

## ANÁLISE COMPARATIVA DO CONSUMO DE PIGMENTO BRANCO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE TITÂNIO, NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FILMES FLEXÍVEIS

Luiz Bonifácio Colombo (Faculdade Satc) E-mail: luizcolombo111@hotmail.com

Aline Resmini Melo (Faculdade Satc) E-mail: aline.melo@satc.edu.br

Carolina Resmini Melo Marques (Faculdade Satc) E-mail: carolina.melo@satc.edu.br

Débora De Pellegrin Campos (Faculdade Satc) E-mail: debora.campos@satc.edu.br

Morgana Nuernberg Sartor Faraco (Faculdade Satc) E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br

Juliane Mussak E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br

Josiane da Rocha Silvano das Neves (Faculdade Satc) E-mail: josiane.neves@satc.edu.br

**Resumo:** As matérias-primas utilizadas no processo de produção de filmes flexíveis pigmentados representam a maior parte do custo do produto final. Os *masterbatches* utilizados para conferir cor ao filme possuem alto valor agregado. Visando uma redução de custo gerado por esta matéria-prima foi feito um levantamento dos *masterbatches* homologados pela Empresa e o custo de cada um. Foram analisados 7 *masterbatches* de 3 fornecedores diferentes identificados de A a G, com concentração de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) de 75% e 70%, onde foram produzidos filmes usando cada *masterbatch* em uma coextrusora tipo balão de 3 camadas modelo Carnevalli 2001. Foi realizado a dosagem de cada *masterbatch* necessária para que se atingisse o valor de opacidade padrão do filme, que foi medida em espectrofotômetro *x-rite exact advanced*. Constatou-se que os *masterbatches* com 75% de  $\text{TiO}_2$  apresentaram menor consumo em relação aos de 70%. Os filmes produzidos passaram por análises laboratoriais de coeficiente de fricção (COF), resistência ao impacto, resistência a tração e alongamento, a fim de atestar se as suas características físicas e mecânicas foram mantidas. Todos os filmes analisados apresentaram bons resultados de qualidade, ficando dentro dos padrões exigidos. Foi realizado uma avaliação de rentabilidade de cada *masterbatch* levando em consideração a dosagem usada em máquina, o custo, e o volume de produção do lote produzido, bem como o volume de produção de filmes pigmentados do ano de 2019. Os *masterbatches* C e G apresentaram bons resultados, sendo que o *masterbatch* C apresentou uma economia de processo de 5,5%, que corresponde a R\$ 94.163,19 em 2019 e o *masterbatch* G uma redução de 6,5%, que corresponde R\$ 112.126,62 de economia quando comparados ao *masterbatch* A, atualmente utilizado na Empresa. Considerando o volume produzido até o mês de setembro de 2019.

**Palavras-chave:** *Masterbatch*. Filmes flexíveis. Opacidade.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF WHITE PIGMENT CONSUMPTION WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF TITANIUM DIOXIDE, IN THE PROCESS OF EXTRUSION OF FLEXIBLE FILMS

**Abstract:** The raw materials used in the production process of flexible pigmented films represent most of the cost of the final product. The masterbatches used to color the film have high added value. In order to reduce the cost generated by this raw material, a survey was carried out of the masterbatches approved by the Company and the cost of each one. Seven masterbatches from 3 different suppliers identified from A to G were analyzed, with a titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) concentration of 75% and 70%, where films were produced using each masterbatch in a Carnevalli 2001 3-layer balloon coextruder. the dosage of each masterbatch required to achieve the standard opacity value of the film was carried out, which was measured using an x-rite exact advanced spectrophotometer. It was found that masterbatches with 75% of  $\text{TiO}_2$  showed lower consumption compared to 70%. The films produced underwent laboratory analysis of the coefficient of friction (COF), impact resistance, tensile strength and elongation, in order to test whether their physical and mechanical characteristics were maintained. All films analyzed showed good quality results, staying within the required standards. An evaluation of the profitability of each masterbatch was carried out taking into account the dosage used in the machine, the cost, and the

production volume of the batch produced, as well as the production volume of pigmented films of the year 2019. Masterbatches C and G presented good results, with masterbatch C showing process savings of 5.5%, which corresponds to R \$ 94,163.19 in 2019 and masterbatch G, a reduction of 6.5%, which corresponds to R \$ 112,126.62 in savings when compared to masterbatch A, currently used in the Company. Considering the volume produced until the month of September 2019.

