

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA TURQUES PETINATI ANDRELLO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM FILMES FLEXÍVEIS**

LONDRINA

2022

ANA PAULA TURQUES PETINATI ANDRELLO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM FILMES FLEXÍVEIS**

**Use of the DMAIC method to analyze the behavior of the coefficient of friction
in flexible films**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Joice Erica Motezuki

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANA PAULA TURQUES PETINATI ANDRELLO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM FILMES FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Nome do Curso de Engenharia de
Materiais da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/dezembro/2022

Joice Erica Motezuki
Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Francisco Rosario
Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Caroline Maria Calliari
Doutorado em Ciência de Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

Dedico este trabalho à Deus
e à minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Joice Erica Motezuki, por todo apoio e ensinamentos. Aos meus professores e colegas que fizeram parte da minha jornada, pelos conhecimentos adquiridos e auxílios prestados.

Agradeço ao meu esposo, que foi essencial para que eu chegasse até aqui, por sempre acreditar em mim, me dar suporte e estar sempre presente. À minha família por todo o investimento e apoio fundamentais na minha jornada.

Aos meus colegas de trabalho e equipe que fizeram parte desse projeto, por todo o aprendizado e colaboração que foram primordiais para conquistar os resultados alcançados.

As palavras sempre ficam.
Lembre-se sempre do poder
das palavras. Quem escreve
constrói um castelo, e quem
lê passa a habitá-lo.
(ZUSAK, 2013).

RESUMO

A filosofia *Lean Six Sigma* visa o aumento da produtividade, eliminação de desperdícios, redução de custos e variabilidade do processo, através de ferramentas de controle. Garantir a qualidade do produto torna o processo produtivo mais eficiente e econômico, além de melhorar o relacionamento com o cliente ao fornecer produtos com menos defeitos, visando atingir a meta de zero defeitos. O ciclo DMAIC é uma metodologia *Lean* que consiste em 5 etapas, com o objetivo de definir, medir, analisar, melhorar e controlar o processo, através do uso de ferramentas como CTQ (Características Críticas para a Qualidade), *Project Charter*, 5W2H, SIPOC, *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês, Teste de Hipóteses, DOE, Carta de Controle, Treinamentos e Auditoria. Ao aplicar a metodologia na investigação da causa-raiz de um desvio técnico no coeficiente de atrito de embalagens poliméricas flexíveis, foi possível solucionar o problema, além de aprimorar o processo através de planos de melhoria contínua, que pode ser praticado em outras etapas da produção.

Palavras-chave: seis sigma; DMAIC; coeficiente de atrito; embalagens poliméricas flexíveis.

ABSTRACT

The Lean Six Sigma philosophy aims to increase productivity, eliminate waste, reduce costs and process variability through control tools. Ensuring product quality makes the production process more efficient and economical, in addition to improving customer relationships by providing products with fewer defects, aiming to achieve the goal of zero defects. The DMAIC cycle is a Lean methodology that consists of 5 steps, with the objective of defining, measuring, analyzing, improving and controlling the process, through the use of tools such as CTQ, Project Charter, 5W2H, SIPOC, Brainstorming, Ishikawa Diagram, 5 Whys, Hypothesis Testing, DOE, Control Chart, Training and Auditing. By applying the methodology to investigate the root cause of a technical divergence in the coefficient of friction of flexible polymeric packaging, it was possible to solve the problem, in addition to improving the process through continuous improvement plans, which can be practiced in other stages of production.

Keywords: six sigma; DMAIC; coefficient of friction; flexible polymeric packaging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um polietileno linear de baixa densidade	16
Figura 2 - Extrusora balão	18
Figura 3 - Processo de impressão por flexografia	19
Figura 4 - Processo de formatação da embalagem.....	20
Figura 5 - Descentralização na linha de selagem da embalagem	27
Figura 6 - <i>Project Charter</i>	28
Figura 7 - SIPOC	29
Figura 8 - Estrutura da embalagem	30
Figura 9 - Estrutura da bobina	30
Figura 10 - Equipamento de medição do COF	31
Figura 11 - Diagrama de Ishikawa	34
Figura 12 - Análise de tratamento Corona passante	34
Figura 13 - Durômetro	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - COF FxF obtido na inspeção final.....	32
Gráfico 2 - COF FxF e VxV obtidos no material de devolução	32
Gráfico 3 - COF do filme de PE obtido durante o processo produtivo	33
Gráfico 4 - Relação entre o COF FxF e dureza ao longo da bobina de PA.....	35
Gráfico 5 - COF da capa e toco das bobinas de PE.....	36
Gráfico 6 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento mínimo	37
Gráfico 7 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento nominal	37
Gráfico 8 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento máximo	38
Gráfico 9 - Carta de controle do COF nas bobinas de PE.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala Sigma	22
Quadro 2 - Características críticas para a qualidade	27
Quadro 3 - Descrição do problema utilizando a ferramenta 5W2H.....	29
Quadro 4 - Plano para coleta de dados	31
Quadro 5 - 5 Porquês	38
Quadro 6 - Plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H	39
Quadro 7 - Treinamentos realizados.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W2H	O que, Por que, Onde, Quem, Quando, Como, Quanto custa
BOB	Melhor dos melhores
COF	Coeficiente de atrito
COF FxF	Coeficiente de atrito frente x frente
COF VxV	Coeficiente de atrito verso x verso
CTQ	Características críticas para a qualidade
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar
DOE	Planejamento de experimentos
DSM	Instrumento de medição do coeficiente de atrito
PA	Produto acabado
PE	Polietileno
PEBDL	Polietileno linear de baixa densidade
R&D	Pesquisa & Desenvolvimento
SIPOC	Fornecedor, Entrada, Processo, Saída, Cliente
VOC	Voz do cliente
WOW	Pior dos Piores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.2	Justificativa.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Embalagens flexíveis multicamadas	16
2.2	Polietileno linear de baixa densidade (PEBDL)	16
2.3	Co-extrusão balão	17
2.4	Flexografia	18
2.5	Conformação de embalagens do tipo almofada	19
2.6	Coeficiente de atrito (COF)	20
2.7	Tratamento corona	21
2.8	<i>Lean Six Sigma</i>	21
2.8.1	DMAIC	23
<u>2.8.1.1</u>	<u>Definir (<i>Define</i>)</u>	<u>23</u>
<u>2.8.1.2</u>	<u>Medir (<i>Mesure</i>)</u>	<u>24</u>
<u>2.8.1.3</u>	<u>Analisar (<i>Analyse</i>)</u>	<u>24</u>
<u>2.8.1.4</u>	<u>Melhorar (<i>Improve</i>).....</u>	<u>25</u>
<u>2.8.1.5</u>	<u>Controlar (<i>Control</i>).....</u>	<u>26</u>
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Materiais	26
3.2	Metodologia	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Definir (<i>Define</i>).....	27
4.2	Medir (<i>Mesure</i>).....	31
4.3	Analisar (<i>Analyse</i>)	33
4.4	Melhorar (<i>Improve</i>)	38
4.5	Controlar (<i>Control</i>)	39
5	CONCLUSÃO	41
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Os filmes de embalagens poliméricas flexíveis devem ser processados com polímeros que apresentem adequadas propriedades mecânicas e estabilidade térmica para a posterior utilização em processos de impressão, laminação e empacotamento automático de alta produtividade. Estes filmes devem apresentar as propriedades exigidas em todas as etapas de fabricação da embalagem, sem afetar o desempenho e a capacidade produtiva destes processos. Uma propriedade importante é a capacidade de deslizamento dos filmes, e por isso, durante o processamento do filme, ou na etapa de extrusão, estes materiais são aditivados. Os principais agentes deslizantes são aditivos à base de amidas de ácidos graxos. Estes aditivos são compostos de caráter migratório que dependem de fatores como temperatura e tensionamento para migrar para a superfície do filme. A velocidade com que ocorre a migração e a quantidade de aditivo que migra afetam as propriedades superficiais, alterando as características de aderência de tintas, deslizamento, temperatura de selagem, embobinamento etc.

O coeficiente de atrito (COF) é uma propriedade importante em filmes flexíveis, para garantir um bom desempenho nas linhas de produção, evitando problemas na formatação, transporte e empilhamento das embalagens. O estudo visa analisar um desvio no COF de uma linha de embalagem polimérica flexível para itens de detergentes para casa, que ocasionou na descentralização da linha de selagem no momento de sua formatação.

Este trabalho apresenta uma proposta de resolução de problemas através da metodologia DMAIC, sigla que significa Definir, Medir, Analisar, Melhorar (*Improve*, em inglês) e Controlar, e uma interligação utilizando ferramentas do *Lean Manufacturing*. Primeiramente, identificamos quais Ferramentas *Lean* devem ser aplicadas em cada fase do DMAIC. Então, de acordo com os resultados fornecidos, é possível alcançar as melhores soluções para aumentar a produtividade.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é analisar o comportamento do coeficiente de atrito em filmes flexíveis para a formatação de embalagens poliméricas flexíveis.

Os objetivos específicos são:

- a) Encontrar a causa-raiz do problema através do método DMAIC;
- b) Aplicação do *Lean Six Sigma* para melhoria do processo produtivo.

1.2 Justificativa

O mercado de embalagens poliméricas flexíveis tem se tornado cada vez maior, sendo esta demanda a principal responsável pela crescente substituição de embalagens de vidro, papel e metais, sobretudo por serem descartáveis, apresentando praticidade à rotina, leveza, facilidade de manuseio e de transporte, além de excelente viabilidade econômica. Para tanto, necessitam apresentar excelente desempenho mecânico nos processos de transformação e empacotamento. Alguns aditivos, como agentes deslizantes, migram para a superfície do filme e são indispensáveis para a obtenção de boas características nestes processos. O presente estudo permite a elucidação do comportamento da superfície de filmes flexíveis através de análises do coeficiente de atrito aliado ao efeito do tensionamento ao longo do tempo e utilizar o *Lean Six Sigma* na análise dos dados.

