

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA GAIO MARTINS

**ANÁLISE DA OPACIDADE E DA FORÇA DE LAMINAÇÃO DE UMA
EMBALAGEM FLEXÍVEL QUANDO RETIRADA A TINTA BRANCA DA CAMADA
INTERNA NA FASE DE IMPRESSÃO**

LONDRINA

2023

CAROLINA GAIO MARTINS

**ANÁLISE DA OPACIDADE E DA FORÇA DE LAMINAÇÃO DE UMA
EMBALAGEM FLEXÍVEL QUANDO RETIRADA A TINTA BRANCA DA CAMADA
INTERNA NA FASE DE IMPRESSÃO**

**Analysis of opacity and lamination strength of a flexible packaging when the
white ink is removed from the inner layer during the printing phase**

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

Orientador(a): Profa. Dra Joice Erica Motezuki.

LONDRINA

2023



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

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

CAROLINA GAIO MARTINS

**ANÁLISE DA OPACIDADE E DA FORÇA DE LAMINAÇÃO DE UMA
EMBALAGEM FLEXÍVEL QUANDO RETIRADA A TINTA BRANCA DA CAMADA
INTERNA NA FASE DE IMPRESSÃO**

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: 06 de dezembro de 2023

Joice Erica Motezuki

Mestrado e Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Elisângela Corradini

Mestrado em Química e Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Eduardo Cava

Mestrado e Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Joice Erica Motezuki, por todo apoio e ensinamentos, tanto durante a meu trabalho de conclusão de curso quanto durante à graduação. Sua contribuição foi primordial e essencial durante todo o trabalho. Agradeço todos meus professores e colegas que fizeram parte da minha jornada.

Agradeço à Lucia Helena, minha mãe, ao João (*in memorian*), meu pai, e a minha irmã Daniela, por sempre me apoiarem e tornarem possível a minha chegada até aqui.

Agradeço ao meu namorado e companheiro, Vinicius Bazaglia, por estar ao meu lado durante essa caminhada, me dando suporte e estando sempre presente.

Aos meus colegas de trabalho pelos conhecimentos compartilhados durante todo esse projeto, os quais foram primordiais para conquistar os resultados esperados. A todos, o meu mais sincero obrigada.

“A menos que modifiquemos a nossa forma de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A crescente demanda por embalagens poliméricas flexíveis se deve à praticidade que alguns descartáveis oferecem ao consumidor, mas principalmente à viabilidade econômica inerente à produção destas. Embalagens flexíveis que possuem polietileno (PE) branco em sua estrutura final oferecem melhor cobertura para a etapa posterior de impressão e laminação. Visando a redução do custo de produção e mantendo o mesmo padrão de processo, este estudo apresenta uma análise quanto à influência da remoção de tinta branca de recobrimento da arte impressa na estrutura de embalagens poliméricas que levam um filme PE branco multicamada em sua formulação, a partir de análises estatísticas de processos e análises visuais.

Palavras-chave: embalagens plásticas; embalagens multicamadas; PE branco; carta controle; capacidade de processo.

ABSTRACT

The growing demand for flexible polymeric packaging is due to the practicality that some disposables offer to the consumer, but mainly to the economic viability inherent in their production. Flexible packaging that has white polyethylene (PE) in its final structure offers better coverage for the subsequent printing and laminating step. Aiming to reduce the production cost and maintaining the same process pattern, this study presents an analysis of the influence of the removal of white ink from the coating of the printed art on the structure of polymeric packaging that has a multilayer white PE film in its formulation, based on statistical analysis of processes and visual analysis.

Keywords: plastic packaging, white PE, control chart, process capability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição do valor bruto da produção de embalagens, por segmento, em 2022.....	15
Figura 2 – Estrutura química do polietileno	16
Figura 3 – Estrutura do polietileno linear de baixa densidade	17
Figura 4 – Estruturas dos polimorfos do TiO ₂	17
Figura 5 – Estruturas multicamadas	19
Figura 6 – Coextrusão balão	20
Figura 7 – Esquema de uma impressora em rotogravura	22
Figura 8 – Processo de impressão em rotogravura.....	23
Figura 9 – Máquina Rotogravura - Rotomec®.....	23
Figura 10 – Espectrofotômetro x-rite eXact™	28
Figura 11 – Papel DrawDown.....	28
Figura 12 – Espectrofotômetro eXact™	29
Figura 13 - Espectrofotômetro eXact™	29
Figura 14 – Exemplo de Carta I-AM	30
Figura 15 – Máquina de Ensaio - Istron®.....	31
Figura 16 – Corte do Corpo de Prova	32
Figura 17 – Amostra em ângulo de 90° durante o teste	32
Figura 18 – Carta I-AM de Opacidade CB.....	34
Figura 19 – Carta I-AM de Opacidade SB.....	35
Figura 20 – Relatório de Capabilidade Normal CB.....	36
Figura 21 – Relatório de Capabilidade Normal SB.....	37
Figura 22 – Comparativo entre as amostras (a) com e (b) sem tinta branca de recobrimento	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Embalagens rígidas, semi-rígidas, e flexíveis	16
Tabela 2 – Escala Sigma	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.2	Justificativas.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Polímeros e o mercado de embalagens	15
2.2	Polietileno (PE)	16
2.3	Dióxido de Titânio	17
2.4	Embalagens poliméricas flexíveis	18
2.5	Coextrusão Balão	20
2.6	Rotogravura	21
2.7	Delaminação de embalagens plásticas	24
2.8	Capabilidade de Processo.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Materiais.....	27
3.2	Metodologia	27
3.2.1	Opacidade de filmes flexíveis.....	27
3.2.2	Carta Controle do Tipo I-AM.....	29
3.2.3	Força de Laminação.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	Análises quantitativas.....	33
4.2	Análises qualitativas	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS.....	40
	ANEXO A – DADOS DA FORÇA DE RESISTÊNCIA À LAMINAÇÃO .	42
	ANEXO B – DADOS DA % DE OPACIDADE COM A TINTA BRANCA	
	42	
	ANEXO C – DADOS DA % DE OPACIDADE SEM A TINTA BRANCA	
	43	

1 INTRODUÇÃO

Filmes plásticos multicamadas são utilizados em larga escala em embalagens alimentícias, devido, principalmente, a capacidade de manter a qualidade do produto e evitar possíveis contaminações que coloquem em risco a saúde do consumidor.

A propriedade de barreira oxigênio é dada por uma das camadas internas, sendo um ou mais polímeros extrusados simultaneamente com essa camada durante o processo de coextrusão. Como camada externa tem-se, normalmente o polietileno (PE), um polímero parcialmente cristalino e flexível, o qual as propriedades dependem das quantidades relativas das fases amorfas e cristalinas (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003). Em geral, as camadas de PE apresentam vantagens como: baixo custo, flexibilidade, resistência à permeabilidade de água e ao vapor d'água, podendo também apresentar boas características de selagem. Aditivos com coloração são adicionados à formulação durante a extrusão, por meio de concentrados de cor, visando atender a critérios de cobertura de coloração na superfície do filme, o qual posteriormente recebe em um dos lados um recobrimento de tinta pelo processo de impressão, seja por flexografia ou rotogravura, para dar formato a arte.

Mesmo em filmes de polietileno que já possuem concentrados de cor previamente incorporados, muitas vezes ainda é necessário o recobrimento da superfície com uma camada de tinta para a formação de um fundo branco, com teores de coloração que possam dar continuidade ao processo de impressão da arte final. Contudo, visando reduzir o custo da produção e a economia de custos a partir do *saving*, o presente estudo teve como objetivo analisar a influência da retirada de tinta branca impressa na camada interna em uma linha de produção específica a partir da carta controle para opacidade e análise da capacidade quanto à resistência à laminação da embalagem.

Além da redução do custo de produção, ao retirar a tinta branca, pela análise de capacidade, foi possível observar uma maior estabilidade no processo produtivo, uma vez que há menos fatores externos com variações de propriedades, atuando na estrutura. A opacidade do material se manteve estável também, uma vez que o PE multicamada possuía elevada concentração de *master branco*, o qual não teve alteração.

1.1 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo analisar a influência da retirada da tinta branca da camada interna no aspecto final de embalagens flexíveis.