**Keywords:** Masterbatch. Flexible films. Opacity.

## 1. Introdução

As matérias-primas utilizadas na produção de filmes flexíveis são compostas por resinas, aditivos e pigmentos, estes, divididos entre nacionais e importados. As matérias-primas representam um alto impacto no custo, pois pode chegar a constituir 70% do valor total do produto acabado. Os pigmentos têm um percentual significativo no custo por se tratar de uma matéria-prima de alto valor agregado em relação ao restante dos componentes.

O consumo de pigmento se justifica pela exigência de mercado por filmes com alta opacidade, a fim de se obter proteção do produto embalado e estética da embalagem que destacará melhor as impressões a serem aplicadas. Com a alta demanda de mercado gerada pelas características citadas, faz-se necessário um consumo significativo destes pigmentos, principalmente do dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>).

A utilização do dióxido de titânio na indústria de embalagens flexíveis é determinada pelas seguintes características: excelente opacidade, alto rendimento, elevada brancura, estabilidade química e térmica e excelente solidez a luz.

Por estratégias comerciais entre comprador e fornecedor são utilizados pigmentos com diferentes concentrações de TiO<sub>2</sub> no *masterbatch*, sendo necessário estudos que avaliem a rentabilidade, custo e consumo em máquina destes diferentes pigmentos.

Visto que o Brasil passa por períodos de instabilidade econômica, as empresas precisam de estratégias e ideias inovadoras para se manter competitivas no mercado. Uma alternativa é avaliar todas as etapas dos processos produtivos a fim de eliminar/reduzir custos, oferecendo o melhor produto com o preço mais acessível possível.

Como forma de contribuir com um estudo que possibilite uma redução de custo desta matéria-prima, este trabalho analisará o consumo em diferentes pigmentos utilizados em forma de *masterbatch* no processo de extrusão de filmes.

A fim de padronizar o percentual de consumo em máquina de cada *masterbatch* por fornecedor e concentração de TiO<sub>2</sub> durante a extrusão de filmes pigmentados branco, avaliando e comparando o desempenho e rendimento através dos valores de opacidade, consumo e custo.

O termo embalagens plásticas flexíveis é usado para definir as embalagens que são compostas de materiais flexíveis e conformáveis, cuja espessura é inferior a 250µm. Se enquadrar nessa classificação sacos e sacarias com duas ou três soldas, *pouches* de quatro soldas, envoltórios fechados por torção e/ou grampos, tripas, *pouches* autossustentáveis (*stand up pouches*), fundos termoformáveis flexíveis que se conformam ao produto, filmes encolhíveis (*shrink*) para lacres, rótulos, envoltório ou unitização, filmes esticáveis (*stretch*) para envoltórios de bandejas ou para amarração de carga na paletização, sacos de rafia etc. Os materiais flexíveis incluem ainda selos termosseláveis, rótulos e etiquetas plásticas (TEIXEIRA; ITO, 2017).

No processo de fabricação de uma embalagem plástica, a escolha dos materiais leva em conta requisitos como a permeabilidade a gases, aromas e vapor d'água, temperatura de

processamento e acondicionamento do produto, temperatura de estocagem, custo das matérias-primas, custo de processamento, restrições de processamento dos materiais, propriedades mecânicas, características de termossagem, resistência química, estabilidade dimensional, propriedades ópticas, segurança para o contato com alimentos, etc (GARCIA; SARANTOPOULOS; COLTRO, 2017).

Polímero é qualquer material com elevado peso molecular, composto de uma variedade de unidades estruturais repetidas, ele pode ser orgânico ou inorgânico, sintético ou natural. A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição), sendo que os *meros* se ligam entre si por meio de ligações primárias, covalentes e estáveis (MANRICH, 2013).