Aplicar a estratégia do *Lean Six Sigma* na resolução de problemas implica em um aumento da lucratividade do setor produtivo através da redução de custos, otimização de produtos e processos, além de incrementar a satisfação do cliente, eliminando desperdício e variação, ocasionando um melhor desempenho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Embalagens flexíveis multicamadas

As embalagens são estruturas que têm como principais objetivos armazenar e proteger os produtos de acordo com as suas necessidades, além do aspecto visual, importante para a comercialização. Embalagens poliméricas flexíveis são leves, de fácil manuseio e possuem uma ótima viabilidade econômica. A escolha do polímero utilizado depende das propriedades necessárias para melhor conservação do produto. (LUÍS, 2013)

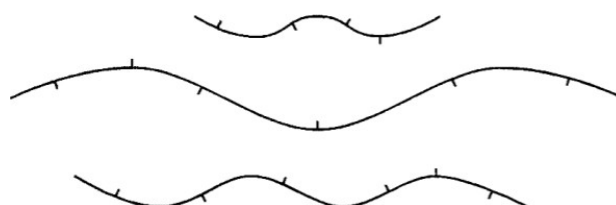
Graças à somatória das propriedades de cada polímero em cada camada, os filmes multicamadas conseguem atingir uma combinação de vantagens, tais como: barreira a gases, barreira à luz, resistência térmica e mecânica, além de outros benefícios como menor espessura, redução do uso de material e consequentemente menor emissão de CO₂ durante o transporte.

Segundo estudo da W4Chem, a produção de embalagens poliméricas flexíveis chegou a 480 mil toneladas no 2º trimestre de 2020. Embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e de polietileno linear de baixa densidade (PEBDL) tiveram uma participação de 72% neste total, seguidas de PP (polipropileno), com uma participação de 16% e PEAD (polietileno de alta densidade), com 12%.

2.2 Polietileno linear de baixa densidade (PEBDL)

O polietileno linear de baixa densidade (PEBDL) é um copolímero de etileno e uma alfa-olefina; a estrutura geral das resinas lineares de polietileno de baixa densidade é mostrada esquematicamente na Figura 1. Sua faixa de densidade é de aproximadamente 0,90 a 0,94 g/cm³. (PEACOCK, 2000)

Figura 1 - Estrutura de um polietileno linear de baixa densidade



Fonte: PEACOCK (2000)

As resinas de PEBDL não exibem sabor ou odor discernível, filmes finos de polietileno linear de baixa densidade parecem bastante claros, e são altamente resistentes à perfuração e ao rasgo. Polímeros de *commodities* são geralmente considerados aqueles termoplásticos que são razoavelmente baratos, são usados em grandes quantidades e têm propriedades físicas relativamente modestas. (PEACOCK, 2000)

O polietileno com seu amplo espectro de propriedades é empregado em uma infinidade de aplicações. A chave para sua adaptabilidade está em sua morfologia semicristalina ajustável, que pode ser controlada pela manipulação de variáveis moleculares e de processamento, rigidez, dureza, clareza e outras características físicas podem ser reguladas controlando o peso molecular, tipo de comonômero e conteúdo de comonômero. (PEACOCK, 2000)

Os processos de fabricação dos filmes de PE podem ser por extrusão plana ou balão. Seja qual for o tipo de extrusão, os grânulos do polímero são transformados em filmes e enrolados na forma de bobinas (MANRICH, 2013).

2.3 Co-extrusão balão

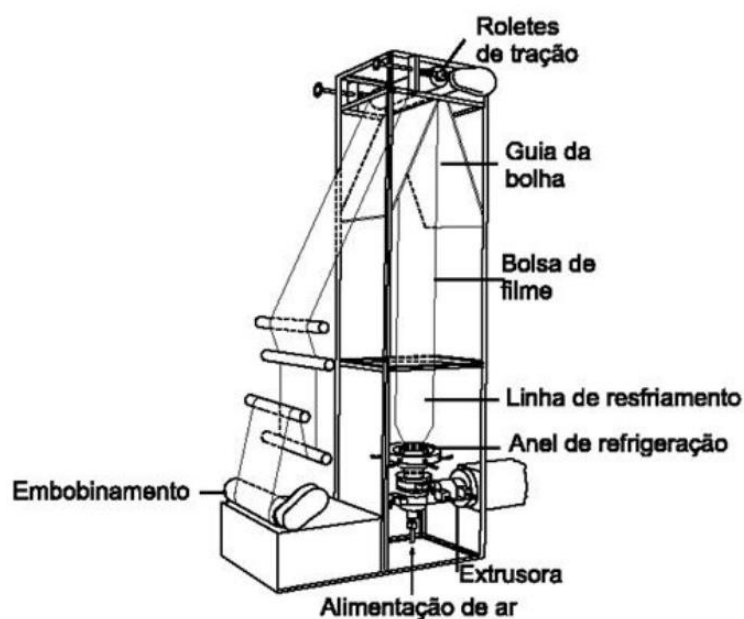
O processo de extrusão balão está representado na Figura 2. A quantidade de extrusoras que alimentam o balão varia com o número de camadas que o equipamento fornece. Quando a extrusão é feita com 2 ou mais camadas, o processamento é chamado de co-extrusão. Existem muitos tipos de co-extrusoras, que podem variar de capacidade de duas a onze camadas. (WAGNER, 2016)

Os *pellets* se fundem na extrusora, e se solidificam ao passar pelo anel de refrigeração, que também tem como função controlar a espessura do filme. A alimentação de ar dá a forma ao balão, que sobe devido ao tracionamento dos roletes de tração. Ao longo do balão, é posicionado um sensor que monitora a espessura do filme, que envia um sinal para o anel de refrigeração quando ocorre um desvio, para ajuste da temperatura, de modo que quanto maior a temperatura, mais fino o filme. Além disso, a guia da bolha, que afina o balão formando o filme, rotaciona, de modo a garantir maior uniformidade do filme, visto que existem variações ao longo do processo.

Após o balão se afunilar ao formato de filme, ele passa por um tratamento Corona, que será abordado adiante, seguido de uma passagem por lâminas para

separar os filmes, que por fim, são embobinados. A tensão de embobinamento é um parâmetro importante de ser controlado, altas tensões de embobinamento podem gerar defeitos como canaletas nos filmes, aumento no coeficiente de atrito e produção de bobinas telescopadas, quando há um deslizamento entre as espiras da bobina, ocasionando seu deslocamento lateral; tensões muito baixas também são problemas, deixando as bobinas frouxas.

Figura 2 - Extrusora balão



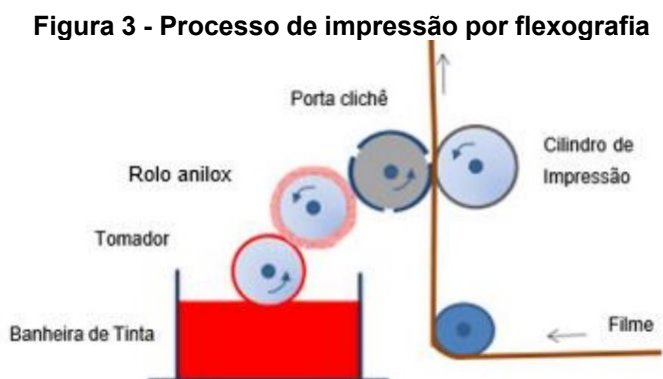
Fonte: adaptado de SORS, BARDÓCZ e RADNÓTI (2002)

Esse processo de co-extrusão permite o ajuste do tamanho do balão e, portanto, da largura do filme produzido. Esta é uma vantagem fundamental quando muitas larguras de filmes diferentes devem ser produzidas na mesma máquina. (WAGNER, 2016). A espessura dos filmes é definida pela velocidade de produção, e ao final do processo os filmes são embobinados para posteriormente serem impressos ou laminados e transformados na embalagem final (MANRICH, 2013).

2.4 Flexografia

A flexografia é um método de impressão comum no campo da embalagem, cujo processo está representado na Figura 3. Nesse tipo de impressão o padrão é feito em placas, geralmente de um fotopolímero, conhecido como clichê. Os clichês são fixados a um cilindro de ferro, e a tinta é transferida de uma banheira para um rolo

anilox, que contém milhões de minúsculos pontos para absorver a tinta. O rolo anilox entra em contato com o cilindro de impressão, transferindo a tinta para a superfície dos clichês, que entra em contato com a superfície do filme. (MORRIS, 2016)



Fonte: Adaptado de MOYER (1986)

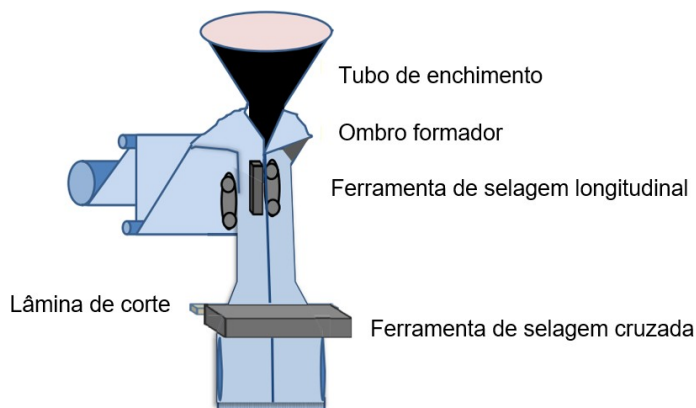
A impressão flexográfica se distingue de outros métodos de impressão na variedade de substratos que podem ser impressos e, portanto, é um processo central na impressão de embalagens, embora rotogravura e *offset* também sejam usados.

2.5 Conformação de embalagens do tipo almofada

As embalagens podem ter diversos formatos, como *pouches*, *standpacks* e almofadas. As embalagens do tipo almofada herdaram seu nome devido a seu aspecto visual, e são o tipo mais comum de embalagens poliméricas flexíveis; são armazenadas deitadas, pois não têm reforços, ou fundo, que a mantenham em pé.