Os objetivos específicos são:

- a) Analisar a característica visual qualitativa e quantitativa;
- b) Analisar a opacidade do material;
- c) Analisar a resistência mecânica do filme sob tração;

1.2 Justificativas

A crescente demanda por embalagens poliméricas flexíveis se deve à praticidade que alguns descartáveis oferecem ao consumidor, mas principalmente à viabilidade econômica inerente à produção destas. Embalagens flexíveis que possuem PE branco e recobrimento de tinta branca em sua estrutura final, oferecem melhor cobertura visual na arte. Contudo, visando a redução do custo de produção, este estudo tem por objetivo analisar a influência da retirada da tinta branca da camada interna na fase de impressão em filmes plásticos que levam PE branco em sua estrutura, a partir de análises quantitativa e qualitativa.

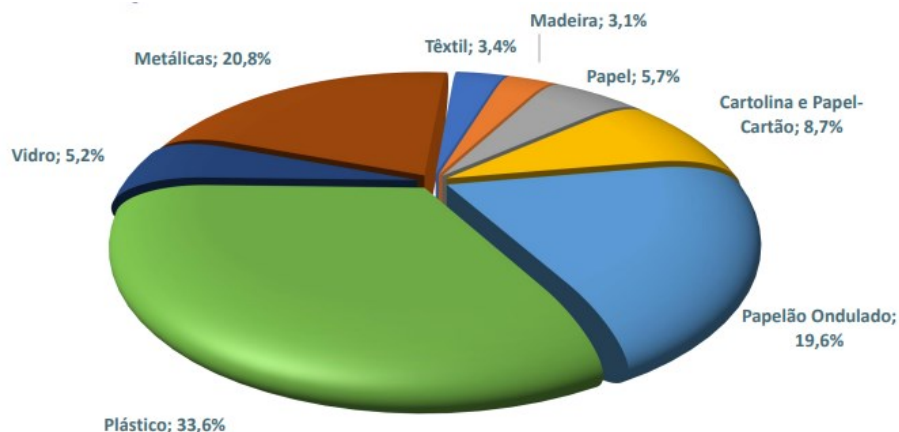
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Polímeros e o mercado de embalagens

Atualmente, os polímeros são aplicados em vários setores, como na construção civil, indústria automotiva, produção de eletro-eletrônicos e embalagens. Isto ocorre devido à algumas vantagens que os materiais poliméricos apresentam, tais como leveza, flexibilidade, alta processabilidade, durabilidade e versatilidade, além de seu baixo custo.

No mercado de embalagens, o plástico ocupa o primeiro lugar com a maior participação no valor da produção (Figura 1), correspondente a 33,6% do total, seguido pelo setor de embalagens metálicas com 20,8%, papel ondulado com 19,6%, cartolina e papel cartão com 8,7%, papel com 5,7%, têxtil com 3,4% e madeira com 3,1%. Correspondente ao total de R\$ 123,2 bilhões, um crescimento de 3,9% em relação a 2021 (ABRE, 2022).

Figura 1: Distribuição do valor bruto da produção de embalagens, por segmento. em 2022



Fonte: IBGE 2022

Estas embalagens podem estar nas formas de sacolas, garrafas, caixas e filmes. As embalagens plásticas flexíveis (com as suas propriedades de barreira a gases, a vapor d'água, a aromas ou à luz) estão cada vez mais presentes nas gôndolas dos supermercados tanto por atenderem às exigências do consumidor, quanto ao acondicionamento e apresentação dos alimentos.

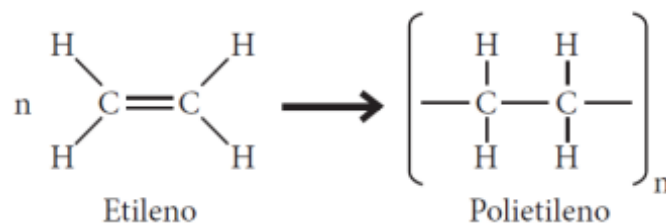
As embalagens desempenham um importante papel na indústria alimentícia, sendo de extrema importância para a conservação do produto, mantendo a qualidade e segurança, como barreira contra deterioração química, física e microbiológica (JORGE, 2013).

Dentre os polímeros mais utilizados em embalagens flexíveis para alimentos está o polietileno (PE), poliolefina de fácil processamento que pode ser utilizado tanto em filmes monocamada como em filmes multicamadas.

2.2 Polietileno (PE)

O polietileno, também conhecido como PE, consiste em uma resina termoplástica parcialmente cristalina e flexível, obtida a partir da reação de polimerização do etileno. São parcialmente solúveis em todos os solventes caso expostos à temperaturas abaixo de 60°C e atóxicos em condições normais. Possuem boa resistência química, são termosseláveis, além de promoverem uma barreira à umidade excelente. Sua estrutura química está representada na Figura 2.

Figura 2: Estrutura química do polietileno.

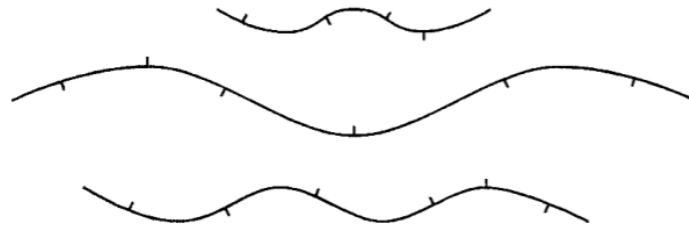


Fonte: JORGE, 2013

Dentre as classificações do polietileno, o linear de baixa densidade (PELDB) possui a sua densidade entre 0,910 – 0,925 g/cm³ (HERNANDEZ et al., 2000). Devido as boas propriedades óticas e boa processabilidade e baixa resistência mecânica, é o polímero mais utilizado na fabricação de filmes extrusados (GUERRINI et al., 2004).

O PELDB possui cadeias lineares de baixo grau de ramificações curta e cristalina em lamelas ordenadas, apresentando maior temperatura de fusão e alta capacidade de selagem a quente (COUTINHO et al., 2003). A sua estrutura está representada na Figura 3 a seguir.

Figura 3: Estrutura do polietileno linear de baixa densidade

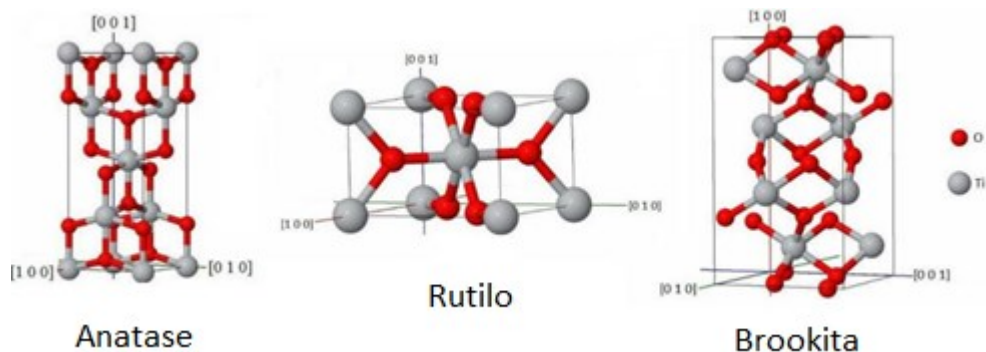


Fonte: PEACOCK, 2000

2.3 Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio (TiO_2) consiste em um composto inorgânico, de baixo custo presente de forma abundante na natureza. Em sua forma cristalina, pode ser encontrado em três fases polimorfas diferentes, sendo a brookita, de estrutura ortorrômbica, anatase e rutilo, com estruturas tetragonais, conforme ilustrado abaixo (DIEBOLD, 2003). As três fases do TiO_2 estão expostas na Figura 4, abaixo.

Figura 4: Estruturas dos polimorfos do TiO_2



Fonte: adaptado de (ANTON; BRAGA, 2015)

De acordo com as fases que o material se encontra ele é utilizado para diferentes tipos de aplicações: pigmentos para tintas de coloração branca, corantes alimentícios, filtro solar ou pasta de dente. Sendo a primeira a principal, pois a sua estrutura permite com que disperse a luz branca de forma eficiente (VITORETI, A. B. F. et al., 2017).

O concentrado branco do presente estudo é produzido, então, através da formulação entre o TiO_2 , resina nitrocelulósica e poliuretânica e solventes.

2.4 Embalagens poliméricas flexíveis

As embalagens poliméricas podem ser classificadas como rígidas, semi-rígidas ou flexíveis conforme disposto na Tabela 1.1 (JORGE, 2013).

