



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## ESTUDO DA GRAMATURA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS USANDO FERRAMENTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

**João Victor Neves Fernandes**

Aluno - UTFPR

**Jeferson Waldstain Diniz**

Aluno - UTFPR

**Yasmin Figueiredo Ramos**

Aluna - UTFPR

**Rafael Henrique Palma Lima**

Professor - UTFPR

**Resumo:** Embalagens plásticas estão presentes no cotidiano de praticamente toda a população mundial, sendo encontradas em diversos tipos de produtos, desde alimentos até itens hospitalares. Dentro do processo de fabricação dessas embalagens uma variável que possui grande impacto na qualidade do produto é a gramatura ( $g/m^2$ ), sendo necessário que se obtenha um controle do processo para padronização desta, dentro das especificações desejadas. Neste cenário, este estudo tem como objetivo analisar o processo de fabricação de uma empresa de embalagens flexíveis, na linha direcionada para a indústria de café, aplicando ferramentas de controle estatístico da qualidade, tais como, carta de controle e índices de capacidade e desempenho do processo.

**Palavras-chave:** Gramatura, Capacidade, Desempenho, Carta de controle, Gráfico X-MR.

## STUDY OF THE GRAMMAGE OF FLEXIBLE PACKAGING USING STATISTICAL QUALITY CONTROL TOOLS

**Abstract:** The plastic packaging is present in the daily lives of practically the entire world, being found in various types of products, from food to hospital items. Within the manufacturing process of these packages, a variable that has a great impact on product quality is the grammage ( $g/m^2$ ), and it is necessary to obtain a process control to standardize it, within the desired specifications. Thus, this study aims to analyze the manufacturing process of a flexible packaging company, in line with the coffee industry, applying statistical quality control tools, such as control chart and capability and performance indices.

**Keywords:** Grammage, Capability, Performance, Control Chart, X-MR Chart.

### 1. Introdução

Produzir de forma adequada é um fator que deve ser gerenciado e controlado durante todo o processo produtivo a fim de evitar gastos desnecessários, desperdícios de tempo e insumos, reduzindo atrasos e ampliando os benefícios em toda cadeia, inclusive à

sociedade, além de agregar valor e atender as necessidades do consumidor, esse valor está diretamente associado a qualidade.

De acordo com Deming (1993), “Qualidade é tudo aquilo que melhora o produto do ponto de vista do cliente. Somente o cliente é capaz de definir a qualidade de um produto. O conceito de qualidade muda de significado na mesma proporção em que as necessidades dos clientes evoluem”. Um serviço ou produto de qualidade, segundo Campos (2014), é o que atende plenamente, de maneira confiável, segura e no prazo certo as especificações e necessidades dos clientes.

Neste sentido, o acompanhamento contínuo, o monitoramento de todas as etapas em andamento com objetivo de certificar-se que tudo está conforme planejado e esperado é essencial para garantir que as expectativas dos clientes sejam atendidas, deste modo, em caso de ocorrência de fatos inesperados, permite que as decisões para ajustamento ou contorno das situações sejam tomadas de maneira mais rápidas.

Segundo Ribeiro e Caten (2012), o controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística que possibilita a redução da variabilidade da qualidade, promovendo a melhoria em vários aspectos importantes como a qualidade inerente, a produtividade, a confiabilidade nos processos e os custos envolvidos na produção.

As cartas de controle são ferramentas de apoio as decisões relacionadas ao controle de qualidade e os índices de capacidade,  $C_p$  e  $C_{pk}$ , indicam e estimam a qualidade dos processos (FREUND, 1975; AIAG, 1991; KANE, 1986). A análise de capacidade tem o propósito de determinar se um processo é ou não capaz de atender aos limites de especificações do produto.

Diante do crescimento populacional contínuo e da estimativa de crescimento estimado pela ONU (2012), cerca de 8 bilhões de pessoas até 2024 e com projeções superiores a 9,5 bilhões de pessoas até 2050, espera-se a elevação do consumo em geral e conseqüentemente da necessidade de embalagens plásticas. Desta forma, a aplicação do CEQ para manter o controle dos processos produtivos e assegurar a viabilidade, a padronização e a qualidade demandada pela indústria é extremamente importante.