Existe uma grande variedade de resinas, sendo as mais usadas, o polipropileno (PP) e o polietileno (PE), juntos representam mais de 68% do total comercializado no Brasil (NEDER; BACIC; SILVA, 2009).

As resinas de polietileno são as que possuem a estrutura mais simples, além do baixo custo, apresentam boas propriedades físico-químicas, extrema regularidade e flexibilidade de suas cadeias, possuindo muitas aplicações. Devido ao processo de polimerização, densidade, reticulação, o polietileno pode apresentar diferentes propriedades (PIVA, 2014).

As cargas são materiais usados para preencher a formulação de um filme, com o objetivo principal de reduzir custos, como o talco, caulim, serragem e outros polímeros reciclados. Além deste tipo de carga que não conferem nenhum ganho adicional de propriedades para o filme plástico, tem-se as cargas reforçantes, cuja adição na formulação dos filmes, melhoram as propriedades mecânicas, principalmente o módulo de elasticidade e a resistência mecânica, cargas cerâmicas e fibra de vidro são alguns exemplos (CANEVAROLO, 2013).

Os pigmentos, corantes e *masterbatches* possuem a função de conferir cor aos filmes, por isto são denominados colorantes, afetam as propriedades de uma formulação, pois possuem propriedades próprias, como a resistência a condições ambientais, transparência, aprovação para contato com alimentos, etc. (COLTRO, 2017). Dentre as técnicas de coloração mais usadas para a produção de filmes flexíveis termoplásticos, tem-se os *masterbatches*, que são concentrados de pigmentos dispersos em um polímero conhecido como resina veículo, um pequeno percentual destes concentrados é utilizado no processo de extrusão junto as resinas virgens, conferindo cor ao produto acabado. O *masterbatch* possui formato de grânulos chamados de *pellet* (VIEIRA, 2005).

As principais colorações usadas em filmes flexíveis são a cor branca, ou ainda, sem nenhuma pigmentação. Dentre os pigmentos brancos, o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é o material mais utilizado. Ele interage com a luz de forma diferente de pigmentos coloridos, enquanto nos pigmentos coloridos a luz é absorvida, nos pigmentos brancos esta interação ocorre por meio do espalhamento da luz, onde a luz será desviada para fora, assim o filme se mostrará opaco e branco (VIEIRA, 2005).

Os aditivos são materiais usados na formulação dos filmes para conferir melhores características, tanto no processamento dos polímeros, quanto em suas propriedades físico-químicas (CANEVAROLO, 2013).

As embalagens flexíveis são produzidas por meio de filmes plásticos que podem ser obtidos por diferentes processos de transformação, ou combinação entre processos, como: extrusão, coextrusão, laminação, biorientação e aplicação de revestimento (*coating*) (TEIXEIRA; ITO, 2017).

Dá-se o nome de extrusão ao processo de conformação das resinas em filmes plásticos, onde o equipamento responsável por esta transformação é a extrusora. Dentre os componentes básicos de uma extrusora, tem-se um cilindro metálico aquecido por resistência elétrica, dentre o qual gira a rosca de extrusão, este conjunto é responsável pelo transporte, mistura e plastificação dos polímeros em um processo contínuo que força a mistura fundida alimentada em uma das extremidades, a passar por uma matriz para a conformação (PIVA, 2014).

O processo de extrusão de filmes tubulares ou balão é o método mais usado para produção de filmes flexíveis, neste método a diferença está na matriz utilizada que possui formato circular, sendo que o perfil tubular largo é obtido inflando-se com ar na parte inferior do material extrusado, o filme inflado possui formato de balão que é puxado e esticado nas direções longitudinal e transversal. A largura e a espessura dos filmes produzidos por estes métodos podem ser controladas através da velocidade do estiramento e diâmetro do balão, o que permite obter filmes de maiores larguras comparados a outros processos (SANTOS, 2013).