Tabela 1.1 Embalagens rígidas, semi-rígidas e flexíveis

Embalagens	Metálica	Plástica	Vidro	Papel
Rígidas	Latas em folha de flandres e alumínio	Bandejas, garrafas, potes, grades e caixas	Garrafas e frascos	Caixas de papelão
Semi-rígidas	Bandejas de alumínio	Bandejas em poliestireno expandido Frascos, copos e potes termo-formados	–	Caixas e cartuchos em cartolina Bandejas e alvéolos em polpa moldada
Flexíveis	Folha de alumínio Estruturas laminadas	Filmes Estruturas laminadas	–	Folha de papel Estruturas laminadas

Fonte: Poças, Selbourne e Delgado (200 - ?)

A escolha da embalagem que será utilizada depende tanto de fatores de proteção e vida útil, quanto da demanda do mercado e os aspectos econômicos (JORGE, 2013).

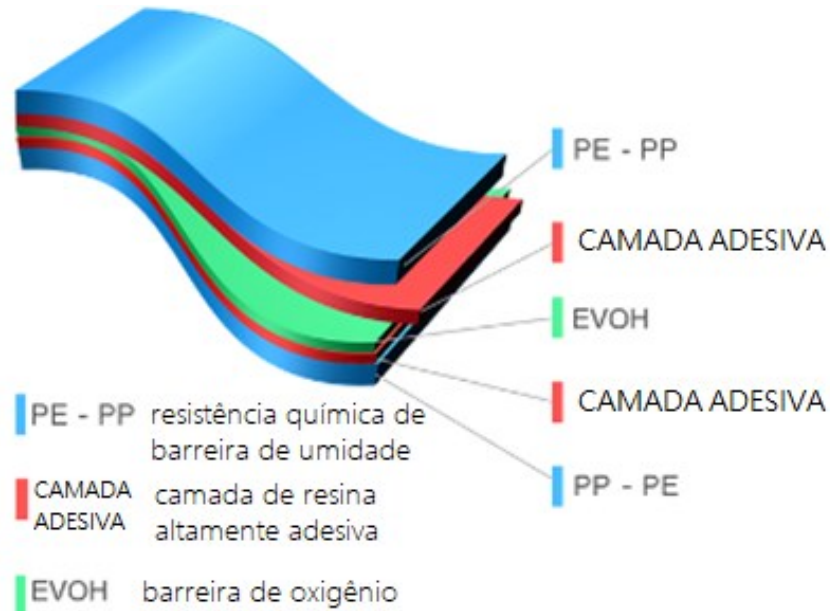
Embalagens flexíveis são de fácil manuseio, podem ser confeccionadas a partir de diferentes materiais tendo a função de proteger e garantir o estado de conservação do produto por meio das propriedades de barreira, além de possuírem ótima viabilidade econômica. (LUÍS, 2013)

Ao utilizar um polímero simples na composição do filme plástico é difícil obter todas as propriedades necessárias. Assim, os filmes multicamadas conseguem atingir uma combinação de vantagens, tais como: barreira a gases, barreira à luz, resistência térmica e mecânica, benefícios como menor espessura, também menor emissão de gases durante o transporte, obtendo melhor desempenho e eficiência da embalagem flexível.

Filmes de embalagens flexíveis são processados a partir da matéria-prima do polímero, sendo, então, os mais utilizados o polietileno (PE), o polipropileno biorientado (BOPP) e o politereftalato de etileno (PET). Esses materiais devem apresentar propriedades mecânicas e térmicas adequadas para posterior utilização nos processos de impressão e laminação, com alta produtividade, sendo mantida a capacidade produtiva desses processos.

A Figura 5 a seguir mostra uma estrutura multicamada típica para filmes poliméricos com propriedades de barreira.

Figura 5: Estrutura multicamadas



Fonte: MCPP Global (Adaptado)

Pode-se observar que a camada central é EVOH (copolímero de etileno e álcool vinílico), uma resina com alta estabilidade térmica, resistência química e flexibilidade. Tal resina funciona como filme de barreira, impedindo a entrada de oxigênio ou até mesmo dióxido de carbono, além de preservar aroma e sabor, sendo utilizado tanto em embalagens de carnes frescas e frios, quanto em embalagens *standup pouch*. As camadas externas podem ser compostas por PE, PP, ou até mesmo PET, com função de barreira de umidade. Já a camada intermediária trata-se de um adesivo, responsável pela aderência do PE, PP ou PET ao EVOH (SANTANA, 2019).

É possível trabalhar com filmes poliméricos monocamadas em uma combinação das propriedades físico-químicas e tecnológicas de processamento, produzidos através de blendas poliméricas (PETRIS, et al., 1998).

Quando dois ou mais polímeros são extrusados simultaneamente e unidos para formar uma estrutura única, com múltiplas camadas, o processamento é denominado coextrusão. Trata-se de um processo utilizado normalmente na indústria de embalagens alimentícias principalmente por possibilitar o projeto de estruturas

multicamadas com diferentes propriedades funcionais, associada a cada camada (VALDES, et al., 1998).

2.5 Coextrusão Balão

A coextrusão consiste em uma combinação de duas ou mais camadas de polímeros fundidos, formando um único filme, sendo as resinas extrusadas através da mesma matriz (MARTÍNEZ; ARROYO, 1998).

O filme de barreira coextrudado pode ser de três camadas (apenas PE), sete camadas ou até mesmo nove camadas, essas com EVOH na camada central. As diferentes camadas são destinadas ao selamento a quente, impressão e propriedades de barreiras para o processo final (ANYADIKE, 2010).

O polímero fundido a partir da extrusora acontece através de uma matriz anelar, proveniente da extrusora que fornece o material homogêneo, à pressão e temperaturas constantes, por meio de um anel tubular e será soprado, atribuindo ao plástico a forma de um balão (CANTOR, 2006).

O processo de extrusão balão está representado na Figura 6.

Figura 6: Coextrusão balão



Fonte: Extrusora de filme tubular soprado (CARNEVALLI, 2014)

Os polímeros são processados em pellets e fornecidos por meio do funil e levados adiante pela ação da rosca. Enquanto passam pela gaiola de calibração, se fundem ao contato com as paredes quentes e, principalmente, pela geração de calor de fricção do fundido (ANYADIKE, 2009). Alterando a composição dos pellets é possível obter variações nas propriedades do filme, bem como variações das condições de processamento na extrusão (CANTOR, 2006).

O processo de coextrusão permite o ajuste do tamanho do balão e, portanto, da largura do filme produzido.

A velocidade em que o filme é puxado, combinada com o insuflamento do balão e a regulagem do sistema de resfriamento, permite que haja melhoria e controle nas propriedades do filme (SOUZA E ALMEIDA, 2015).

É possível obter filmes com propriedades diferenciadas em termos de selagem, deslizamento, propriedades óticas, propriedades mecânicas, de barreira a gases e à umidade (BRASKEM, 2008).

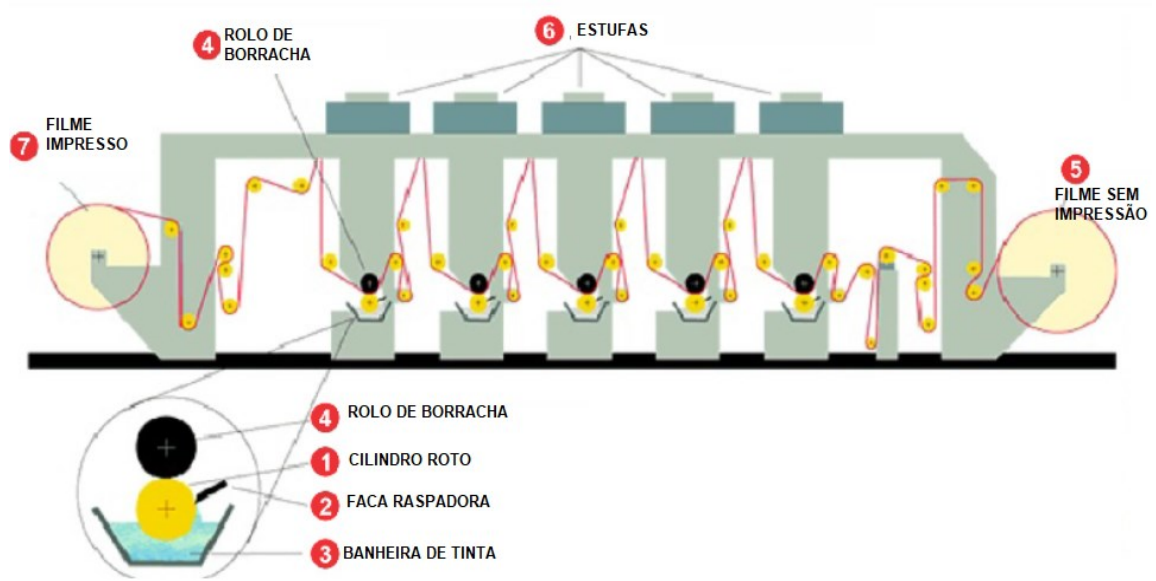
2.6 Rotogravura

A impressão em Rotogravura consiste em um processo de impressão de baixo-relevo o qual possibilita grande qualidade de impressão em alta velocidade de produção. O processo utiliza um cilindro metálico gravado onde tal cilindro possui a base de cobre. Em cima dessa base, é gravada a arte de acordo com a coloração e imagem que deverá aparecer no substrato.