Portanto, a finalidade deste trabalho é realizar uma análise de capacidade a partir de amostras de testes de gramatura em uma linha de embalagens flexíveis de café de uma empresa localizada na cidade de Londrina, através de cartas de controle, índices de capacidade e índices de desempenho do processo com o objetivo de avaliar a capacidade do processo de produzir itens de acordo com as especificações.

## **2. Referencial teórico**

### **2.1. Controle Estatístico do Processo (CEP)**

O Controle Estatístico de Processos (CEP), também chamada em algumas literaturas como Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), é uma das ferramentas essenciais da qualidade, consiste em coletar dados de uma amostra e analisar os parâmetros preestabelecidos, as alterações e a frequência com que ocorrem, buscando a redução sistemática da variabilidade, promovendo a melhoria continuada da qualidade dos itens produzidos, aumentando a confiabilidade dos processos e a produtividade.

Segundo Paladini (2012), deve-se buscar a qualidade ao longo do processo produtivo, visto que controlando o processo pode-se controlar a qualidade durante o processo de fabricação do produto, evitando maiores custos ao inspecionar a qualidade somente do produto final acabado, quando todos os custos de todo o processo já estão imbuídos.

De acordo com Ribeiro e Caten (2012), em um mercado competitivo, o controle estatístico do processo permite a melhorias contínuas, pois assegura um processo estável com

possibilidades de previsão que tem características e capacidade definidas, facilitando o acompanhamento da evolução.

## 2.2. Gráfico X-MR

Os gráficos de controle são ferramentas estatísticas de qualidade que conseguem detectar as variações que ocorrem nos processos, portanto, são usados para realizar o acompanhamento de todo o processo e ajudam a indicar a possível causa da variação, comum ou uma causa especial no processo.

Para cada processo existe um tipo de gráfico que melhor se aplica à situação. No caso do presente estudo, será utilizado o gráfico X/MR, *moving range* ou amplitudes móveis. Esse tipo de gráfico pode ser usado quando são utilizadas medições de forma individuais, diferente de outros tipos de gráficos que usam subgrupos de uma amostra, e a produção é organizada em bateladas.

Inicialmente, para calcular os limites do gráfico X/MR deve-se determinar o tamanho da janela de amplitude, geralmente utiliza-se o tamanho igual a 2, e os parâmetros que serão utilizados nos cálculos dos limites de controle superior e inferior, e podem servir de comparativo para os valores dos limites de especificações preestabelecidos.

**Tabela 1 – Siglas utilizadas no trabalho**

Sigla	Descrição
N	Janela de Amplitude
LSC	Limite Superior de Controle
LM	Linha Média
LIC	Limite Inferior de controle
LSE	Limite Superior de Especificação
VA	Valor Alvo
LIE	Limite Inferior de Especificação

**Fonte: Autoria própria**

Após as medições individuais, pode-se estimar os parâmetros do processo. A partir da equação a seguir pode ser calculada a média do processo.

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (1)$$

Em seguida, as equações são usadas para o cálculo das amplitudes móveis do processo e a média das amplitudes móveis:

$$MR_i = \max(x_i - x_{i-1}) - \min(x_i - x_{i-1}) \quad (2)$$

$$\overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=2}^m MR_i \quad (3)$$

E ainda há a necessidade do cálculo do desvio padrão intra-amostral, que é obtido pela equação:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

O valor da constante d depende do tamanho da janela de amplitude, consultado a partir da tabela abaixo (ROSA, 2009):

**Tabela 2 – Constantes d**

<b>n</b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>3</sub></b>
2	1,128	0,853
3	1,693	0,888
4	2,059	0,880
5	2,326	0,864
6	2,534	0,848
7	2,704	0,833
8	2,847	0,820
9	2,970	0,808
10	3,078	0,797
11	3,173	0,787
12	3,258	0,778
13	3,336	0,770
14	3,407	0,763
15	3,472	0,756

**Fonte: Adaptado de ROSA (2009)**

Agora, então, é possível calcular os limites de controle superior e inferior do gráfico X e do gráfico MR pelas equações:

$$LSC_x = \hat{\mu} + 3\hat{\sigma} \quad (5)$$

$$LM_x = \hat{\mu} \quad (6)$$

$$LIC_x = \hat{\mu} - 3\hat{\sigma} \quad (7)$$

$$LSC_{MR} = \overline{MR} + 3d_3\hat{\sigma} \quad (8)$$

$$LM_{MR} = \overline{MR} \quad (9)$$

$$LIC_{MR} = \overline{MR} - 3d_3\hat{\sigma} \quad (10)$$

### 2.3. Índices de capacidade e desempenho do processo

A capacidade do processo refere-se à capacidade em obter produtos no seu processo produtivo dentro dos limites de especificações técnicas preestabelecidas e quantificar a variabilidade. Um processo é considerado capaz quando atende as especificações técnicas propostas e incapaz quando os parâmetros obtidos ficam fora dos limites especificados. Montgomery (2004) afirma que mesmo um processo permaneça dentro dos limites de controle pode não estar sob controle, ou seja, a média do processo está sofrendo alterações.