Após a produção de filmes flexíveis pigmentados, são realizados ensaios a fim de atestar a qualidade específica dos mesmos, as faixas adequadas dessas propriedades dependem do uso de cada tipo de filme e exigências de clientes (MANRICH, 2013).

A opacidade (transparência) é uma propriedade ótica assim como a cor, algumas embalagens plásticas necessitam de proteção contra incidência de luz, assim é importante que se tenha uma transparência baixa ou nula, é o caso das embalagens pigmentadas. Uma embalagem flexível é dita transparente quando a luz incidente sobre ela atravessa com o mínimo de absorção ou reflexão, ao contrário disto o filme é classificado como opaco, ou seja, a opacidade mede o percentual de luz refletida e/ou absorvida pelo filme, sendo que esta medição pode ser feita via espectrofotômetro (RIGO, 2006).

Esta análise de teor de cinzas determina a quantidade de material inorgânico presente nos compostos na forma de óxidos. Em concentrados a base de  $TiO_2$  e filmes pigmentados brancos, quando estes são queimados a elevadas temperaturas, o material restante após a queima é chamado de cinza, que representa o percentual de  $TiO_2$  da amostra analisada, em outras palavras, pode-se determinar a quantidade de pigmento presente na amostra, sendo que quanto maior a porcentagem de pigmento de um filme maior será a sua opacidade (MUSSAK, 2016).

A determinação de características físicas e dimensionais dos filmes, permite prever o desempenho destes e diagnosticar problemas observados em qualquer etapa do processo produtivo. No processo de fabricação de embalagens existem especificações a serem seguidas a fim de se obter um produto final de qualidade, a gramatura e espessura dos filmes por exemplo, determinam a quantidade de material presente em uma estrutura e tem relação direta com propriedades mecânicas e de barreira dos filmes plásticos (TEIXEIRA et al., 2017).

As propriedades mecânicas por sua vez, buscam prever a resposta dos filmes, as influências mecânicas externas, estando relacionadas com a capacidade do material de desenvolver deformações reversíveis e irreversíveis e apresentar ruptura (RIGO, 2006).

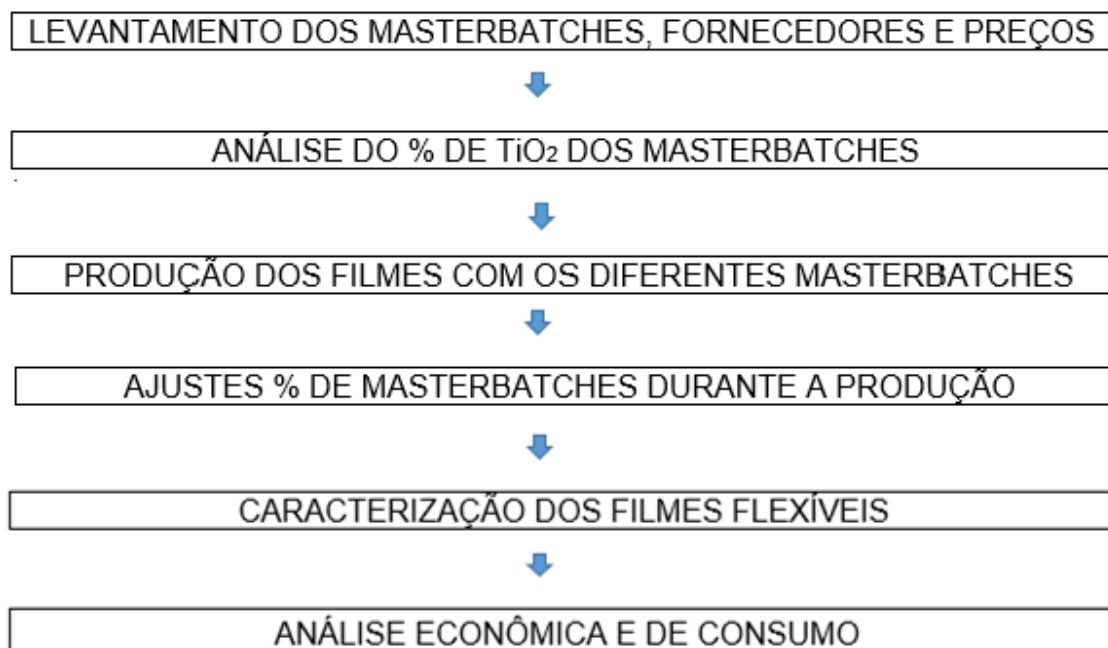
Dentre as principais análises físicas e mecânicas dos filmes destacam-se: o coeficiente de fricção (COF), que mede o atrito existente entre duas superfícies, a resistência ao impacto que determina a energia expressa em peso (massa) que causa ruptura em um filme, além das análises de resistência a tração e alongamento, ambas são obtidas em