Para esse processo, utilizam-se tintas com alta secagem, sendo as imagens finais criadas a partir da sobreposição de cores.

A máquina de rotogravura é composta por colunas. Cada coluna da máquina imprime uma cor e possui a sua própria estufa de secagem, como ilustra a Figura 7. Vale ressaltar que a quantidade de coluna de cores/estufas varia de máquina para máquina.

Figura 7: Esquema de uma impressora em rotogravura

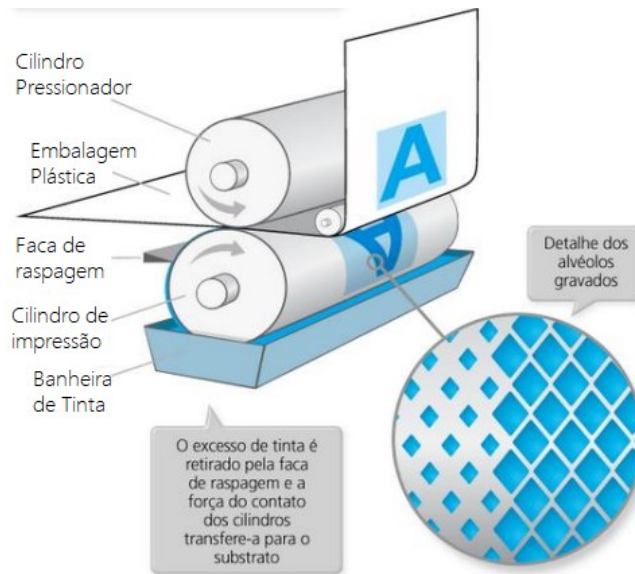


Fonte: <http://fateczl.edu.br/TCC/2010-1/tcc-102.pdf>.

Durante o processo, em cada coluna, o cilindro é submerso a uma banheira de tinta para dar a cobertura de tinta. Uma faca raspadora é responsável por retirar o excesso de tinta do substrato, deixando os alvéolos preenchidos completamente.

O substrato, então, passa entre o cilindro de impressão e o cilindro de borracha, sendo a tinta depositada em sua superfície. A pressão exercida pelos cilindros faz com que a tinta seja transferida ao substrato, como é exemplificado na Figura 8.

Figura 8: Processo de impressão em rotogravura



Fonte: Sig Graphics.

Além das colunas de cores, há máquinas que possuem uma coluna para a aplicação de adesivo e assim, laminar o filme coextrusado em linha com a impressão.

O material do presente estudo foi impresso em uma impressora de rotogravura Rotomec®, a qual possui 10 colunas, mas apenas 8 foram suficientes para produzir o material. Sendo 7 colunas para as cores e 1 coluna para o adesivo laminar com o filme. A Figura 9 ilustra a máquina em questão.

Figura 9: Máquina Rotogravura - Rotomec®



Fonte: Autoria Própria (2023)

2.7 Delaminação de embalagens plásticas

A laminação de materiais flexíveis consiste em uma técnica que permite agregar diferentes tipos de materiais, combinando propriedades distintas de modo que a estrutura final tenha as características necessárias para o acondicionamento e comercialização dos produtos.

Embalagens flexíveis multicamadas, entretanto, podem apresentar a separação das camadas, comprometendo não só a aparência, mas também as propriedades mecânicas, de barreira, a integridade e a vida útil do produto acondicionado (BICHLER et al., 1998).

Dessa forma, a resistência à delaminação, ou seja, a força necessária para separar as camadas de uma estrutura, deve-se principalmente à capacidade de adesão superficial das camadas, além do conhecimento das propriedades físico-químicas das superfícies (GALEMBECK, Gandur, 1995).

Em uma embalagem flexível laminada, fatores como tipo, gramatura e tempo de cura do adesivo; migração de aditivos para superfície do substrato, como os deslizantes; presença de impressão e natureza das tintas; homogeneização dos componentes do adesivo; condições de temperatura e pressão de aplicação de adesivo, possuem influência direta na resistência à delaminação (HERNANDEZ et al., 2000; BIRON, 2008).

Além disso, esforços e as condições às quais a embalagem é submetida durante o transporte, distribuição e comercialização do produto também contribuem para a delaminação do filme (OLAFSSON, Hildingsson, 1995).

2.8 Capabilidade de Processo

A capabilidade corresponde a uma medida por meio de indicadores de desempenho, aplicáveis a variáveis contínuas, sendo representados por C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} . Os indicadores C_p e P_p não consideram o desvio ou a posição, da média do processo em relação às especificações. O mais utilizado pelas empresas é o C_{pk} e P_{pk} . O primeiro considera a posição da média do processo e está localizado em relação às especificações.

O cálculo do C_{pk} é apresentado a seguir:

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right)$$

onde: LSE: limite superior de especificação;

LSI: limite inferior de especificação;

μ : média do processo; e

σ : desvio padrão do processo.

O indicador P_{pk} é o mais adequado quando o processo não está sob o controle estatístico e é calculado da seguinte maneira:

$$P_{pk} = \text{mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{x}}{3s}; \frac{\bar{x} - LIE}{3s} \right)$$

onde: LSE : limite superior de especificação;

LSI: limite inferior de especificação;

\bar{x} : estimativa da média do processo; e

s: estimativa do desvio padrão do processo.

O índice utilizado para determinar a capacidade Seis Sigma consiste em medir a distância da média à especificação mais próxima (LSE ou LIE) em quantidade de desvios padrões (sigmas), utilizando a distribuição normal reduzida (z) e denomina-se nível sigma, o cálculo é apresentado a seguir (TOLEDO; MERGULHÃO et al., 2012).

$$z_s = \frac{LSE - \mu}{\sigma}; e z_i = \frac{LSI - \mu}{\sigma}$$

onde: z_s : índice de capacidade superior;

z_i : índice de capacidade inferior.

Sendo a relação entre C_{pk} e z é a seguinte:

$$z_s = 3 \cdot C_{pks} e z_i = 3 \cdot C_{pki}$$

Segundo Toledo; Mergulhão et al.(2012), o deslocamento do desvio padrão deve ser 1,5, fazendo com que a capacidade assuma formas ao longo prazo (z_{lp}) e

de curto prazo (z_{cp}), sendo a primeira calculada a partir de dados obtidos durante o processo. Para a segunda, considera-se a equação a baixo:

$$z_{cp} = z_{lp} + 1,5$$

Uma metodologia da qualidade utilizada ultimamente é a *Six Sigma*, a qual busca a melhoria contínua dos processos e da redução de variabilidade, com o objetivo de alcançar defeito zero (3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas). Mede-se o nível da qualidade das operações, do processo e do produto, por meio da Escala Sigma, representada na Tabela 2. Quando maior o valor alcançado na Escala, maior o nível de qualidade (WERKEMA, 2012).

Tabela 2: Escala Sigma

NÍVEL DE QUALIDADE	DEFEITOS POR MILHÃO (ppm)	CUSTOS DE NÃO QUALIDADE (percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308,357	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, 2012

Dessa forma, quando um processo nível sigma é igual a 6, é possível concluir que a sua capacidade de curto prazo ($z_{cp} = 6$) é seis sigma.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

- Embalagens multicamadas coextrusadas e impressas;
- Espectrofotômetro, utilizado para medição de substratos de papel e filmes flexíveis; densidade óptica a partir da quantidade de luz refletida – eXact;
- Papel do tipo *DrawDown*
- Equipamento para ensaio de tração – Instron 3365;

3.2 Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho é a carta controle para os resultados de opacidade e o estudo da capacidade do processo quanto à resistência à laminação em amostras com e sem o adicional de tinta branca.

3.2.1 Opacidade de filmes flexíveis

A opacidade ou transparência de um material são propriedades definidas a partir do mínimo de absorção ou reflexão da incidência da luz que o atravessa. A primeira é o oposto da segunda e o objeto absorve ou reflete toda a luz que incide, sem ocorrer a transmissão da luz (CARISSIMI, 2017).