Para identificar se a produtividade dos processos está aceitável, é necessário observar os índices Cp e Cpk, segundo Montgomery (2004), ou seja, se estão dentro das especificações técnicas exigidas, para tal, é preciso que o processo esteja sob controle.

O índice Cp tem a finalidade de calcular largura da amplitude real do processo para que sirva de comparação com a largura fornecida pelas especificações do projeto, conforme Diniz (2001).

No entanto, o índice Cp não é suficiente para verificar se o processo está sob controle, desta forma, o índice Cpk permite ajustamento do índice Cp apontando se a distribuição está centralizada entre os limites especificados. Ambos os índices, Cp e Cpk, são sensíveis aos deslocamentos ocasionados pelas causas especiais e referenciados pela tabela descrita abaixo (MONTGOMERY, 2004).

**Tabela 3 – Classificação do Cpk**

Item	Quantidade
$Cpk < 1$	Processo incapaz
$1 \leq Cpk \leq 1,33$	Processo aceitável
$Cpk > 1,33$	Processo capaz

Fonte: Adaptado de MONTGOMERY (2004)

O cálculo dos índices Cp e Cpk são feitos a partir das equações 11 e 12 apresentadas abaixo:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \times \hat{\sigma}_{intra}} \quad (11)$$

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3 \times \hat{\sigma}_{intra}}; \frac{\mu - LIE}{3 \times \hat{\sigma}_{intra}}\right) \quad (12)$$

Diferentemente dos índices de capacidade (Cp / Cpk), que estimam como o processo poderá se comportar no futuro, os índices de desempenho Pp e Ppk explicam qual o comportamento do processo obtido no passado e como está se comportando no momento (NETTO, 2017).

O índice Pp analisa a tolerância especificada no projeto, através dos limites de controle especificados (LIE /LSE), em relação ao desempenho obtido no processo, dado pela equação:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6 \times \hat{\sigma}_{geral}} \quad (13)$$

Já o índice Ppk indica a proximidade da média do processo em relação aos limites de controle especificados. A interpretação dos resultados obtidos pela equação abaixo segue o mesmo entendimento dos resultados obtidos para o índice de capacidade Cpk apontados anteriormente na tabela 3.

$$Ppk = \min\left(\frac{LSE - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}_{geral}}; \frac{\hat{\mu} - LIE}{3 \times \hat{\sigma}_{geral}}\right) \quad (14)$$

Os cálculos para obtenção dos índices Pp e Ppk são semelhantes aos cálculos dos índices de capacidade, no entanto, o desvio padrão considerado nos indicadores de desempenho é o desvio padrão geral da amostra ( $\hat{\sigma}_{geral}$ ), e não o intra-amostral.

Segundo Netto (2017), a proximidade dos valores dos índices de capacidade Cp e Cpk com os índices de desempenho Pp e Ppk indicam que o processo está estável, ou seja, sob controle. Já quando há uma ampla disparidade entre estes valores, o processo opera de forma imprevisível, deste modo, fora de controle.

#### 2.4. Proporção de itens fora da especificação (PFE)

Após encontrados os índices de capacidade do processo e a permanência do processo estável, é possível estimar a proporção de itens que o processo entregará fora das especificações, estimando a distância média do processo aos limites de especificações inferior e superior (LIE / LSE), usando as equações:

$$Z_{LIE} = \frac{LIE - \mu}{\hat{\sigma}_{intra}} \quad (15)$$

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \mu}{\hat{\sigma}_{intra}} \quad (16)$$

Após calcular esses valores, o PFE pode ser obtido com a Eq. 15 apresentada a seguir.

$$PFE = P(Z < Z_{LIE}) + P(Z > Z_{LSE}) \quad (17)$$

Ainda, para uma melhor compreensão é comum representar o PFE em unidades de com defeitos a cada milhão produzidas, deste modo pode-se calcular o PPM (partes por milhão) através da equação:

$$PPM = 1000000 \times PFE \quad (18)$$

### 3. Descrição da empresa

A empresa relatada no trabalho é uma multinacional especializada na conversão de embalagens em geral, para mercados como café, atomatados, bebidas não alcoólicas, ração, sabão em pó, entre outros.

