A metodologia empregada incluiu uma revisão sistemática, a coleta de amostras e a aplicação do software Minitab 19 para elaborar as cartas de controle. Os resultados mostraram que as cartas de controle de $\bar{X}$ e R . Para o bico 1 estavam dentro dos limites de controle estatístico, indicando estabilidade. Entretanto para o bico 12 revelou um ponto fora dos limites inferiores, concluindo que o processo se encontra fora de controle, e indicando presença de causas especiais, essa variação no bico 12 é resultado de fatores como a má regulação da válvula e do calço, ajustes excessivos devido à produção de diferentes produtos na mesma linha, e a troca de operadores.

Conclui-se que com a implementação do controle estatístico do processo levou a uma melhor compreensão da estabilidade do envase.

O estudo fornece informações importantes sobre a estabilidade do processo e identifica áreas de melhoria, além de contribuir significativamente para o aprimoramento do controle de qualidade no processo de envase. As cartas de controle ajudam as empresas a encontrar e corrigir erros no processo, garantindo um produto final mais consistente e de qualidade superior.

Referências

ABRÃO, O. J.; CARDOSO, Á. A. Utilização do controle estatístico de processo atrelado às ferramentas da qualidade no monitoramento do peso das embalagens do produto final: um estudo de caso em uma indústria química. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65241–65257, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-091>.

AMANCIO, I. R.; ALFINETO, J. J. M.; MACHADO, L. M. P. Controle estatístico no processo de envase de doce em massa: estudo de caso. **Revista Gestão Industrial**, v. 14, n. 1, 2018. DOI 10.3895/gi.v14n1.6694. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/6694>. Acesso em: 29 jul. 2024.

BALDASSO, G.; PIMENTA, R. C. D. S.; FERREIRA, E. B. Controle estatístico de processo na produção de requeijão: estudo de caso em um laticínio no sul de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 75, n. 3, p. 156–167, 2020. <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v75i3.802>.

BARBOSA, R.; PANAINO, R. C. Aplicação do controle estatístico de processo para a definição de limites de controle e estudo da capacidade na fabricação de não tecidos. In: ENEGEP 2021 - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021. Online: [s. n.], 2021. DOI 10.14488/ENEPEP2021_TN_STO_357_1842_42347. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2021&c=42347>. Acesso em: 29 jul. 2024.

BATISTA, J. E. S. M.; GONÇALVES, E. W. S.; FONTANA, E. M. Controle estatístico do processo para avaliar problemas no setor produtivo de uma indústria de alimentos. In: IX SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - SIMEP 2021, 2022. Pernambuco: [s. n.], 2022. DOI 10.29327/9simep.340646. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/9simep/340646>. Acesso em: 29 jul. 2024.

COSTA, C. E. S. D.; SANTO, E. D. D. E.; ROCHA, L. A.; ORTIN, S. M. A. Aplicação das ferramentas de qualidade - controle estatísticos de processos e diagrama de ishikawa na determinação da qualidade de um processo produtivo de limão. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 5, p. 1794–1819, 2023. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.9916>.

ETGAR, R.; FREUND, S. Setting process control chart limits for rounded-off measurements. **Heliyon**, v. 9, n. 3, p. e13655, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13655>.

FERREIRA DE FRANÇA, W.; JOSÉ DETONI, D. Controle estatístico de processo aplicado na linha produtiva IQF em um abatedouro de aves na região Oeste do Paraná. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 12, p. e3122316, 2022. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i12.2316>.

FONSECA, L. P.; SANTOS, A. C. D. S. G. D.; FERREIRA, L. A. F.; REIS, A. D. C.; PIZETTA, L. M. Aplicação integrada do controle estatístico de processo e engenharia de métodos em uma indústria alimentícia. **Exacta**, v. 18, n. 1, p. 244–268, 2020. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n1.10566>.

KELLER, D. S.; REIF DE PAULA, T.; YU, G.; ZHANG, H.; AL-MAZROU, A.; KIRAN, R. P. Statistical Process Control (SPC) to drive improvement in length of stay after colorectal surgery. **The American Journal of Surgery**, v. 219, n. 6, p. 1006–1011, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2019.08.029>.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 7. ed. Arizona, EUA: John Wiley & Sons, 2016.

OLIVEIRA, A. P.; MIRANDA, I. L.; SAMPAIO, N. A. D. S. Aplicação da carta de controle I-AM para estudo do monitoramento de um determinado tipo de detergente. **Revista SODEBRAS**, v. 19, n. 221, 2024. DOI 10.29367/hjgbx733. Disponível em: <https://revista.sodebras.com.br/index.php/revista/article/view/19>. Acesso em: 29 jul. 2024.

RODRIGUES, A. C.; NASCIMENTO, L. M.; TEIXEIRA, T. D. M. M.; EXLER, R. B. Controle Estatístico de Processo na XXW Burger: Um estudo sobre a variabilidade do peso do produto. In: ENEGEP 2021 - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021. Online: [s. n.], 2021. DOI 10.14488/ENEPEP2021_TN_STP_357_1842_42841. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2021&c=42841>. Acesso em: 29 jul. 2024.

SHAFQAT, A.; HUANG, Z.; ASLAM, M. Design of X-bar control chart based on Inverse Rayleigh Distribution under repetitive group sampling. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 1, p. 943–953, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.06.001>.

SMANIOTTO, G. Y.; ROSA, A. F. P.; BEMVENUTI, R. H. Estudo da estabilidade e da capacidade do processo de envase de iogurte em uma indústria de laticínios. **SINERGIA - Revista do Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis**, v. 24, n. 2, p. 37–46, 2020. <https://doi.org/10.17648/sinergia-2236-7608-v24n2-9778>.

VIHAROS, Z. J.; JAKAB, R. Reinforcement Learning for Statistical Process Control in Manufacturing. **Measurement**, v. 182, p. 109616, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109616>.

ANEXO 1: Fatores ou constantes para a construção de cartas de controle.

Observations in Sample, n	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits				
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

Fonte: (MONTGOMERY, 2016)