Para o estudo, a curva de opacidade a partir do retirada do branco foi realizada por meio do controle estatístico do processo a partir da análise da Carta Controle do tipo “I-AM”, com auxílio do *Minitab Statistical Software*.

As medições de opacidade foram feitas a partir do Espectrofotômetro portátil *X-Rite eXact™* com auxílio do papel *DrawDown*, os quais estão ilustrados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 10: Espectrofômetro x-rite eXact™

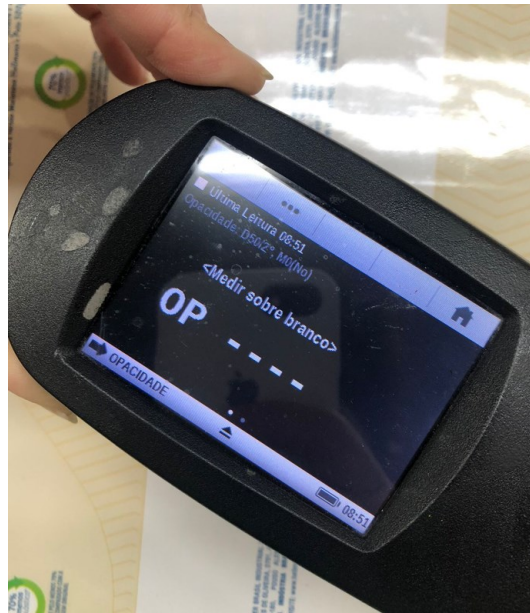
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 11: Papel DrawDown

Fonte: Autoria própria (2023)

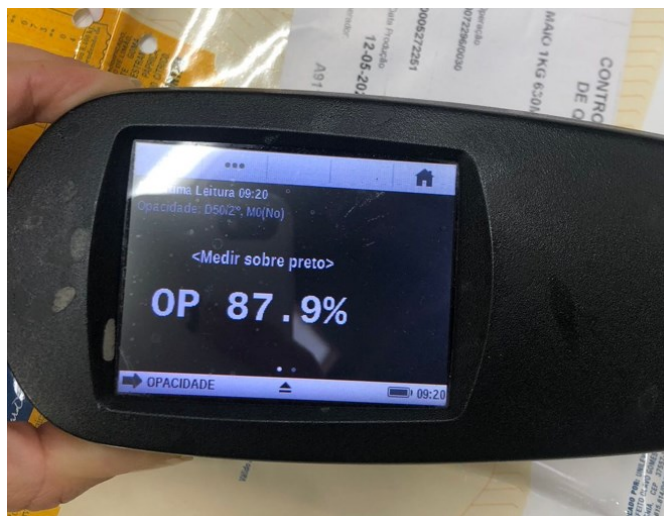
A Figura 10 acima mostra a tela do aparelho eXact™. Ao ligá-lo, na aba “avançadas”, é possível observar no painel a opção opacidade. Ao selecionar essa opção, o espectrofotômetro pede para realizar a medição da amostra sobre o branco do papel *DrawDown* (Figura 11), depois sobre o preto e então a medição de opacidade é realizada, conforme as Figuras 12 e 13.

Figura 12: Espectrofotômetro eXact™



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 13: Espectrofotômetro eXact™



Fonte: Autoria própria (2023)

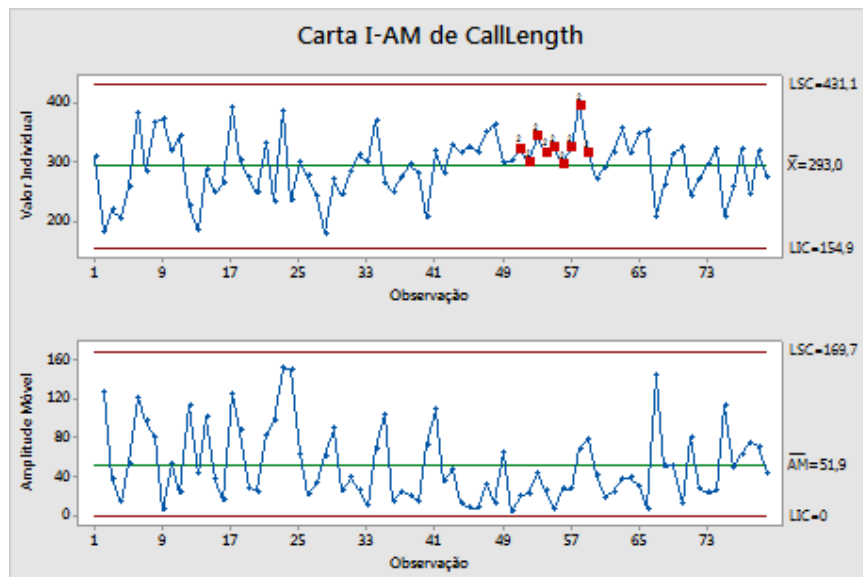
3.2.2 Carta Controle do Tipo I-AM

A Carta I-AM é reproduzida no software Minitab e tem como objetivo monitorar a média e a variabilidade do processo em dados contínuos em observações individuais e não em subgrupos, visando o monitoramento da estabilidade do processo ao longo do tempo.

A carta de amplitude móvel (AM) representa graficamente as amplitudes móveis. A linha central na carta AM é a média de todas as amplitudes móveis e os limites de controle são fixados a uma distância de três desvios padrão acima e abaixo da linha central, mostrando a quantidade de variação que é esperado nas amplitudes móveis dos dados padronizados.

Os pontos vermelhos indicam observações que falharam em pelo menos um dos testes para causas especiais e não estão sob controle. Pontos fora do controle devem ser investigados (SUPPORT MINITAB, 2020). A Figura 14 abaixo ilustra um exemplo de Carta I-AM.

Figura 14: Exemplo de Carta I-AM



Fonte: Support Minitab (2020)

3.2.3 Força de Laminação

Resultados quanto à resistência à laminação em amostras com e sem adicional de tinta branca foram apresentados a partir da capacidade do processo, o qual comparou a variabilidade do processo em relação às falhas. Ressalta-se que a capacidade pressupõe que o processo tenha distribuição normal e esteja sob controle estático, não podendo existir causas especiais de variação atuando sobre o processo (TOLEDO; MERGULHÃO et al., 2012).

Os testes de resistência à laminação foram feitos a partir da máquina de ensaios universal da marca Instron, equipamento cujo qual possibilita ensaios de tração, compressão e dureza Brinell. Tal ensaio é realizado durante todas as fases do

processo, mas para o presente estudo, foi considerada a fase final (fase de corte) para as análises, uma vez que há um tempo maior de cura do substrato de adesivo.

O procedimento consiste em cortar corpos de prova, sendo metade deles no sentido de máquina (longitudinal) e a outra metade, no sentido da largura da bobina (transversal). Em seguida, fixar o corpo de prova nas garras das Máquinas Universal de Ensaio Instron 3365 (Figura 15), mantendo a distância inicial de 50 ± 2 mm entre as garras e proceder iniciando o equipamento, alongando o material até que ocorra ruptura, a velocidade de tracionamento é definida no método (ASTM D882) a 300 mm/min; a espessura do corpo de prova é um valor conhecido ou obtido por micrômetro (ASTM, 2012).

Figura 15: Máquina de Ensaio - Instron®



Fonte: Instron, 2015

Para tal teste, deve-se cortar o corpo de prova com auxílio do estilete e gabarito, no sentido longitudinal da bobina e na área de selagem, caso houver. Para o estudo, foi necessário cortar o corpo de prova no local impresso e que apresentava maior número de cores, visto que essa é a região mais crítica para delaminação. O corte do corpo de prova é apresentado na Figura 16.

Figura 16: Corte do Corpo de Prova



Fonte: Autoria própria (2023)

Antes de colocar o corpo de prova no aparelho, deve-se iniciar a delaminação manualmente entre as camadas, com o intuito de fixar o corpo de prova na máquina universal de ensaios.

O posicionamento da amostra no aparelho deve ser de 90°, como é mostrado na Figura 17.

Figura 17: Amostra em ângulo de 90° durante o teste



Fonte: Autoria própria (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises quantitativas

O projeto teve início com o objetivo de redução de custo de produção a partir do *saving*, mantendo a mesma qualidade e padrão de processo.