Durante o processo de formatação, o filme da embalagem é moldado sobre um mandril em um tubo, como mostra a Figura 4. O fundo e a lateral são selados, o produto é colocado no tubo por cima e a parte superior é selada (ao mesmo tempo que a vedação inferior da próxima embalagem) e cortada. A centralização dessa selagem pode ser comprometida caso haja algum desvio técnico do filme fornecido, como a oscilação do coeficiente de atrito.

Figura 4 - Processo de formação da embalagem



Fonte: Adaptado de *The Wiley encyclopedia of packaging technology* (1986)

2.6 Coeficiente de atrito (COF)

O coeficiente de atrito (COF – *Coefficient Of Friction*) representa a resistência de um material ao deslizar sobre outro. É um coeficiente adimensional e depende dos objetos que estão causando atrito. O valor geralmente está entre 0 e 1, mas pode ser maior que 1, o valor 0 significa que não há atrito entre os objetos.

O COF é um parâmetro muito importante para a formação de embalagens, pois está diretamente relacionado ao desempenho do processo e maquinabilidade. Valores muito baixos de COF podem ocasionar em um escorregamento do filme fazendo com que este perca seu alinhamento, prejudicando desde o embobinamento à formação da embalagem; da mesma forma, valores de COF altos podem gerar desalinhamentos, além de travar o filme na linha de produção. Tais desvios diminuem a produtividade e aumentam o tempo de parada de máquina.

A fim de aprimorar o desempenho do produto, agentes deslizantes são comumente utilizados para se obter melhores resultados de COF, podendo ser adicionados ao polímero durante a etapa de extrusão, como citado anteriormente, ou através da aplicação de um verniz. Dentre os agentes mais utilizados pode-se citar a erucamida, um ácido graxo que tem sido usado com sucesso por muitos anos como redutor de atrito e agente *anti-blocking*. Estudos constataam que o COF é gradualmente reduzido à medida que a concentração de erucamida é aumentada, atingindo um platô em cerca de $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. (GOICOCHEA, 2016)

O coeficiente de atrito também está relacionado aos grupos polares presentes na superfície do filme, que promovem interações do tipo dipolo entre as superfícies

deslizantes. Além disso, os grupos polares são responsáveis pela melhor adesão de filmes laminados, e podem ser introduzidos à superfície do filme através de um tratamento chamado Corona.

2.7 Tratamento Corona

Filmes para embalagens, geralmente são impressos e/ou laminados a outros substratos e para isso, necessitam de tratamento superficial adequado, que irá permitir a adesão das tintas e adesivos. Este tratamento ocorre após a extrusão e antes do embobinamento.

O tratamento corona introduz grupos polares na superfície dos filmes aumentando sua energia superficial, porém, esse efeito tende a diminuir com o tempo. Quando aditivos polares estão presentes no volume do filme, os aditivos tendem a migrar para a superfície promovendo a diminuição da energia superficial. Vários estudos comprovaram que os aditivos deslizantes, como a erucamida e a oleamida, afetam o tratamento corona, diminuindo a molhabilidade do filme com o tempo. Estudos indicam que para uma mesma potência de tratamento, quanto maior a concentração de aditivo deslizante na composição do filme, maior a concentração de aditivo que migrará para a superfície e portanto, menor será a tensão superficial (SELLIN, 2002).

Outros três fatores também são atribuídos à diminuição da energia superficial: reações entre os grupos químicos superficiais presentes na superfície tratada; oxidação, volatilização ou degradação de compostos superficiais quando em contato com o ar; migração de moléculas de baixa massa molar para dentro do filme ou exsudação para a superfície deste, ocasionando o recobrimento de pontos reativos. (SELLIN, 2002).

Controlar os parâmetros técnicos dos materiais é muito importante para garantir a qualidade do produto. Portanto, adotar filosofias como o *Lean Six Sigma* é fundamental para assegurar o controle do processo e otimizá-lo.

2.8 Lean Six Sigma

A qualidade de um produto está baseada em atender as necessidades e expectativas do cliente, visando zero defeitos. A qualidade é inversamente

proporcional à variabilidade, e pode ser assegurada através de itens de controle, ferramentas do controle da qualidade.(MONTGOMERY, 2017)

Segundo Ishikawa, K., “praticar um bom controle da qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que seja mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor.”

Atualmente, o *Six Sigma* pode ser considerado a metodologia da qualidade. É uma estratégia que visa a melhoria contínua dos processos e tem como meta chegar o mais próximo de zero defeitos (3,4 defeitos por milhão de operações). É uma ferramenta estatística utilizada para medir o nível de qualidade, tanto do processo quanto do produto, através da Escala Sigma, representada no Quadro 1 por meio de um mapeamento de desempenho, que relaciona as características críticas para a qualidade em relação às especificações técnicas. (WERKEMA, 2021)

Quadro 1 - Escala Sigma

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308.537	Não se aplica
Três sigma	66.807	25 a 40%
Quatro sigma	6.210	15 a 25%
Cinco sigma	233	5 a 15%
Seis sigma	3,4	< 1%

Fonte: WERKEMA (2021)

O *Lean Six Sigma* é a integração do *Lean Manufacturing* com o *Six Sigma*. O *Lean Manufacturing* identifica problemas no fluxo, identificando etapas que não agregam valor e fornece ferramentas para sua eliminação, visa alcançar a simplicidade através da eliminação do desperdício. Enquanto o *Six Sigma* melhora a capacidade das etapas que agregam valor, permitindo a exclusão de etapas adicionais e redução de custos, visa eliminar a variação através do gerenciamento da complexidade. (WERKEMA, 2021)

A filosofia *Lean* permite que as organizações identifiquem e eliminem desperdícios através da aplicação de diversas ferramentas. A política de eliminação de desperdícios resulta na redução dos tempos de produção, possibilitando o cumprimento dos prazos, aumentando assim a produtividade nas organizações. A metodologia 6 Sigma é fundamentada no DMAIC, que se baseia em 5 etapas do ciclo de análise e melhoria de processos, permitindo a redução de defeitos e a redução da variabilidade do processo. (FERREIRA, 2019)

2.8.1 DMAIC

O método DMAIC tem como característica o detalhamento, e como consequência, apresenta análises aprofundadas, conclusões sólidas e manutenção dos resultados ao longo do tempo, tendo como principais ênfases a voz do cliente e confiabilidade dos dados. (WERKEMA, 2012)

Consiste em cinco etapas:

- Definir (*Define*): identificar, priorizar e selecionar o projeto certo;
- Medir (*Mesure*): medir a característica chave do processo, o escopo dos parâmetros e seus desempenhos;
- Analisar (*Analyse*): identificar as principais causas e determinantes do processo;
- Melhorar (*Improve*): transformar o processo e otimizar o desempenho;
- Controlar (*Control*): sustentar o ganho.

2.8.1.1 Definir (*Define*)

A primeira etapa do método DMAIC representa a definição do problema e prioridades, com o objetivo de definir as expectativas do cliente e o escopo do projeto com precisão. Justificar o problema também é importante, entendendo as metas, viabilidade, histórico e ganhos, métrica utilizada e confiabilidade dos dados. Além disso, a organização do projeto é fundamental. (WERKEMA, 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas nessa etapa estão as Fotos, 5W2H, *Project Charter*, CTQ, SIPOC, entre outros.

O *Project Charter* tem como objetivo descrever o problema e definir a meta. Nessa etapa avalia-se o histórico do problema, retorno econômico e impacto sobre os clientes, além de definir a equipe, possíveis restrições e suposições, e estabelecer um cronograma do projeto. (WERKEMA, 2012)

A voz do cliente define as Características Críticas para a Qualidade (CTQ), identificando as necessidades do cliente.

SIPOC é a abreviação, em inglês, das seguintes palavras: *Supplier* (Fornecedor), *Input* (Entrada), *Process* (Processo), *Output* (Saída) e *Customer* (Cliente). O SIPOC é um diagrama do processo, relacionando-o a seus fornecedores,

insumos, produtos e consumidores. Tem como objetivo auxiliar na identificação das oportunidades através de melhor visualização das etapas de produção. (WERKEMA, 2012)

A ferramenta 5W2H pode ser utilizada tanto na etapa de definição de um problema, quanto na elaboração de um plano de ação, para designar atividades, prazos e responsabilidades. É orientado por sete diretrizes. O 5W diz respeito às cinco diretrizes que começam com a letra W: *What* (O que), *Why* (Por que), *Where* (Onde), *Who* (Quem), *When* (Quando). Enquanto o 2H se refere às duas perguntas iniciadas com a letra H: *How* (Como), *How much* (Quanto custa).

2.8.1.2 Medir (*Mesure*)

Nessa etapa, é realizada a definição do estado atual, através do planejamento e execução da estratificação do problema e definição das metas prioritárias. A estratificação é uma ferramenta da qualidade que tem por objetivo separar os dados levantados em grupos distintos, como por exemplo, estratificação por local, por data, por turno, por tipo etc., permitindo analisar os dados separadamente para descobrir onde realmente está a verdadeira causa de um problema. (WERKEMA, 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas nessa etapa estão o Plano de Coleta de Dados, Carta de Controle e Capacidade do Processo, Teste de Hipóteses, entre outros.

O Plano de Coleta de Dados é um método de planejamento utilizado para reunir as informações importantes para o desenvolvimento do projeto.

A Carta de Controle é uma ferramenta que permite a visualização do nível de variabilidade do processo e monitoramento da dispersão de dados, utilizada como controle estatístico da estabilidade de um processo. (WERKEMA, 2012)

O Teste de Hipóteses é um método utilizado para aprofundar as informações contidas nos dados, a fim de validar as causas que estão sendo estudadas.

2.8.1.3 Analisar (*Analyse*)

Na etapa de analisar, é definido o porquê, onde e como os problemas acontecem, a fim de encontrar a causa raiz do problema, mapeando o processo, levantando-se, priorizando e quantificando as causas. (WERKEMA, 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas nessa etapa estão o *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa, DOE (*Design of Experiments*), Teste de Hipóteses, 5 Porquês etc.

O *Brainstorming*, também chamado de Chuva de Ideias, é um método aplicado na identificação e organização de causas potenciais, bem como gerar ideias de possíveis soluções.