um mesmo ensaio, alongando-se uma amostra até a sua deformação máxima (alongamento) e consequente ruptura (tração) (DÁRIO, 2011).

## 2. Materiais e Métodos

Durante o trabalho avaliou-se o processo de extrusão de filmes flexíveis pigmentados brancos, seguindo as etapas descritas no fluxograma representado pela Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento do projeto.



Fonte: Do autor (2019)

Foi verificado junto ao setor de compras e almoxarifado da Empresa, quais os *masterbatches* brancos atualmente homologados e com distribuição regular para o processo de extrusão de filmes, bem como, fornecedores e custos.

A fim de comprovar o real percentual de TiO<sub>2</sub> presente nos *masterbatches* fornecidos, foi realizado a análise de teor de cinzas e o resultado encontrado foi comparado com o laudo enviado pelos fornecedores.

A produção de filmes com diferentes *masterbatches* foi realizado durante a extrusão de um lote de filmes pigmentados de polietileno em uma coextrusora tipo balão de 3 camadas modelo Carnevalli 2001. Foi utilizado como referência o pigmento A, atual *masterbatch* utilizado pela Empresa. Manteve-se constantes a espessura do filme em 130 $\mu$  e a opacidade em 82%, a fim de não ocorrer variações no percentual de dosagem de pigmento.

Durante o *setup* de máquina foram feitos os ajustes e dosagens das matérias-primas de acordo com as especificações da ordem de produção. A cada tiragem (bobina produzida) foram mantidas constantes todas as matérias-primas usadas na formulação e os parâmetros de máquina, alterando somente os tipos de *masterbatches* a fim de se obter um comparativo entre as bobinas produzidas com cada pigmento a ser testado.

Após os ajustes iniciais seguindo as especificações de dosagem de pigmento da ordem de produção, o operador da máquina retirou uma amostragem e verificou se o resultado de opacidade estava conforme o padrão, fazendo ajustes quando necessário. A cada

troca de bobina o *masterbatch* foi substituído e ajustado o percentual de dosagem quando necessário, através dos resultados de opacidade.

A cada bobina produzida retirou-se uma amostra de aproximadamente 3 metros e levou-se ao laboratório para verificação do teor de cinzas, opacidade, espessura, alongamento, resistência a tração, resistência ao impacto e coeficiente de atrito.

A análise de teor de cinzas foi realizada conforme procedimento interno da Empresa, descrito nas seguintes etapas:

- 1º) pesar um cadinho de porcelana em balança analítica e anotar o peso inicial (PI);
- 2º) pesar 3g de amostra no cadinho de porcelana e anotar o peso da amostra (PA);
- 3º) calcinar a amostra em mufla a 600°C por uma hora;
- 4º) retirar a amostra da mufla e deixar esfriar em dessecador para obtenção das cinzas;
- 5º) adicionar às cinzas 5mL de ácido clorídrico P.A.;
- 6º) filtrar a solução de cinza e ácido clorídrico com papel filtro quantitativo faixa azul;
- 7º) calcinar novamente a amostra filtrada junto ao papel filtro em mufla a 600°C por uma hora;
- 8º) pesar a amostra final (PF) e descontar o peso das cinzas do papel (PP).

O resultado foi obtido em percentual.