Atualmente é a líder mundial em desenvolvimento e produção de embalagens de alta qualidade, como embalagens flexíveis, recipientes rígidos, embalagens especiais, tampas e serviços para alimentos, bebidas, produtos farmacêuticos, dispositivos médicos, cuidados domésticos, entre outros produtos.

#### 3.1 Produto e descrição do processo industrial

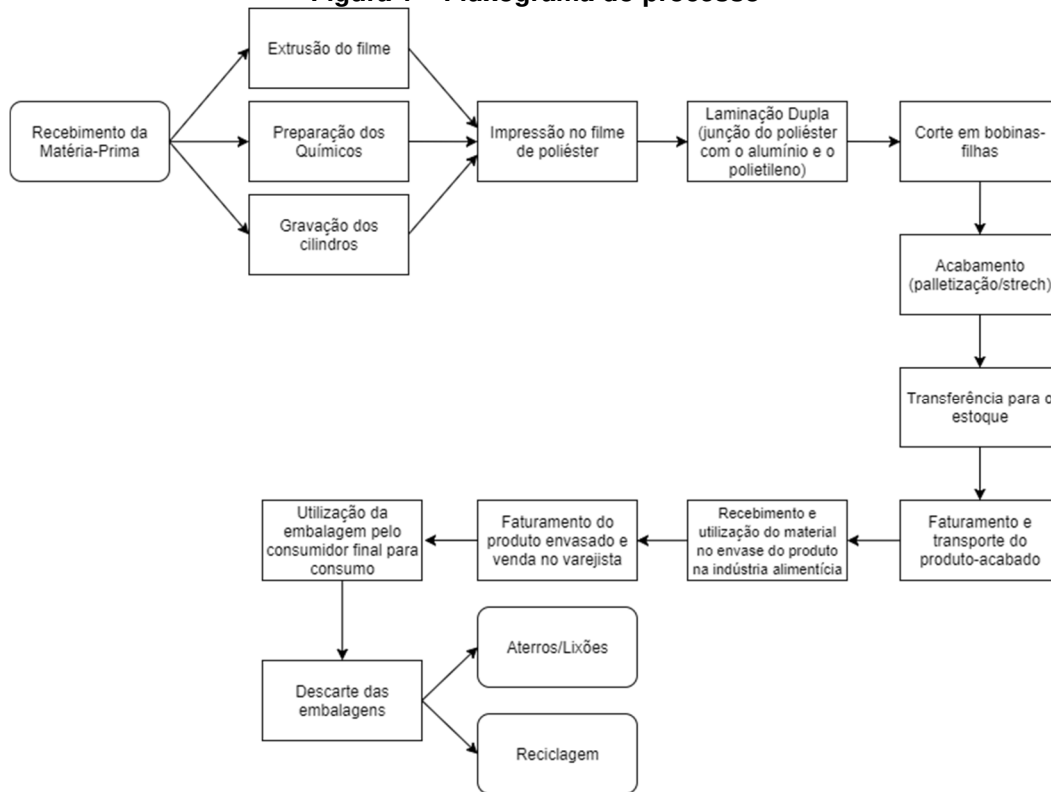
As embalagens plásticas aplicadas à linha de embalagens de café vácuo são o objeto deste estudo, sendo produzidas com a junção de duas camadas de poliéster, folha de alumínio e filme de polietileno. São utilizadas por clientes intermediários do segmento alimentício no envase e posteriormente distribuição ao varejista e venda ao consumidor final.

O processo produtivo interno de fabricação das embalagens passa por quatro etapas até obtenção do produto acabado: Extrusão, Impressão, Laminação e Corte/Acabamento.