O Diagrama de Ishikawa, igualmente conhecido como Diagrama de Causa e Efeito, representa o efeito como resultado de causas provenientes do processo produtivo, e, normalmente é desenvolvido durante um *brainstorming* sobre as razões técnicas que podem afetar o resultado esperado. Os fatores são classificados como 6Ms: método, mão de obra, material, medida, meio ambiente e máquina. É utilizado como um guia para a identificação das causas potenciais e deve-se considerar apenas as causas mais prováveis. (WERKEMA, 2012)

O Planejamento de Experimentos (DOE) é uma técnica formal estruturada para estudar qualquer situação que envolva uma resposta que varie em função de uma ou mais variáveis independentes. O DOE é projetado especificamente para resolver problemas complexos em que mais de uma variável pode afetar uma resposta e duas ou mais variáveis podem interagir umas com as outras. (MATHEWS, 2004)

A ferramenta dos 5 Porquês é um método simples e eficiente para a identificação da causa-raiz de um problema, e como o próprio nome indica, consiste em questionar o porquê cinco vezes, a fim de atuar na verdadeira causa e não apenas no efeito que ela provoca. Na prática, esse número pode variar, sendo necessárias mais ou menos perguntas.

2.8.1.4 Melhorar (*Improve*)

Melhorar é visar a mudança como uma predição, ou seja, tem como objetivo propor e priorizar as soluções e melhorias, além de detalhar e implementar um plano de solução. (WERKEMA, 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas nessa etapa estão o *Brainstorming*, Análise de Risco, 5W2H, Diagrama de Gantt, Matriz de Priorização (Esforço x Impacto x Investimento) etc.

2.8.1.5 Controlar (Control)

Controlar o processo, significa perpetuar as melhorias conquistadas, verificando o alcance da meta, comprovando ganhos financeiros e definindo um plano para manter o resultado. (WERKEMA, 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas nessa etapa estão 5S (Senso de Utilização; Senso de Organização; Senso de Limpeza; Senso de Higiene; Senso de Disciplina), Carta de Controle, Padronização, Auditoria, Treinamentos.

A Padronização é a elaboração de um procedimento contemplando as alterações realizadas proveniente das soluções implantadas. Os novos padrões são transmitidos para os colaboradores através da aplicação de treinamentos. Após, é realizado um plano de monitoramento através de Auditorias, para acompanhar o desempenho e alcance da meta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

- Bobina da embalagem;
- Bobina de polietileno transparente;
- DSM (equipamento de medição do coeficiente de atrito);
- Solução de identificação de tensão superficial;
- Durômetro de bobina.

3.2 Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho é o DMAIC, para compreensão, planejamento e resolução do desvio de COF, além de representar uma oportunidade de melhoria do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definir (*Define*)

O projeto se iniciou a partir do CTQ. A voz do cliente (VOC) foi reportar o problema encontrado em sua linha de produção, e com base no requisito do cliente, foi definido o que é crítico para a qualidade de seu produto, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Características críticas para a qualidade

VOC (<i>Voice Of the Customer</i>)	Drivers (Requisito do cliente)	CTQ (<i>Critical To Quality</i>)
Descentralização da solda vertical atrelada ao desalinhamento no transpasse da formatação dos <i>bags</i>	Centralização do ponto de solda	COF dentro do especificado e sem oscilações

Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 5 apresenta a dificuldade encontrada pelo cliente. Um desvio no COF pode fazer com que o filme perca seu alinhamento na linha produtiva, ocasionando uma descentralização da linha de solda, que conseqüentemente fica mais estreita, podendo resultar em vazamento.

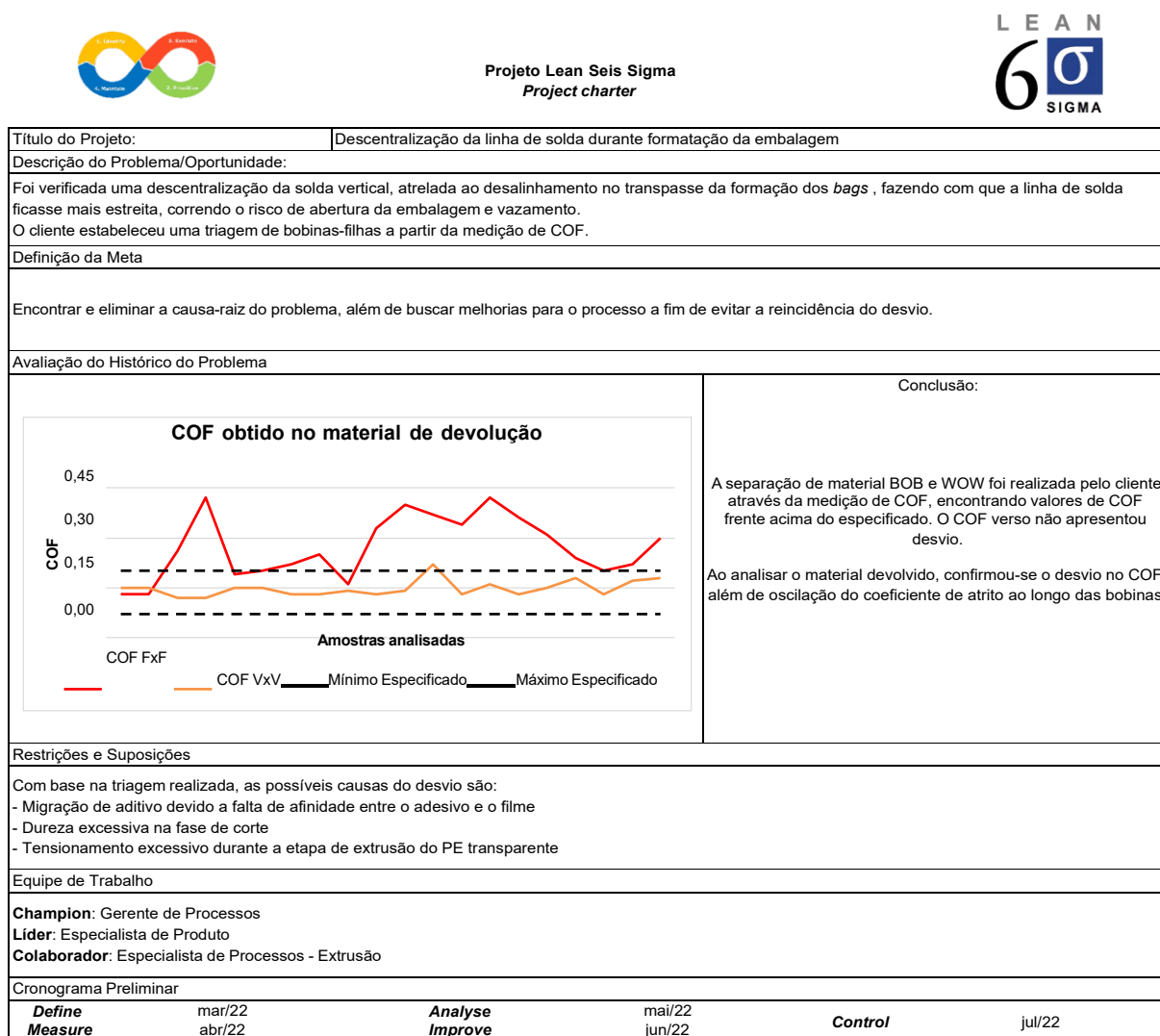
Figura 5 - Descentralização na linha de selagem da embalagem



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida, o *Project Charter* foi elaborado, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Project Charter



Fonte: Autoria própria (2022)

BOB e WOW, que significa Melhor dos Melhores e Pior dos Piores (do inglês, *Best of Best* e *Worst of Worst*), nos ajuda a identificar e verificar a causa da variação de qualidade dos produtos, comparando e contrastando a melhor amostra com a pior amostra, de modo que as causas principais da variação na qualidade se tornem mais claras.

Para estratificação dos dados, e apoio na construção do raciocínio, foi utilizada o método 5W2H, Quadro 3. Para um desenvolvimento mais adequado, foi utilizada uma adaptação da ferramenta em que se substitui a pergunta “por quê?” por “qual?”.

Quadro 3 - Descrição do problema utilizando a ferramenta 5W2H

O quê? <i>What?</i>	Qual? <i>Which?</i>	Onde? <i>Where?</i>	Quando? <i>When?</i>	Quem? <i>Who?</i>	Como? <i>How?</i>	Quanto custa? <i>How much?</i>
COF frente acima do especificado e apresentando grandes variações ao longo da bobina	Linha de embalagem polimérica flexível para itens de detergentes para casa	Na fábrica do cliente	A reclamação ocorreu em nov/21. Durante alguns meses houve um monitoramento do material no cliente, antes que a devolução fosse definida	Tendo em vista que o desvio se apresenta nas bobinas de polietileno, considera-se que a etapa de maior impacto é a coextrusão	Devido a uma descentralização da selagem vertical no transpasse da formatação dos bags reportada pelo cliente	8,7 ton de devolução

Fonte: Autoria própria (2022)

Para melhor visualização do processo produtivo da linha de embalagem em questão, como representado na Figura 7, foi construído o SIPOC.