A espessura das amostras foi determinada com base na norma ASTM D-347 utilizando um micrômetro digital *Mitutoyo Absolute ID C 112x13*. Cortou-se alternadamente com auxílio do gabarito, 5 corpos de prova isentos de rugas, vincos e sujeiras. Efetuou-se uma medição em cada corpo de prova no relógio comparador a fim de se ter uma média dos valores medidos.

A opacidade foi medida por meio de espectrofotômetro *x-rite exact advanced* que mede a luz refletida pela amostra em um ângulo fixo de 45° em relação a amostra, o substrato usado para a medição foi a cartela padrão leneta modelo 3B preta e branca, conforme procedimento descrito na norma ASTM D-589.

Para encontrar o resultado de opacidade, pegou-se uma amostra do filme a ser analisado, mediu-se primeiramente o filme com o equipamento sobre a área preta do papel leneta e depois mediu-se novamente sobre a parte branca, obtendo-se o resultado.

O alongamento e resistência a tração das amostras foram determinados com base na norma ASTM D-882 utilizando o equipamento de ensaios universal EMIC DL 500N e os parâmetros para realização dos ensaios foram: velocidade de 500mm/min e distância entre garras de 50mm.

Com auxílio do gabarito, cortou-se três corpos de prova de cada estrutura na direção de máquina e transversal. Os corpos de prova foram submetidos a máquina de ensaio mecânico no qual é ligada a um microcomputador que contém um software que gera um relatório com a força média exigida pelo ensaio expressa em Kgf e o percentual (%) de alongamento do corpo de provas.

Para a realização do ensaio de resistência ao impacto foi utilizado um equipamento de fabricação própria da Empresa seguindo a norma ASTM D 1709. Foi cortado algumas amostras usando gabarito, após fixou-se no equipamento *Dart Drop*, posicionou-se o dardo à 66 cm de altura e soltou-se o dardo de modo a avaliar o peso mínimo que rompa as amostras.

Os ensaios de coeficiente de fricção (COF) foram realizados de acordo com a norma ASTM D-1894, utilizando um equipamento para medição do coeficiente de fricção DSM COF-3 a uma velocidade de 150 mm/minuto e com um “carrinho” de 200g.

Foram cortados 5 pedaços de cada amostra nas dimensões 150 x 350mm. Cortou-se também 5 corpos de prova utilizando o gabarito de 75 x 200mm (todos na direção de máquina). Fixou-se o pedaço de filme maior no aparelho de COF e o corpo de prova no móvel do aparelho, cobrindo totalmente a borracha. Encaixou-se o cordão no filme móvel, zerou-se o equipamento, e acionou-se o aparelho até o móvel percorrer aproximadamente 1/3 da mesa. A variação mostrada pelo display foi analisada e registrou-se a média aproximada.

Após ter os valores padronizados das quantidades de *masterbatches* necessárias para atingir o valor de opacidade padrão especificado, e tendo o levantamento de preços de cada pigmento usado na produção dos filmes pigmentados, foi feito um cálculo comparativo de consumo entre os materiais testados. Como base de cálculo, foi levado em consideração a quantidade em Kg produzidos no lote analisado, um total de 7600 Kg, a fim de determinar qual dos tipos de *masterbatches* apresenta melhor consumo, em paralelo ao consumo foi feita uma análise econômica, para elencar quais os pigmentos que apresentam melhor custo-benefício.

### 3. Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos a partir dos testes realizados neste projeto.

#### 3.1 Levantamento dos *masterbatches*, fornecedores e preços

Foi realizado um levantamento de todos os *masterbatches* e fornecedores homologados pela Empresa, bem como o preço, conforme Tabela 1. Os dados coletados são referentes ao segundo semestre de 2019.

Tabela 1 - *Masterbatches*, fornecedores e preços do 2º semestre de 2019.