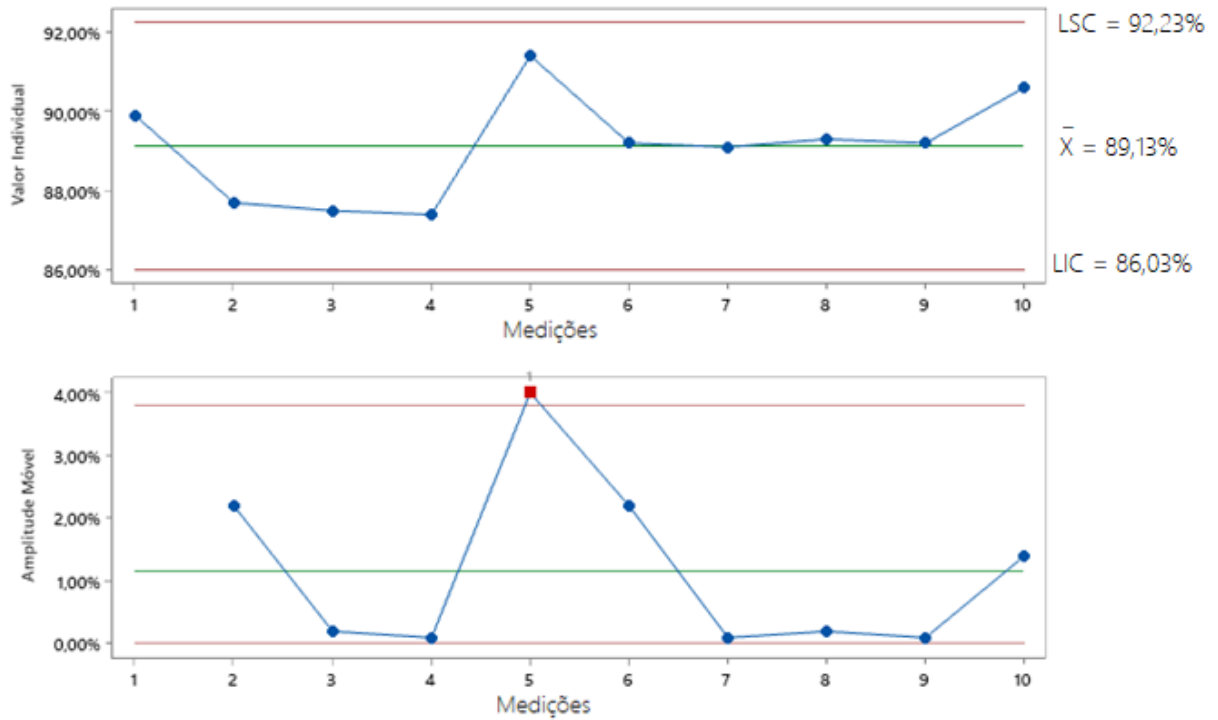
Utilizando os resultados de opacidade do branco como carta controle e a análise da capacidade da força de laminação, iniciou-se o estudo observando a influência da retirada da tinta branca na camada interna de polietileno, reduzindo o teor de concentrado branco na embalagem.

Foi objeto de estudo, então, embalagem que possui o fundo branco na arte e é também coextrudada com filme PE branco de 130u, com porcentagem relativamente alta de *master branco*, não necessitando tornar o PE mais aditivado ou variar a sua espessura.

Em um primeiro momento, fez-se a medição da opacidade das amostras com tinta branca, com auxílio do papel *DrawDonw* e do espectrofotômetro *eXact™*.

Para as embalagens manterem as propriedades de armazenamento e protegerem os produtos de acordo com as suas necessidades e, principalmente ter uma barreira à luz suficiente para não degradar o conteúdo interno, a opacidade deve estar em valores de porcentagem maiores que 56%. Tal valor foi definido entre a Engenharia de Processos e Pesquisa e Desenvolvimento.

Foi feita a medição em amostras de embalagem com a tinta branca de recobrimento (CB) e em amostras sem a tinta branca (SB), somente com o polietileno aditivado com *master branco*. Os resultados estão expostos no Anexo B e C e foram plotados em gráficos do tipo Carta Controle do tipo Valores Individuais e Amplitude móvel (I-AM) com auxílio do software Minitab e estão apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

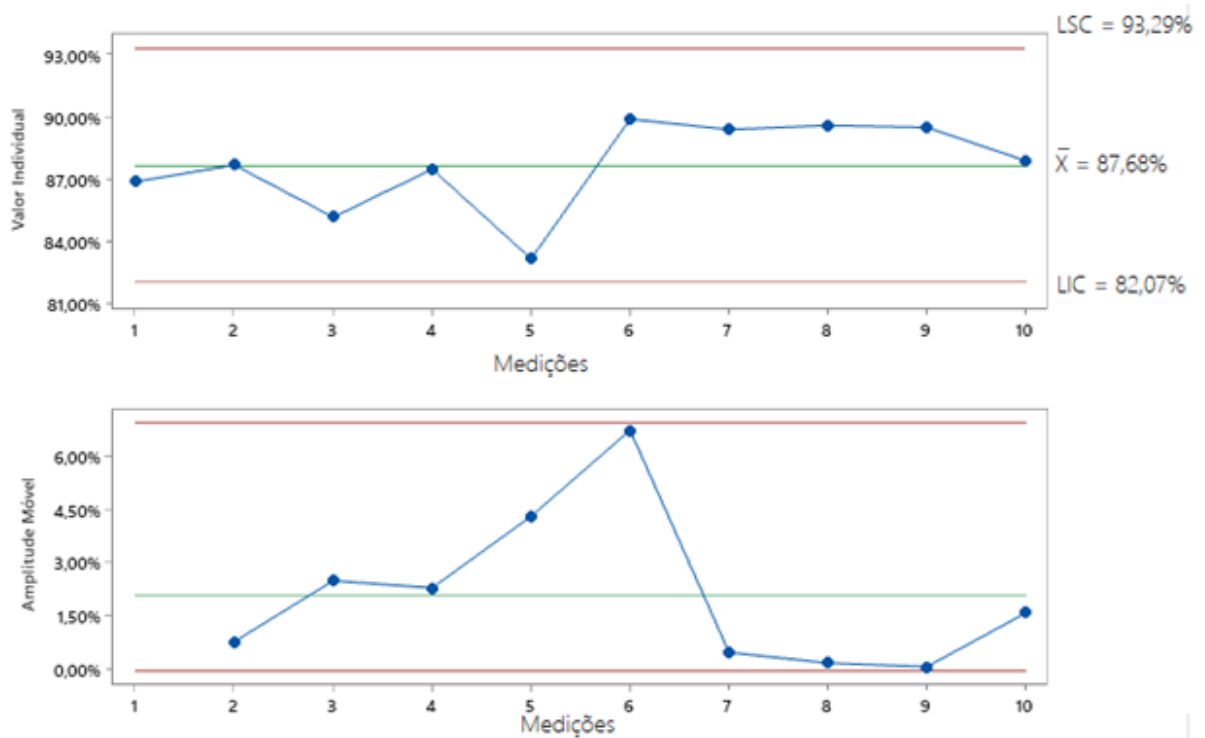
Figura 18: Carta I-AM de Opacidade CB

Fonte: Autoria própria (2023)

A Carta Controle tem como objetivo prevenir situações fora das especificações, detectar causas especiais (instabilidade no processo) além de controlar os processos por valores individuais.

É possível observar que na medição 5 há um problema apresentado para a amplitude móvel, mostrando que o processo está fora do controle estatístico, uma vez que está acima do valor de limite superior.

A amostra apresenta menos estabilidade quanto à opacidade quando possui o aditivo de tinta, uma vez que a viscosidade, a concentração e tempo de secagem da tinta pode variar de produção para produção, apesar de possuir um range de valores que são aceitáveis dentro das especificações técnicas definidas em comum acordo pela engenharia de processos e clientes.

Figura 19: Carta I-AM de Opacidade SB

Fonte: Autoria própria (2023)

Para as amostras sem a tinta branca (SB), foi possível observar maior estabilidade de processo, uma vez que os dados estão dentro do limite superior e inferior e livre de causas especiais. Portanto, pode-se afirmar que o processo está sob controle estatístico, o que é desejável.

Assim sendo, foi possível observar que a retirada da tinta branca de cobertura trouxe mais estabilidade para os padrões de processo dessa forma, foi autorizado a seguir para as próximas fases.

Já na fase de corte e acabamento, com auxílio da Instron 3365 foi realizado o teste de força de laminação nas amostras.

Os padrões de processo para o tracionamento no equipamento já são definidos e pré-configurados de acordo com a instrução de trabalho pelo Controle de Qualidade da empresa.