- a) **Coextrusão:** Processo de transformação de termoplásticos em formato granulado em filmes plásticos. Para o polietileno, a matriz de extrusão é vertical. Através de um componente circular de saída do material da extrusora forma-se um cilindro plástico maleável, que é posteriormente resfriado e embobinado para consumo na fase seguinte;
- b) **Impressão:** É nesta etapa que é impressa em um filme plástico a arte do produto final. O processo de impressão utilizado é rotogravura, que utiliza um cilindro de roto carregado com tinta, responsável por transferi-la para o filme plástico. Neste processo, as artes podem ser reproduzidas em até dez cores, que correspondem ao número de colunas de impressão. A transferência ocorre em colunas sequenciais e, para assegurar a aderência de tinta, são utilizadas estufas de secagem entre cores. Nesta fase, também são utilizados solventes para ajuste de viscosidade dos químicos, vernizes e *primers* para modificação do aspecto de impressão. São produzidas bobinas-mãe para a fase seguinte;
- c) **Laminação:** Nesta etapa, dois ou mais filmes plásticos são unidos em rolos-prensa por meio da aplicação de adesivo, carregado e transferido por um cilindro anilox. O processo pode ser realizado em linha com a fase de impressão ou fora de linha. Neste processo realiza-se laminação dupla fora de linha, formando bobinas-mãe que seguirão para o corte;
- d) **Corte/Acabamento:** Nesta fase, as bobinas-mãe são cortadas em bobinas-filhas no diâmetro e largura específicos para máquina de envase do cliente. Em seguida, as bobinas-filhas são acondicionadas em paletes e embaladas para posterior transporte do produto-acabado.

O fluxograma abaixo descreve o processo produtivo e a destinação do material produzido.

**Figura 1 – Fluxograma do processo**



Fonte: Autoria própria

#### 4. Variável da qualidade

A variável a ser analisada nesse estudo é a de gramatura total em uma linha de embalagens flexíveis para Café. Trata-se da aferição de massa contida por metro-quadrado de material. Inicialmente, é efetuado o corte do material por meio de um gabarito dez por dez centímetros. Este material é pesado em uma balança semi-analítica (figura 2) e, após a multiplicação do resultado por 100, o resultado é obtido em metro quadrado.

O equipamento utilizado para efetuar o teste mede com três casas decimais após a vírgula. A sua precisão é de 0,001g.

**Figura 2 – Exemplo de balança**



Fonte: FORLAB EXPRESS (2021)

Para a linha em estudo, a especificação de gramatura total é de:

- LIE: 140,79 g/m<sup>2</sup>;
- VA: 148,20 g/m<sup>2</sup>;
- LSE: 155,61 g/m<sup>2</sup>.

Durante o processo de fabricação da embalagem, as análises de gramatura total são efetuadas em 50% das bobinas-mães produzidas. No processo de inspeção final, para liberação do produto para o cliente, é seguido um critério de N.Q.A. previamente acordado com o cliente. Desta forma, o número total de amostras a ser analisado dependerá do tamanho do lote solicitado pelo cliente.

Para o estudo em questão, serão reunidos dados de produção dos três últimos meses de fabricação do item.

Tendo em vista que a medição é tomada em análises individuais, a carta de controle que será aplicada é a X-MR.

## 5. Cálculo dos parâmetros do processo

Como dito anteriormente, os dados coletados provêm de análises individuais das embalagens, e foram dispostos da seguinte forma:

**Tabela 4 – Dados de gramatura da linha de embalagens de café**

Amostra	Data	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	MR	Amostra	Data	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	MR
1	19/04/2021	147,30		19	28/06/2021	150,00	2,30
2	19/04/2021	152,80	5,50	20	28/06/2021	153,80	3,80
3	19/04/2021	143,00	9,80	21	28/06/2021	148,20	5,60
4	19/04/2021	149,50	6,50	22	28/06/2021	151,60	3,40
5	19/04/2021	151,10	1,60	23	28/06/2021	147,50	4,10
6	19/04/2021	146,60	4,50	24	28/06/2021	144,00	3,50
7	19/04/2021	147,10	0,50	25	28/06/2021	143,80	0,20
8	19/04/2021	144,10	3,00	26	28/06/2021	143,90	0,10
9	19/04/2021	143,20	0,90	27	13/07/2021	152,40	8,50
10	04/05/2021	143,00	0,20	28	13/07/2021	152,80	0,40
11	04/05/2021	143,60	0,60	29	09/08/2021	147,00	5,80
12	04/05/2021	152,40	8,80	30	09/08/2021	149,20	2,20
13	04/05/2021	152,40	0,00	31	09/08/2021	150,00	0,80
14	04/05/2021	154,10	1,70	32	09/08/2021	149,70	0,30
15	04/05/2021	152,20	1,90	33	09/08/2021	150,00	0,30
16	04/05/2021	152,20	0,00	34	09/08/2021	148,60	1,40
17	04/05/2021	146,70	5,50	35	09/08/2021	152,40	3,80
18	28/06/2021	152,30	5,60				