<i>Masterbatch</i>	% TiO <sub>2</sub>	Fornecedor	Preço/Kg
A	75%	I	R\$ 11,84
B	75%	II	R\$ 12,62
C	75%	III	R\$ 11,19
D	70%	I	R\$ 10,12
E	70%	II	R\$ 10,85
F	70%	III	R\$ 10,20
G	70%	III	R\$ 10,06

Fonte: Do autor (2019)

Conforme esperado, os *masterbatches* com maior quantidade de TiO<sub>2</sub> em sua composição são os que possuem maior custo, porém verifica-se que há uma variação de preço entre pigmentos com o mesmo percentual de TiO<sub>2</sub> e até do mesmo fornecedor.

Essa variação de preços conforme a concentração de  $TiO_2$  poderá ser analisada melhor após avaliação do consumo dos pigmentos em máquina.

### 3.2 Análise do percentual de $TiO_2$ dos *masterbatches*

Após o levantamento dos *masterbatches*, foi realizado as análises de teor de cinzas, com intuito de atestar se os resultados obtidos condizem com o laudo apresentado pelos fornecedores. A Tabela 2 apresenta os resultados de teor de cinza.

Tabela 2 - Percentual de  $TiO_2$  nos *masterbatches*.

<i>Masterbatch</i>	Padrão cinzas (%)	Cinzas fornecedor (%)	Cinzas Empresa (%)
A	73 – 77	74,60	74,40
B	73 – 77	74,50	74,35
C	73 – 77	75,20	74,82
D	68 – 72	70,00	69,33
E	68 – 72	69,86	69,18
F	68 – 72	70,00	70,00
G	68 – 72	69,00	73,32

Fonte: Do autor (2019)

Conforme a Tabela 2, todos os resultados estão dentro das tolerâncias exigidas pela Empresa, com exceção do *masterbatch* G, que apresentou resultado acima do limite, porém, neste caso este resultado não causa problemas ao processo produtivo, uma vez que, quanto maior o percentual de  $TiO_2$ , menor será o consumo do pigmento durante a produção dos filmes.

### 3.3 Caracterização dos filmes flexíveis

A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes de qualidade obtidos a partir de uma média de 5 medições.

Tabela 3 - Caracterização dos filmes.

Análises	Padrão	A	B	C	D	E	F	G
Alongamento DM (%)	>300	838	715	729	800	837	713	751
Alongamento DT (%)	>400	907	851	913	874	920	762	862
Tração DM (Kgf)	>1,5	7,7	6,6	6,4	6,7	8,3	6,7	7,2
Tração DT (Kgf)	>1,0	7,3	7,1	6,8	8,6	8,3	6,3	6,9
Impacto (g)	>250	641	641	591	751	641	649	670
COF Tratado	0,10 - 0,50	0,43	0,34	0,3	0,45	0,48	0,47	0,35
COF Não Tratado	0,10 - 0,50	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15

Fonte: Do autor (2019)

Nesta etapa não ocorreram variações significativas, todos os filmes analisados apresentaram bons resultados, atendendo as especificações da Empresa.

As características físicas e mecânicas dos filmes se dão principalmente pelo tipo de resina utilizada, sofrendo pouca influência do tipo de *masterbatch* usado no



processo. Segundo Mano e Mendes (1999), as propriedades físicas do polietileno dependem de sua massa molar, distribuição de massa molar e das ramificações. Quanto menor as ramificações, maior o grau de cristalinidade do polietileno. Estes fatores interferem nas propriedades, deixando o filme mais rígido ou mais flexível, com maior ou menor alongamento, com maior ou menor resistência mecânica, com maior ou menor permeabilidade.

Piva (2014), reforça que as propriedades mecânicas e o comportamento do polímero durante o processamento dependem do tamanho médio e da distribuição das cadeias poliméricas, onde diferentes pesos moleculares podem mudar completamente as propriedades do polímero, interferindo nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, reológicas, e processamento, e por esta razão, os polímeros são caracterizados principalmente por seu peso molecular.

### 3.4 Análise teor de cinzas dos filmes

A análise de teor de cinzas foi realizada com o intuito de verificar se a quantidade de  $TiO_2$  encontrada nas amostras dos filmes condizem com a dosagem de *masterbatches* utilizada na produção, sendo que o padrão para esta análise leva em consideração o percentual de  $TiO_2$  do *masterbatch* e sua dosagem em máquina. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4 - Teor de cinzas dos filmes.