Figura 7 - SIPOC

Fornecedores <i>Suppliers</i>	Insumos <i>Inputs</i>	Processo <i>Process</i>	Produtos <i>Outputs</i>	Consumidores <i>Customers</i>
Almoixerifado	Pellets	Coextrusar	Bobinas de polietileno	Impressora
Coextrusão	Bobinas de polietileno	Imprimir/laminar	Material impresso/laminado	Corte
Impressora	Material impresso/laminado	Cortar	Bobinas cortadas	Formatação
Formatação	Produto formatado	Embalar	Produto embalado	Expedição
Embalagem	Produto embalado	Expedir	Produto enviado	Cliente

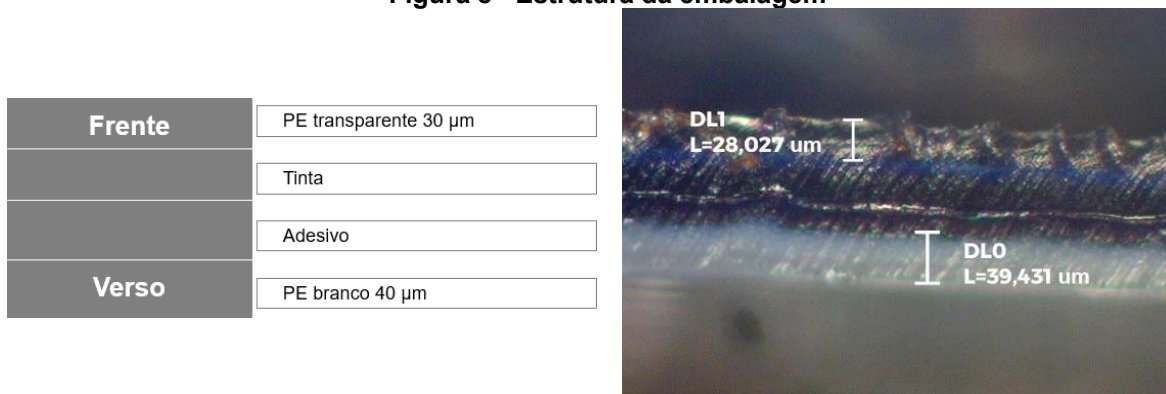
Fonte: Autoria própria (2022)

O processo de co-extrusão dos filmes de polietileno ocorre em uma extrusora de 3 camadas. A impressão é realizada no filme de polietileno transparente pelo processo de flexografia, e laminada no filme de polietileno branco na mesma máquina. A laminação é a combinação de dois ou mais substratos através do processo de colagem e prensagem dos materiais, obtendo um produto as características que não seriam possíveis de se obter com um só material, além de permitir que a tinta fique

entre dois substratos, não tendo contato com o produto e nem com a parte externa da embalagem.

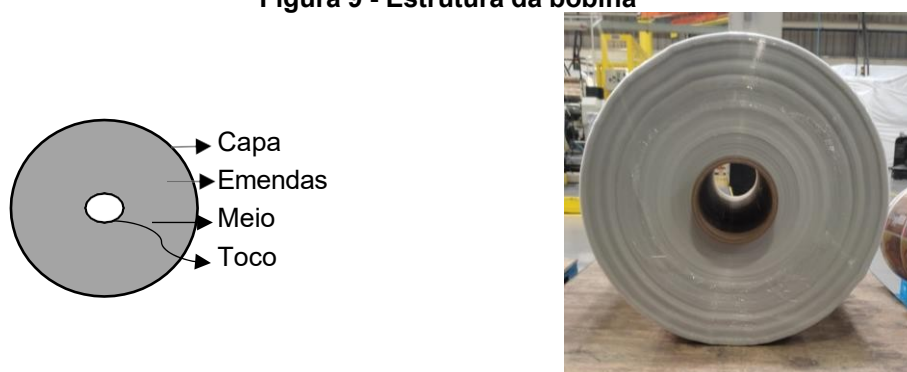
As estruturas do filme e da bobina da embalagem estão representadas, nas Figura 8 e 9, respectivamente.

Figura 8 - Estrutura da embalagem



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 9 - Estrutura da bobina



Fonte: Autoria própria (2022)

Após a impressão e laminação, as “bobinas mãe” passam pelo processo de corte em “bobinas filhas”, sendo posteriormente embaladas, para só então serem expedidas para o cliente, onde ocorre a formatação da embalagem partir das “bobinas filhas” e envase do produto.

O material reclamado foi encaminhado para retrabalho, e as análises laboratoriais realizadas nas amostras coletadas das bobinas reprovadas validaram que a VOC poderia ser traduzida na CTQ de coeficiente de atrito.

4.2 Medir (*Measure*)

Para início da etapa *Measure*, foi elaborado o Plano para Coleta de Dados, apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Plano de coleta de dados

Indicador	Descrição	Forma de medição	Onde é medido?	Quem mede?	Com qual frequência?	Em que sistema será gerenciado?
Histórico	Registro de análises de COF realizadas na inspeção final do produto acabado	Análise laboratorial	DSM	Analista de qualidade	Diária	Sistema de gestão da qualidade
Histórico	Registro de análises de COF realizadas durante o processo produtivo do filme de PE	Análise laboratorial	DSM	Analista de qualidade	Diária	Sistema de gestão da qualidade
Devolução	Análises de COF nas bobinas reclamadas	Análise laboratorial	DSM	Engenheiro de produto	Pontual	Plataforma de apontamentos da qualidade

Fonte: Autoria própria (2022)

As medições de COF são realizadas no instrumento de medição do coeficiente de atrito DSM, Figura 10. A parte da amostra que fica fixa é chamada de “pista” e a parte móvel de “carrinho”, e mede-se o atrito entre as amostras.

Figura 10 - Equipamento de medição do COF

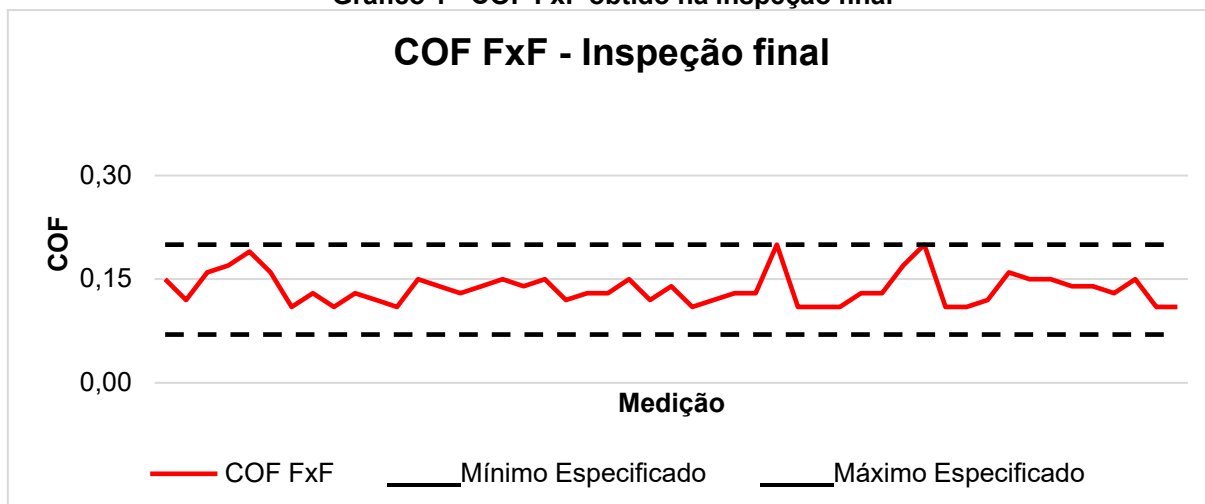


Fonte: Autoria própria (2022)

Internamente, o COF é medido durante todas as etapas do processo produtivo de forma amostral, a última análise é chamada de inspeção final e é feita no produto acabado (PA). Os resultados obtidos na inspeção final do material reclamado encontram-se no Gráfico 1, onde FxF significa que o COF foi obtido ensaiando-se dois

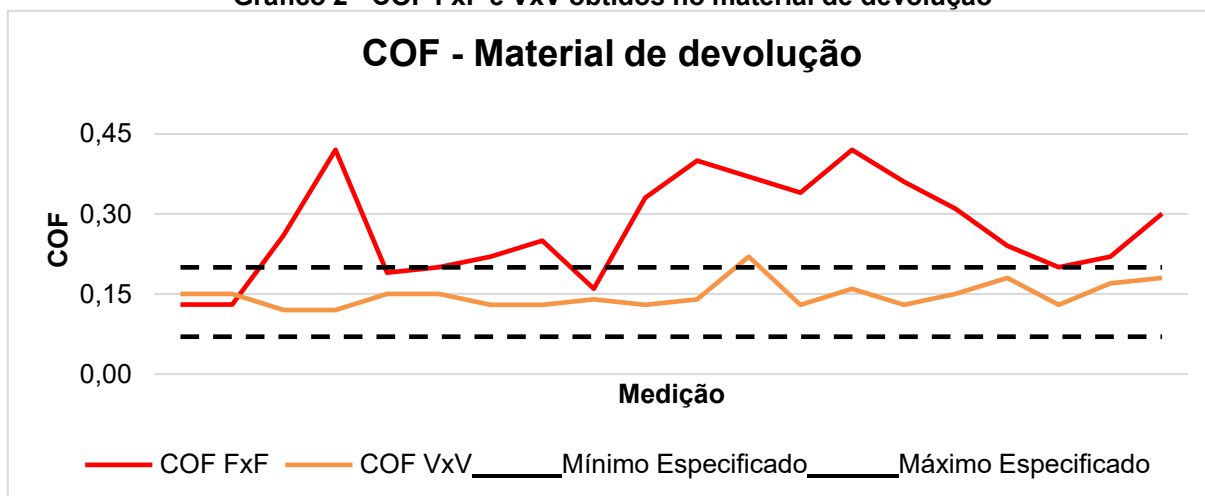
lados iguais da amostra, nesse caso as frentes dos filmes. Isto porque é desta maneira que o filme é solicitado em máquina na formatação da embalagem final no cliente. Nota-se que os valores estão dentro do range especificado por padrão, porém é possível observar uma oscilação entre os valores de mínimo e máximo da especificação.