Fonte: Autoria própria

Os dados, então, foram utilizados para estimar a média e o desvio padrão do processo, calculando a média das colunas Gramatura (g/m<sup>2</sup>) e MR (vale ressaltar que para a primeira linha o dado MR não existe por se tratar da primeira amostra, ou seja, não existe dado anterior para que o MR possa ser calculado). Assim a média de gramatura e de MR e o desvio padrão encontrados foram 148,81 g/m<sup>2</sup>, 3,03 g/m<sup>2</sup> e 2,69 g/m<sup>2</sup> respectivamente.

Por fim, os parâmetros do processo foram estimados e os gráficos X e MR puderam ser gerados.

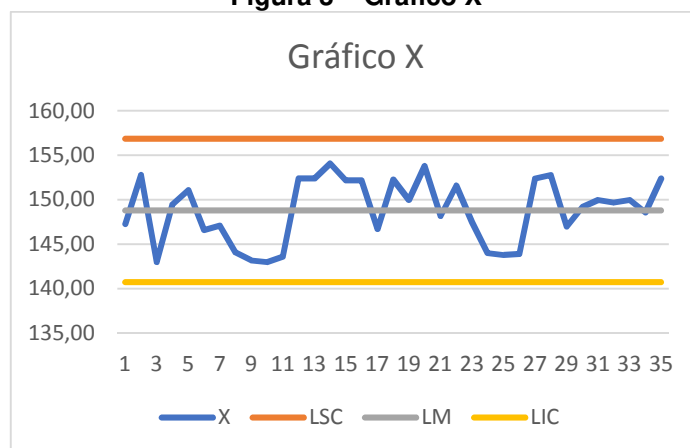
**Tabela 5 – Limites de controle**

Item	X	MR
LIC	140,75	0
LM	148,81	3,03
LSC	156,88	9,91

Fonte: Autoria própria

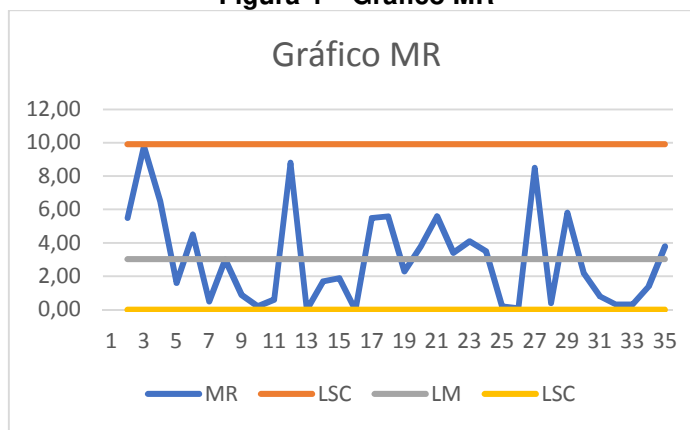


Figura 3 – Gráfico X



Fonte: Autoria própria

Figura 4 – Gráfico MR



Fonte: Autoria própria

Como se pode notar no gráfico X, existem alguns momentos, como entre as amostras 8 e 11, em que há um deslocamento na média do processo. Esse fato, mesmo que nenhum ponto tenha saído dos limites de controle, indica que o processo está fora de controle, porém os parâmetros serão utilizados para continuar a análise do processo, visto que, ainda que esteja fora de controle, os parâmetros calculados são suficientes para representar a situação atual do processo.

## 6. Análise de capacidade e desempenho do processo

Para a análise de capacidade foram calculados os índices Cp e Cpk e, para o desempenho, os índices Pp e Ppk, ambos de acordo com o descrito anteriormente no referencial teórico. Por fim, foi calculado o PFE e realizada a estimativa de falhas em PPM, os resultados estão representados a seguir.

Tabela 6 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Índice	Valor
Cp	0,919
Cpk	0,843
Pp	0,694
Ppk	0,636
PFE	0,007155
PPM	7155

Fonte: Autoria própria

Com uma análise rápida dos limites de controle comparados com os limites de especificação já foi possível supor que o processo não é capaz e não possui um bom desempenho, situação que foi confirmada através dos cálculos realizados, visto que tanto

os índices de capacidade como os de desempenho estão abaixo do aceitável e muito longe do ideal.