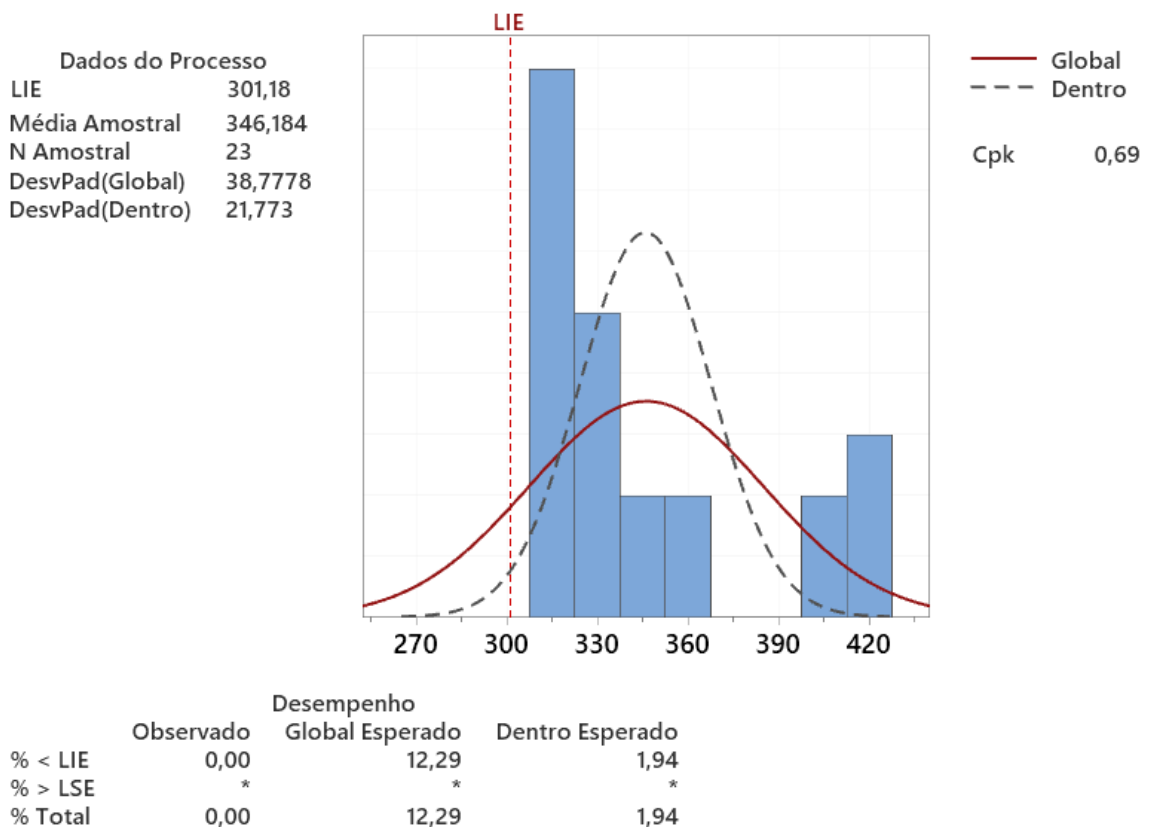
O resultado da força de laminação não deve ser inferiores à especificação.

Para o estudo da estrutura, o valor da força de laminação para obter as características necessárias do processo devem a ser superior à 301,18KgF/pol (Limite Inferior de Especificação (LIE)). Tal valor é definido entre o time de Engenharia de Processos e de Pesquisa e Desenvolvimento.

Com auxílio do *software Minitab*, foram realizadas as análises de capacidade para forças de delaminação com o branco (CB) e sem o branco (SB).

Os resultados da inspeção final das amostras com a tinta branca (CB) e sem a tinta branca (SB), encontram-se nas Figuras 20 e 21, respectivamente, em análises de capacidade. Os dados para as figuras em questão estão dispostos no Anexo A.

Figura 20: Relatório de Capacidade Normal CB



A dispersão do processo real é representada por 6 sigma.

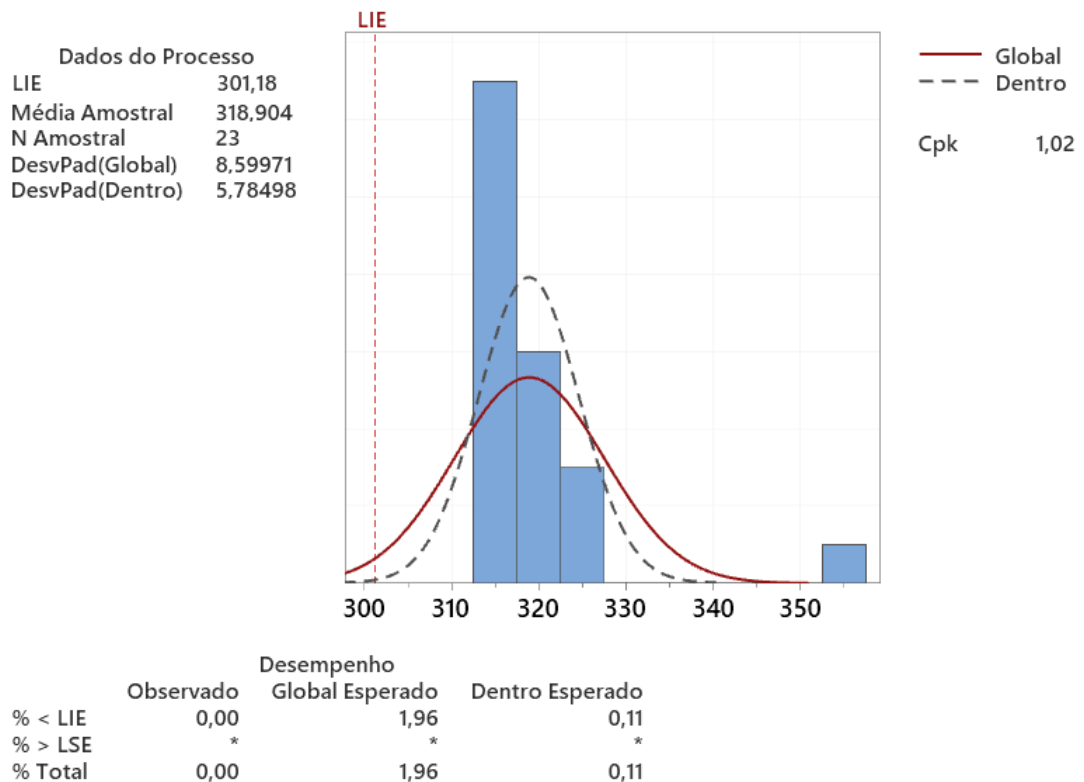
Fonte: Autoria própria (2023)

A capacidade do processo pode ser analisada pela determinação dos índices Cp, Cpk, Pp e Ppk. Os quais são definidos quando os dados seguem distribuição normal. De acordo com Montgomery (2015), Cpk e Ppk são definidos como a razão da capacidade do processo unilateral para o limite de especificação mais próximos da média do processo. Isto é, o cálculo da média dos valores, onde Cpk mede a capacidade efetiva do processo.

Laudos de qualidade exigem que valores de Cpk sejam maiores ou iguais a 1,33. Ao analisar a capacidade do processo para força de laminação com a tinta branca, observa-se um valor de Cpk igual a 0,69, indicando que o processo não é capaz de produzir as unidades dentro das especificações.

Como Ppk representa o desempenho real do processo e Cpk refere-se à capacidade efetiva, quando os índices são próximos, o processo encontra-se em estado consistente, sob controle estatístico.

Figura 21: Relatório de Capabilidade Normal SB



A dispersão do processo real é representada por 6 sigma.