Gráfico 1 - COF FxF obtido na inspeção final

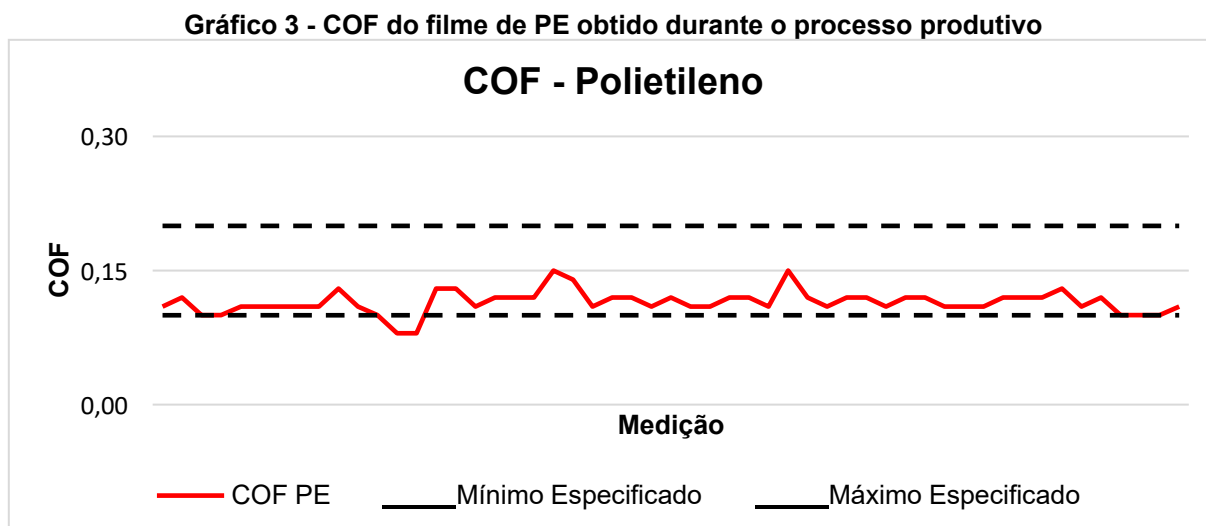


Ao analisar as bobinas reclamadas podemos observar uma significativa oscilação de valores, porém com resultados acima do especificado, conforme Gráfico 2. Neste caso, além de se analisar o COF frente x frente (FxF) das amostras do filme, ensaiou-se também verso x verso (VxV).

Gráfico 2 - COF FxF e VxV obtidos no material de devolução



O gráfico 3 apresenta os dados de COF do filme de polietileno branco durante o processo produtivo (após extrusão), nota-se que os resultados se encontram mais próximos do mínimo especificado. É importante ressaltar que as amostras retiradas para análise são sempre da capa (região mais externa) da bobina.



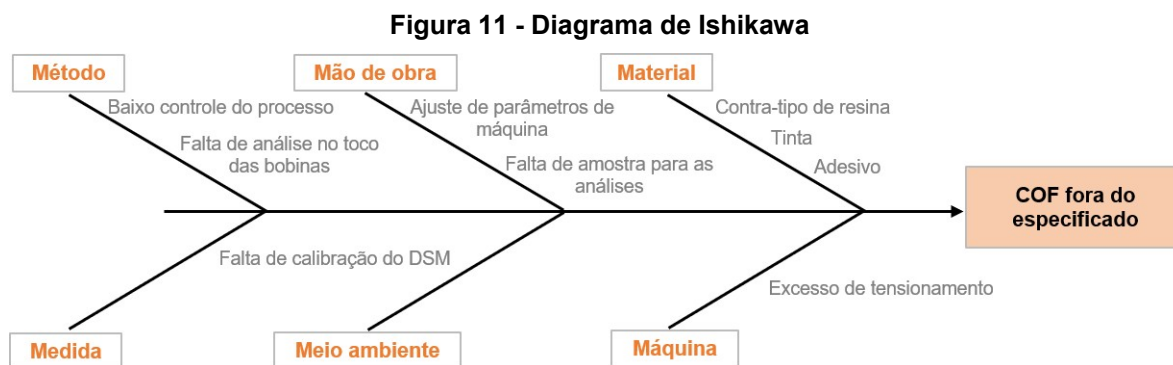
Fonte: Autoria própria (2022)

Um ponto de observação é a amostragem realizada no controle do COF nos filmes de polietileno. Para a largura do filme em questão, a extrusora gera 6 bobinas por tirada, sendo analisada apenas uma delas, ou seja, somente 17% do processo é monitorado.

Após recolher os dados, foi realizado um *brainstorming* para levantamento das possíveis causas do desvio.

4.3 Analisar (*Analyse*)

Foi realizado um *brainstorming* a fim de identificar as principais vozes que podem causar o desvio de COF. As ideias foram organizadas no Diagrama de Ishikawa, como mostra a Figura 11.

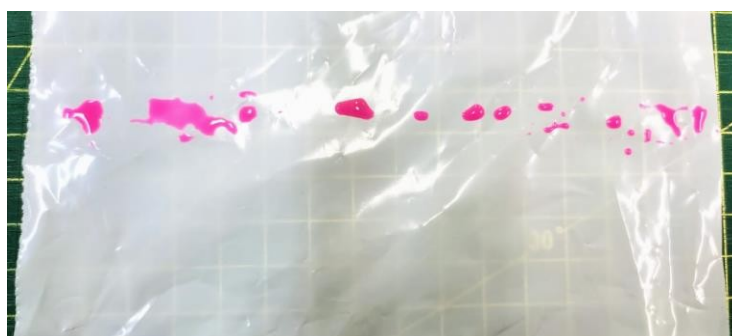


Fonte: Autoria própria (2022)

Para iniciar o Teste de Hipóteses, foi realizada a rastreabilidade dos insumos, que não apontou nenhum desvio decorrente das resinas, tintas e adesivos utilizados.

A análise de tratamento Corona, realizada na Figura 12, mostra evidências de que não há tratamento passante no material reclamado. Esse teste consiste em aplicar uma solução de tratamento de tensão superficial especificada e observar seu comportamento na amostra. O lado analisado, neste caso, é o contrário do qual o tratamento Corona é realizado, com o objetivo de identificar se há tratamento passante, ou seja, quando o tratamento é muito forte e passa para o outro lado da amostra. Quando a solução é absorvida pela superfície do material indica que o tratamento passou, isso significa que o material apresenta uma tensão superficial maior que o esperado e esse resultado pode influenciar no aumento do coeficiente de atrito devido à formação de rugosidades no material.

Figura 12 - Análise de tratamento Corona passante

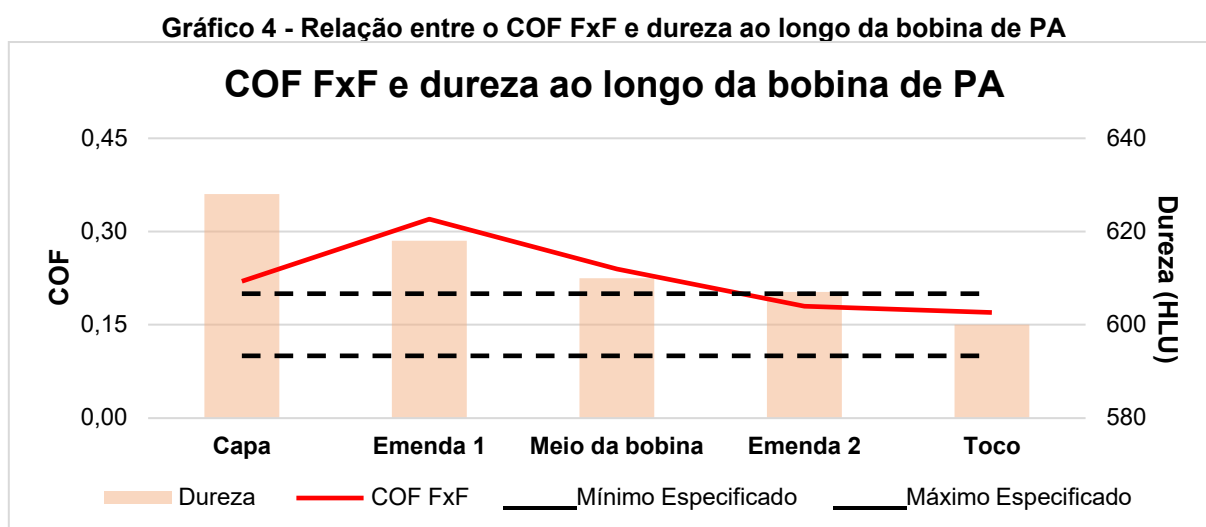


Fonte: Autoria própria (2022)

Para verificar se houve excesso de tensionamento durante a fase do corte, foram realizadas análises de COF e dureza ao longo de uma bobina reclamada, examinando a capa, meio e toco (região mais interna) da bobina, além de pontos de emendas, conforme o Gráfico 4. As emendas são regiões demarcadas na bobina em que se retirou algum defeito ou foi realizada uma junção entre duas bobinas para se atender a especificação do cliente.

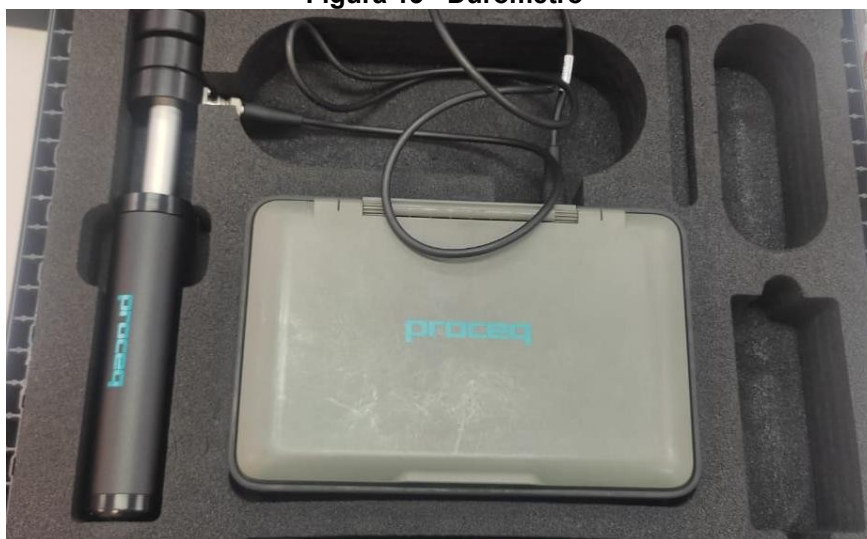
Para tanto, utilizou-se amostras de filmes da bobina de produto acabado (PA), que é a bobina que segue para a formatação da embalagem final no cliente.