## 7. Uso posterior da carta de controle

Após a obtenção dos parâmetros do processo e dos limites de controle, conforme apresentado na Seção 5, a carta de controle foi colocada em uso no processo. Com isso, os limites foram usados para controlar o processo por mais 56 amostras para verificar se os parâmetros do processo sofreram flutuações. Os dados, então, coletados estão representados na tabela 7.

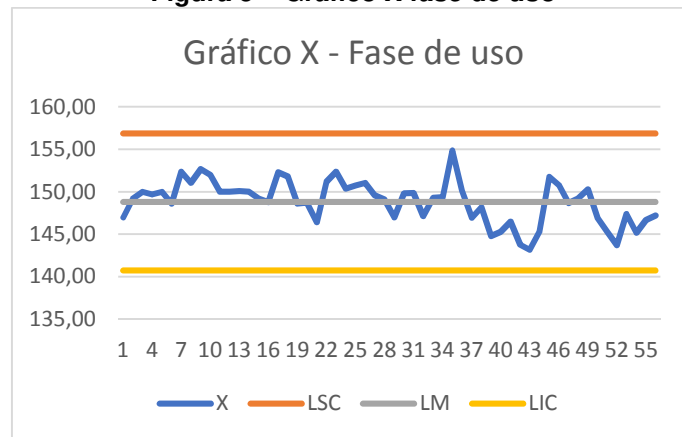
**Tabela 7 – Dados de gramatura da fase de uso**

Amostra	Data	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	MR	Amostra	Data	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	MR
1	10/08/2021	147,00		29	12/08/2021	147,00	2,10
2	10/08/2021	149,20	2,20	30	12/08/2021	149,83	2,83
3	10/08/2021	150,00	0,80	31	12/08/2021	149,87	0,04
4	10/08/2021	149,70	0,30	32	12/08/2021	147,15	2,72
5	10/08/2021	150,00	0,30	33	12/08/2021	149,30	2,15
6	10/08/2021	148,60	1,40	34	12/08/2021	149,36	0,06
7	10/08/2021	152,40	3,80	35	12/08/2021	154,86	5,50
8	10/08/2021	151,06	1,34	36	12/08/2021	150,14	4,72
9	10/08/2021	152,70	1,64	37	12/08/2021	146,97	3,17
10	10/08/2021	152,00	0,70	38	12/08/2021	148,19	1,22
11	10/08/2021	150,00	2,00	39	12/08/2021	144,81	3,38
12	10/08/2021	150,00	0,00	40	12/08/2021	145,28	0,47
13	10/08/2021	150,10	0,10	41	12/08/2021	146,50	1,22
14	10/08/2021	150,00	0,10	42	12/08/2021	143,80	2,70
15	10/08/2021	149,20	0,80	43	12/08/2021	143,20	0,60
16	10/08/2021	148,80	0,40	44	12/08/2021	145,30	2,10
17	10/08/2021	152,30	3,50	45	13/08/2021	151,77	6,47
18	10/08/2021	151,80	0,50	46	13/08/2021	150,80	0,97
19	10/08/2021	148,60	3,20	47	13/08/2021	148,70	2,10
20	10/08/2021	148,73	0,13	48	13/08/2021	149,20	0,50
21	10/08/2021	146,42	2,31	49	13/08/2021	150,30	1,10
22	10/08/2021	151,23	4,81	50	13/08/2021	146,90	3,40
23	10/08/2021	152,37	1,14	51	16/08/2021	145,30	1,60
24	10/08/2021	150,37	2,00	52	16/08/2021	143,70	1,60
25	10/08/2021	150,75	0,38	53	16/08/2021	147,40	3,70
26	10/08/2021	151,07	0,32	54	16/08/2021	145,20	2,20
27	12/08/2021	149,60	1,47	55	16/08/2021	146,70	1,50
28	12/08/2021	149,10	0,50	56	16/08/2021	147,20	0,50