Fonte: Autoria própria (2023)

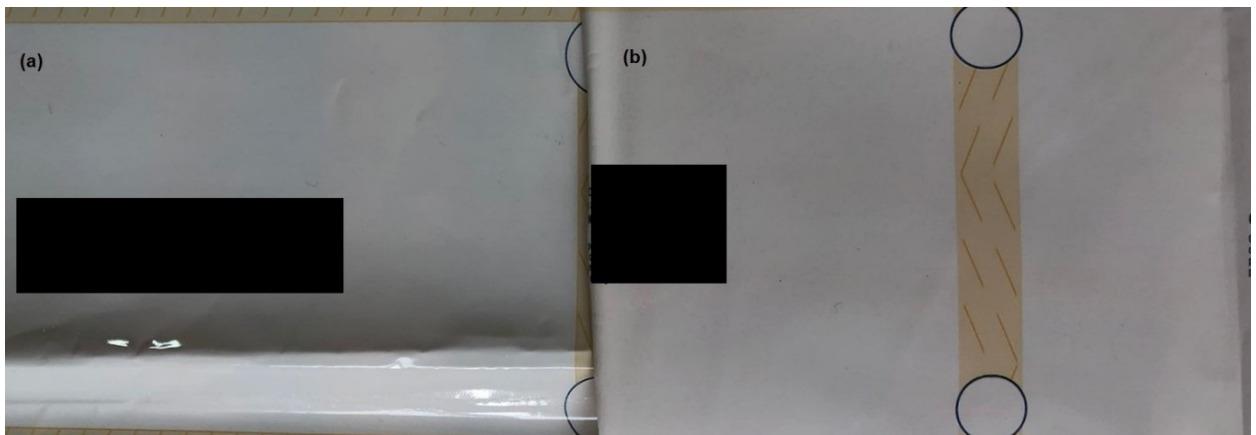
Valores de Cpk entre 1,0 e 1,33 indicam que o processo é bom, mas necessita de controle e, para Cpk igual a 1,0, os valores encontram-se 99,73% dentro dos limites de especificação (CLEMETS, 1989; SASSI, 2016). Para o presente estudo, foi possível observar que o Cpk para força de delaminação sem o branco é de 1,02, demonstrando estabilidade.

4.2 Análises qualitativas

As análises qualitativas foram realizadas de forma visual, pela engenharia de processos, entre os clientes e também com a exposição da embalagem em gôndolas do supermercado.

O resultado visual do lado externo da embalagem é apresentado no comparativo nas Figura 22 (a) e Figura 22 (b), e não havendo diferenças significativas na coloração e nem na qualidade de impressão, foi aprovado pelo time de engenharia de processos, controle de qualidade, pesquisa e desenvolvimento e clientes.

Figura 22: Comparativo entre as amostras (a) com e (b) sem tinta branca de recobrimento.



Fonte: Autoria própria (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar as amostras das embalagens flexíveis que já possuem polietileno aditivado com master branco e compará-las com um adicional ou não de tinta branca, foi possível obter valores estatísticos estáveis e até melhores para a amostra sem a tinta branca de recobrimento da impressão.

Quanto à força de laminação, as análises estatísticas de capacidade do processo indicaram maior estabilidade para as amostras de embalagens sem a impressão de recobrimento de branco ($C_{pk} = 1,02$) quando comparadas às embalagens com o recobrimento impresso ($C_{pk} = 0,69$).

As análises visuais também foram favoráveis e o processo foi autorizado a seguir adiante para homologação.

O objetivo inicial do projeto era a redução de custo do processo produtivo por meio do *saving* mensal, representando uma diminuição de custos no valor de R\$ 69.873,71. A previsão de produção de acordo com o Planejamento de Venda e Operações (S&OP) para os meses março à julho de 2023 era de 44 SKUs (*Unidade de Manutenção de Estoque*), totalizando um *saving* de 349 mil reais.

Tal redução além de reduzir o custo de produção do produto, impactou também em um menor preço final de venda nos supermercados dos produtos envasados com esta embalagem.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens. Active Standard ASTM D6988.

ANYADIKE, N. **Embalagens flexíveis**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2010.

Associação Brasileira de Embalagens (ABRE). Disponível em: <http://www.abre.org.br>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

Bichler, C.; Mayer, K.; Langowski, H. C. & Moosheimer, U. “**Influence of polymer film surfaces on adhesion and permeation properties of vacuum web coated high barrier films and laminates: results of a cooperative research project**. In: Annual technical conference, 41., Proceedings, Philadelphia, 1998.

BIRON, M. Enhancing polymer adhesion thanks to functionalized materials and surface treatments. **Polymer Additives & Colors Bulletin**, 2008.

CANEVAROLO, Jr., SEBASTIÃO, V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. / Sebastião 1º. Canevarolo Jr. -- São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CARISSIMI, M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir do amido de mandioca e microalga verde**. 2017.

Catálogo técnico da Braskem. Extrusão de Filme: Polietileno e Polipropileno, 2008
COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

CRIPPA, A. **Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas**. 2006

DIEBOLD, Ulrike. **The surface science of titanium dioxide**. Surface Science Reports. 2003, pp. 53-229.

GALEMBECK, F., GANDUR, M.C., **Adesão de Superfícies**, Curso Aberto ABPol, São Paulo, 1995.

GUERRINI, L. M.; PAULIN Fº, P. I.; BRETAS, R. E. S.; BERNARDI, A. **Correlação entre as propriedades reológicas, óticas e morfologia de filmes soprados de LLDPE/LDPE**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, nº 1, p. 38-45, 2004.

HERNANDEZ, R. J.; SELKE, S. E. M.; CULTER, J. D. **Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations**. Munich: Hanser Gardner, 2000.

INSTRON. 3360 Series Dual Column Tabletop Universal Testing Systems. 2015. Disponível em: <http://www.instron.com.br/wa/product/3300-Dual-Column-TestingSystems.aspx> Acesso em: 23 de novembro de 2023

MARTÍNEZ, F.; ARROYO, I. **A coextrusão: uma ferramenta para diferenciar no mercado**. PE news América Latina - Soluções DOW, mai. 1998.

MASTER POLYMERS, 2022. Disponível em: <https://masterpolymers.com.br/categoria-produto/mitsubishi-chemicals-performance-polymers/evoh/>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

MONTGOMERY, Douglas C; **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro, LTC 2014.

OLAFSSON, G.; HILDINGSSON, I. **Sorption of fatty acids into low density polyethylene and its effect on adhesion with aluminum foil in laminated packaging material**. J. Agric. Food Chem. V.43, 1995.

PEACOCK, A. J. **Handbook of polyethylene: structures, properties, and applications**. New York: Marcel Dekker, 2000.

SANTANA, J. G. **Processamento e Caracterização de filmes flexíveis e nanocompósitos de EVOH/GO tratados por radiação ionizante**. 2019. 130 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: (29 de outubro de 2022).

SOUZA, W.; ALMEIDA, G. **Processamento de polímeros por extrusão e injeção – conceitos, equipamentos e aplicações**. Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536520513. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520513/>. Acesso em: 16 novembro 2022.

Suport ao Minitab. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/> . Acesso em: 20 de outubro de 2023.

TOLEDO, José Carlos D.; BORRÁS, Miguel Ángel A.; MERGULHÃO, Ricardo C.; et al. **Qualidade – gestão e métodos**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-216-2195-9. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2195-9/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

VITORETI, A. B. F. et al. APLICAÇÃO DE DIÓXIDO DE TITÂNIO EM CÉLULAS SOLARES. **Revista virtual de química**. 3 de julho de 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/VitoretiNoPrelo.pdf>

WAGNER, J.R. **Multilayer flexible packaging**. 2 ed. Chadds Ford: Elsevier, 2016.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura lean seis sigma**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 9788595158184. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595158184/>. Acesso em: 17 nov. 2022

ANEXO A – DADOS DA FORÇA DE RESISTÊNCIA À LAMINAÇÃO

FORÇA DE RESISTÊNCIA À LAMINAÇÃO (KgF/pol)		
ESPECIFICADO	F. RESIS. À LAMINAÇÃO (SB)	F. RESIS. À LAMINAÇÃO (CB)
301,18	314,78	363
301,18	315,5	315
301,18	323	311
301,18	321	352
301,18	319,4	415
301,18	312,65	314,7
301,18	315,98	337
301,18	355	326
301,18	314,7	331,8
301,18	312,5	324,6
301,18	314,78	324,6
301,18	315,5	315,4
301,18	323	317,2
301,18	321	315,7
301,18	319,4	314,74
301,18	314,78	315,5
301,18	315,5	311
301,18	323	350
301,18	321	415
301,18	319,4	363
301,18	312,65	415
301,18	314,78	411
301,18	315,5	404

ANEXO B – DADOS DA % DE OPACIDADE COM A TINTA BRANCA

% OPACIDADE	
AMOSTRAS	% OPACIDADE CB
1	89,90%
2	87,70%
3	87,50%
4	87,40%
5	91,40%
6	89,20%
7	89,10%
8	89,30%
9	89,20%
10	90,60%

ANEXO C – DADOS DA % DE OPACIDADE SEM A TINTA BRANCA

% OPACIDADE	
AMOSTRAS	% OPACIDADE SB
11	86,90%
12	87,70%
13	85,20%
14	87,50%
15	83,20%
16	89,90%
17	89,40%
18	89,60%
19	89,50%
20	87,90%