O ensaio de dureza é feito em um durômetro para bobinas, Figura 13, pressionando uma ponteira perpendicularmente à amostra. O equipamento mede a velocidade do corpo de impacto propulsionado pela força de uma mola contra a superfície da bobina a ser testada. Para resultados mais confiáveis, foram realizadas medições em pontos diferentes ao longo da bobina e utilizada uma média dos valores.



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 13 - Durômetro

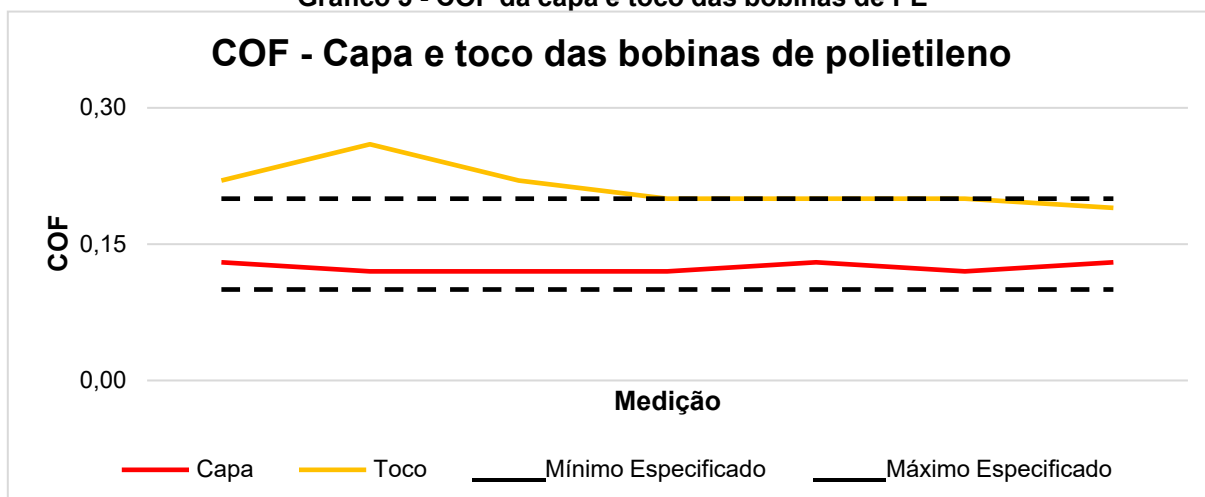


Fonte: Autoria própria (2022)

Foram observadas variações e valores altos para o COF, porém não foi possível notar relação direta com a dureza, descartando a possibilidade de excesso de tensionamento na fase do corte.

Bobinas de polietileno também foram analisadas, Gráfico 5, constatando valores de COF com diferenças significativas entre a capa e o toco das bobinas, o que indica um possível excesso de tensionamento na fase de extrusão do filme.

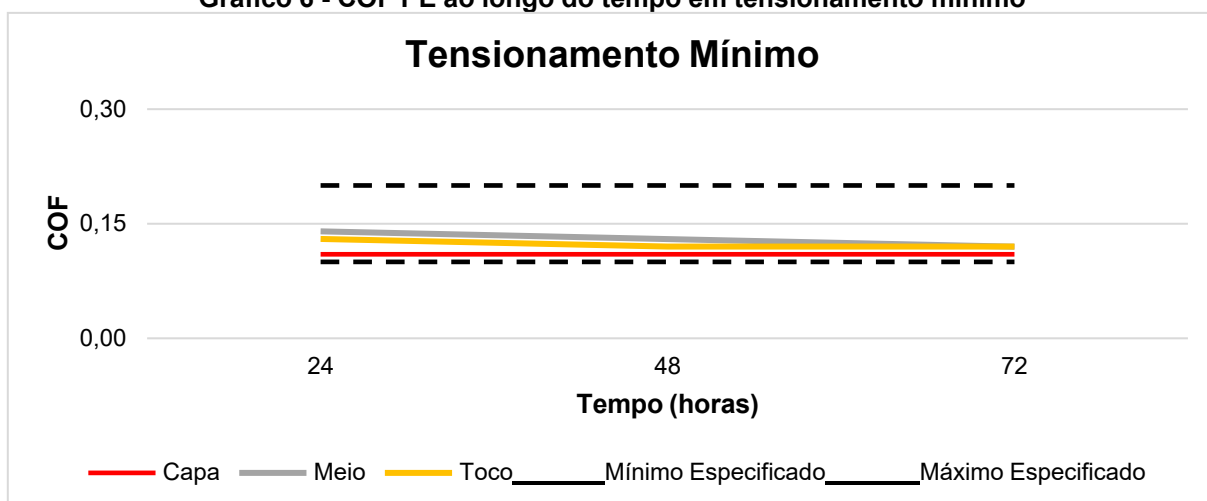
Gráfico 5 - COF da capa e toco das bobinas de PE



Fonte: Autoria própria (2022)

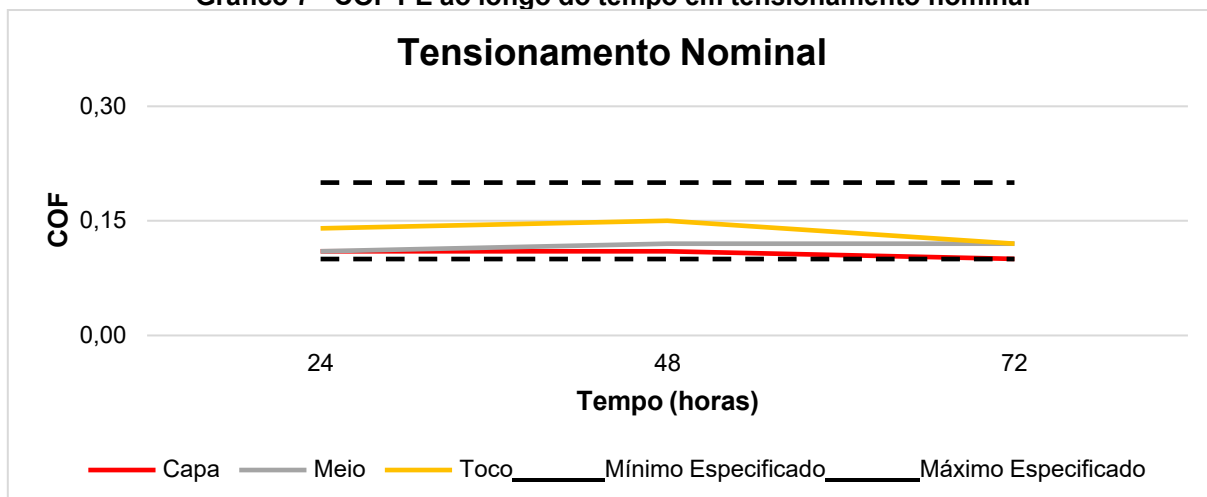
Para validar a causa, foi realizado um DOE variando o tensionamento da embobinadeira da extrusora nos parâmetros mínimo (Gráfico 6), nominal (Gráfico 7) e máximo (Gráfico 8), com avaliação do COF em 24, 48 e 72 horas.

Gráfico 6 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento mínimo



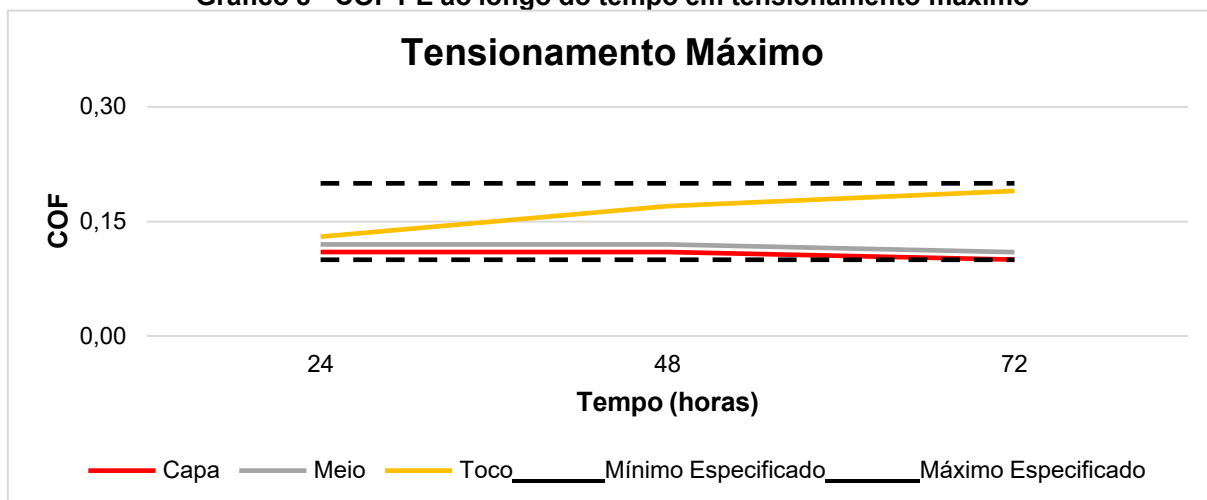
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 7 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento nominal



Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 8 - COF PE ao longo do tempo em tensionamento máximo



Fonte: Autoria própria (2022)

Ao comparar a capa com o meio das bobinas ao longo do tempo, para as três variações de tensionamento, não se observa oscilações significativas no COF. O mesmo se aplica ao comparar capa e toco das bobinas ao longo do tempo para as variações de tensionamento mínimo e nominal. Já a bobina produzida com tensionamento máximo, apresentou grande variação ao longo do tempo e com valor muito próximo ao COF máximo especificado.