Fonte: Autoria própria

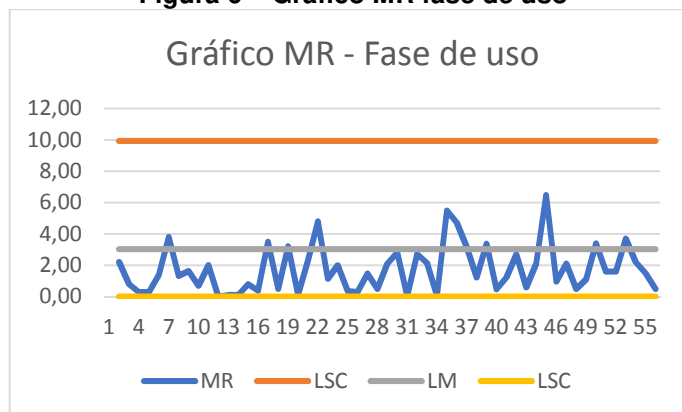
Por conseguinte, os gráficos da fase de uso foram montados e estão representados nas figuras 5 e 6.

**Figura 5 – Gráfico X fase de uso**



Fonte: Autoria própria

**Figura 6 – Gráfico MR fase de uso**



Fonte: Autoria própria

É possível notar que os gráficos da fase de uso estão mais coerentes com os parâmetros estimados para o processo, ainda que seja possível supor que a média tenha sido deslocada entre as amostras 37 e 45, portanto, é possível que a fase de cálculo tenha ocorrido durante uma causa especial.

## 8. Sugestões de melhoria

Tendo em vista que o filme coextrusado corresponde à aproximadamente 57% da gramatura total do material quadrilaminado e que se trata do processo que possui o maior percentual de tolerância de variação (em 10%), acredita-se que o ponto central para determinar a capacidade e desempenho do processo envolvido esteja relacionado à etapa de Extrusão.

Com base nisso, são indicadas as ações abaixo na fase de coextrusão para melhoria da estabilidade e do desempenho da gramatura total nesta linha:

- Limpeza da área superior da matriz em busca de melhoria do fluxo interno para garantia de uma maior uniformidade de massa durante a formação do balão;
- Substituição das resistências dos extrusores para melhoria da uniformidade de temperaturas de aquecimento de massa;
- Revisão do sistema de monitoramento e correção de espessura da máquina, uma vez que esta medida - junto à densidade - impacta diretamente na gramatura do filme.

## 9. Conclusão

A aplicação da carta de controle X-MR e o estudo dos índices de capacidade e desempenho de processos tornaram possível uma boa compreensão da variabilidade da gramatura total

resultante do processo envolvido na fabricação das embalagens laminadas. Embora a variável sob estudo tenha atendido aos limites de especificação, a análise via carta de controle demonstrou deslocamentos das medições com relação à média do processo, que podem ser justificados por causas especiais ainda não identificadas. Os índices de capacidade e desempenho obtidos durante a fase de cálculo também demonstraram que o processo não é bom o bastante. Acredita-se que a causa mais provável para a alta variabilidade dos dados seja a oscilação de gramatura durante o processo de coextrusão. Com base nisto, foram elencadas três oportunidades de melhoria relacionadas à limpeza, manutenção e inspeção do equipamento envolvido nesta etapa de processo.

## Referências

- AGUAYO, Rafael. **Dr. Deming: O americano que ensinou a qualidade total aos japoneses**. Rio de Janeiro: Record, 1993.
- AIAG/ASQC. **Fundamental statistical process control reference manual**. Troy, MI: AIAG. 1991.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 9 ed. Nova Lima, MG: Editora Falconi, 2014.
- DINIZ, Marcelo Gabriel. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. São Paulo: Artliber, 2001.
- FORLAB EXPRESS. **Balança Semi Analítica AD330 330g - 0,001g com Capela Marte**. Disponível em: <<https://www.forlabexpress.com.br/balanca-semi-analitica-marte-ad330-330g>> Acesso em: 01 ago. 2021.
- FREUND, R. A. Acceptance Control Charts. **Industrial Quality Control**. p.22-25, 1975.
- KANE, V. E. Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, volume 18, 41- 52, 1986.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- NETTO, Alfredo Pieritz. **Controle Estatístico do Processo**. Indaial: UNIASSELVI, 2017.
- ONU, United Nations. Department of economic and social affairs. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012.
- RIBEIRO, José Luís Duarte. CATEN, Carla Shwengher ten. **Série Monográfica Qualidade – Controle Estatístico do Processo**. FEEng, Rio Grande do Sul, 2012.
- ROSA, Leandro Cantorski. **Introdução ao Controle Estatístico de Processos**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2009.