Dessa forma, é possível validar o excesso de tensionamento como causa do desvio de COF. Com base nisso, foi utilizada a ferramenta dos 5 Porquês para investigar a raiz do problema, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 - 5 Porquês

1° Por quê?	2° Por quê?	3° Por quê?	4° Por quê?	5° Por quê?
Tensionamento excessivo na embobinadeira da extrusora	Necessidade de compensação de condições mecânicas e pneumáticas do equipamento	Sistema de embobinamento estava danificado	Não foi realizada a manutenção preventiva	Falta de padronização

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao inspecionar as folhas de processos, documento que registra os parâmetros de produção, dos filmes de polietileno utilizados no material reclamado, foi constatado que a embobinadeira estava operando em tensões acima do padrão máximo. Além disso, o campo de observações, espaço da folha de processos destinado para justificar parâmetros utilizados fora do especificado, estava sem preenchimento. Após questionar os operadores da extrusora, estes informaram que a embobinadeira estava danificada e foi necessário aumentar a tensão para compensar o problema. A peça foi danificada devido à falta de manutenção preventiva no equipamento, decorrente de uma falta de padronização da periodicidade das manutenções.

4.4 Melhorar (*Improve*)

Após identificar os pontos de melhoria necessários para corrigir e evitar a reincidência do desvio, um plano de ação foi desenvolvido utilizando a ferramenta 5W2H, como representado no Quadro 6.

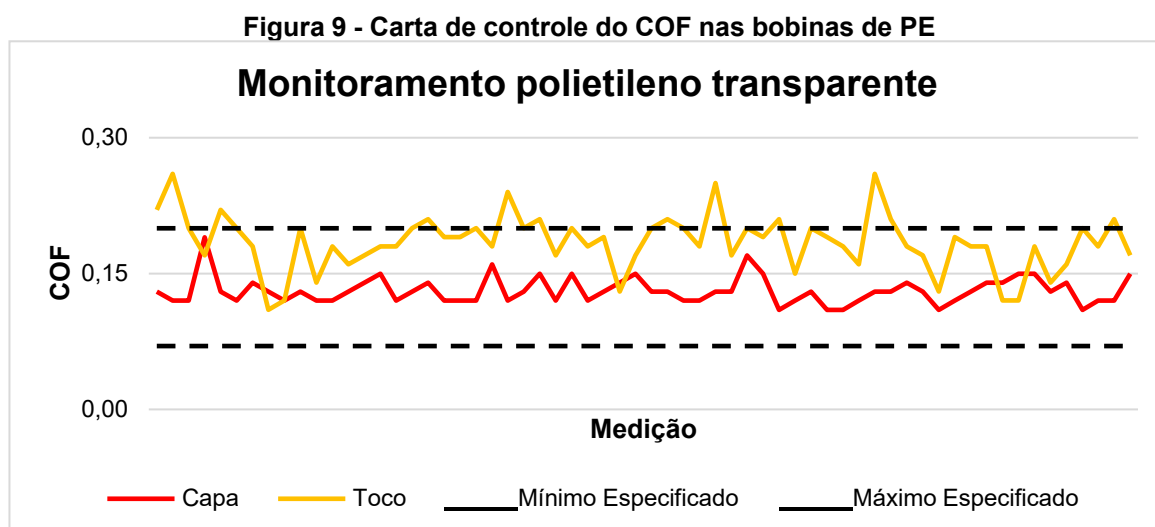
Quadro 6 - Plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H

O quê? <i>What?</i>	Por quê? <i>Why?</i>	Onde? <i>Where?</i>	Quando? <i>When?</i>	Quem? <i>Who?</i>	Como? <i>How?</i>	Quanto custa? <i>How much?</i>
Reestabelecer as condições básicas da extrusora	Cabo rompido que proporciona a curvatura dos rolos-banana do embobinamento na máquina	Extrusora	28/02/2022	Especialista de Processos - Extrusão	Manutenção corretiva	R\$2.000,00
Intensificar periodicidade de: trimestral / para: mensal para inspeção visual dos rolos bananas	Periodicidade insuficiente para detecção do desvio	Extrusora	28/04/2022	Especialista de Processos - Extrusão	Plano de preventiva	R\$0,00
Aumentar a frequência de inspeção de COF na fase de extrusão	Amostragem insuficiente para detecção de desvio	Plataforma de apontamentos da qualidade	01/06/2022	Supervisor da qualidade	Alteração da frequência de análise no sistema de gestão da qualidade	Necessário aumento no quadro de funcionários
Estabelecer análises de COF no toco das bobinas de polietileno	Análise somente na capa da bobina impossibilitou a detecção do desvio	Plataforma de apontamentos da qualidade	10/03/2022	Pesquisador - R&D	Adicionar teste na especificação técnica e no sistema de gestão da qualidade	R\$0,00

Fonte: Autoria própria (2022)

4.5 Controlar (*Control*)

Para finalizar o ciclo DMAIC, foi estabelecida uma carta de controle para monitorar o coeficiente de atrito nos tocos das bobinas de polietileno, como mostra Gráfico 9.



Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso, foi estabelecida uma auditoria das folhas de processo para monitorar os parâmetros de máquina e identificar possíveis desvios, em adição aos treinamentos realizados, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Treinamentos realizados

Causa fundamental	Solução implementada	Treinamento realizado
Produção fora dos padrões de processo na extrusora	Se necessário ajuste de parâmetros de máquina, coletar autorização com assinatura do especialista de processos	Preenchimento e cumprimento das folhas de processo
Análises de COF apenas nas capas das bobinas de polietileno	Implementação de teste de COF no toco das bobinas de polietileno no sistema de qualidade	Orientação aos inspetores da qualidade em relação à realização das análises

Fonte: Autoria própria (2022)

Por fim, o material devolvido passou por um processo de aplicação de deslizante em sua superfície, de modo a controlar e readequar o coeficiente de atrito aos parâmetros especificados. Após, as bobinas retornaram ao cliente, que conseguiu utilizar o material de forma bem-sucedida.

5 CONCLUSÃO

A aplicação do *Lean Six Sigma* através da metodologia DMAIC foi bem-sucedida na investigação de causa-raiz e melhoria do processo produtivo. Na etapa “Definir”, com o auxílio das ferramentas CTQ, *Project Charter*, 5W2H e SIPOC, foi possível mapear o problema e visualizar todas as etapas do processo produtivo. Em seguida, na etapa “Medir”, foi realizado um Plano de Coleta de Dados e Carta de Controle para entender a dimensão do desvio e histórico de produção. Por meio de *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa, Teste de Hipóteses, DOE e 5 Porquês, foram levantadas as principais vozes a serem estudadas na etapa “Analisar”, descartando as suspeitas de tratamento Corona passante, dureza excessiva na fase do corte e lotes defeituosos de resinas, tintas ou adesivos. Ainda nesta etapa, conclui-se como causa-raiz o excesso de tensionamento na fase de extrusão das bobinas de polietileno transparente, a partir das análises de COF nas amostras provenientes de diferentes etapas da produção e retiradas de diferentes regiões das bobinas. Tal tensionamento foi resultado de uma necessidade de compensação de condições mecânicas do equipamento proveniente de problemas técnicos por manutenção preventiva tardia.

Em sequência, nas etapas “Controlar” e “Melhorar”, foi desenvolvido um plano de ação por meio da ferramenta 5W2H para correção e aprimoramento do processo produtivo, além da aplicação de Auditorias e Carta de Controle, e execução de Treinamentos para monitoramento das soluções implementadas e controle da qualidade do produto.

Dessa forma, é possível concluir que o Ciclo DMAIC proporciona a melhoria contínua dos processos, e a aplicação de sua metodologia contribui com o objetivo de chegar mais próximo de zero defeitos, diminuindo desperdícios e desenvolvendo um melhor relacionamento com o cliente.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como oportunidade para trabalhos futuros, destaca-se a aplicação do Ciclo DMAIC no fluxo produtivo a fim de atuar como forma preventiva e não corretiva, no aperfeiçoamento dos processos industriais.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, J. C. et al. iLeanDMAIC: a methodology for implementing the lean tools. **Procedia Manufacturing**, v. 41, p. 1095–1102, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919312004>. Acesso em: 09 novembro 2022.
- GOICOCHEA, A. G. et al. Friction coefficient and viscosity of polymer brushes with and without free polymers as slip agents. **Journal of Molecular Liquids**, v. 219, p. 368-376, jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.03.039>. Acesso em: 17 maio 2022.
- LUÍS, V. S. F. **Embalagens flexíveis**: estudo do processo de reticulação de adesivos e do coeficiente de atrito. 2013. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, São Paulo, 2013. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/7148/1/DM_VâniaLuís_2013_MEQ.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.
- MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.
- MATHEWS, P. G. **Design of Experiments with MINITAB**. 1 ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2004.
- W4Chem**, c2015. Inteligência de mercado para os negócios relacionados às cadeias de valor das indústrias petroquímica, química. Disponível em: <https://www.w4chem.com>. Acesso em: 20 maio 2022.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- MORRIS, B. A. **The Science and Technology of Flexible Packaging**: Multilayer Films from Resin and Process to End Use. 1. ed. Oxford, UK: Elsevier Ltd, 2016.
- MOYER G. **Form/fill/seal, vertical**. ed Bakker M. Wiley encyclopedia of packaging technology. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- PEACOCK, A. J. **Handbook of polyethylene**: structures, properties, and applications. New York: Marcel Dekker, 2000.
- SELLIN, N. **Análise da superfície de polímeros pós-tratamento Corona**. 2002 Tese (Doutorado) – Engenharia Química, UNICAMP, São Paulo, 2002.
- SORS, L.; BARDÓCZ, L.; RADNÓTI, I. **Plásticos**: moldes e matrizes. Curitiba: Hemus, 2002.
- WAGNER, J.R. **Multilayer flexible packaging**. 2 ed. Chadds Ford: Elsevier, 2016.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2021.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

W4Chem, c2015. Inteligência de mercado para os negócios relacionados às cadeias de valor das indústrias petroquímica, química. Disponível em: <https://www.w4chem.com>. Acesso em: 20 maio 2022.

FERREIRA, J. C. et al. iLeanDMAIC: a methodology for implementing the lean tools. **Procedia Manufacturing**, v. 41, p. 1095–1102, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919312004>. Acesso em: 09 novembro 2022.

ZUSA, M. **A menina que roubava livros**. 3 ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2013