Pigmento	% Cinzas	Padrão
A	3,47%	2,5% - 3,5%
B	3,49%	2,5% - 3,5%
C	3,36%	2,5% - 3,5%
D	3,15%	3,0% - 4,0%
E	3,85%	2,86% - 3,86%
F	3,51%	2,86% - 3,86%
G	3,58%	2,58% - 3,58%

Fonte: Do autor (2019)

Conforme Tabela 4, todos os filmes apresentaram resultados dentro dos limites de aceitação, comprovando que a dosagem programada na máquina corresponde com a realidade do processo e reforçando a confiabilidade dos resultados de consumo da matéria-prima e cálculos de eficiência do processo.

### 3.5 Análise econômica e de consumo

A Tabela 5 apresenta os resultados de teor de cinzas e  $TiO_2$ , bem como o percentual de *masterbatch*/consumo necessário para se atingir o valor padrão de opacidade dos filmes produzidos, além do custo total de *masterbatch* usado na produção do lote analisado.

Nota-se que quanto maior o grau de pureza do *masterbatch*, ou seja, quanto maior o % de  $TiO_2$  em sua composição, menor a quantidade necessária para se atingir um mesmo valor de opacidade, sendo que a dosagem é muito maior nos *masterbatches* que

possuem 70% de TiO<sub>2</sub>.

Tabela 5 - Padronização do % de *masterbatch* no filme.

Pigmento	% TiO <sub>2</sub>	Consumo Pigmento	Custo Pigmento/Kg	Custo Produção
A	75	4,0%	R\$ 11,84	R\$ 3.599,36
B	75	4,0%	R\$ 12,62	R\$ 3.836,48
C	75	4,0%	R\$ 11,19	R\$ 3.401,76
D	70	5,2%	R\$ 10,12	R\$ 3.999,42
E	70	4,8%	R\$ 10,85	R\$ 3.958,08
F	70	4,8%	R\$ 10,20	R\$ 3.720,96
G	70	4,4%	R\$ 10,06	R\$ 3.364,06

Fonte: Do autor (2019)

Em relação ao custo de *masterbatch* usado durante a produção tem-se os pigmentos C e G como mais rentáveis quando comparados ao pigmento A utilizado pela Empresa e em relação aos demais testados. O pigmento C teve um custo de produção 5,5% menor que o A e o G 6,5% menor. Uma observação para o pigmento G é o fato de estar acima da tolerância no percentual de TiO<sub>2</sub> no *masterbatch* o que corroborou para o resultado de melhor rentabilidade quando comparado aos pigmentos de mesma concentração. Os demais *masterbatches* apresentaram menor custo-benefício em comparação ao atual padronizado.

Levando em conta o grande volume de produção da Empresa, esta pequena redução no percentual de consumo de *masterbatch* significa uma enorme economia para o processo. No ano de 2019 até o mês de setembro a produção de filmes pigmentados brancos se encontra em aproximadamente 3,6 toneladas, o que resultaria em uma economia de R\$ 94.163,19 usando o *masterbatch* C e R\$ 112.126,62 utilizando o G.

#### 4. Conclusões

Foi possível analisar por meio deste trabalho que as matérias-primas utilizadas para a produção de filmes flexíveis apresentam oscilações de preços de acordo com fornecedores, sobretudo os *masterbatches*, que também variam de acordo com o percentual de TiO<sub>2</sub> em sua composição e representam um custo representativo do produto final.

Destaca-se neste projeto, a importância do controle de matéria-prima utilizada no processo, para a garantia de qualidade do produto final. Dentre as amostras testadas todas estavam dentro da faixa de tolerância especificada pela Empresa para quantidade de TiO<sub>2</sub>, com exceção do *masterbatch* G, onde este percentual se apresentou superior.

As análises de qualidade dos filmes apresentaram-se dentro dos padrões, uma vez que, as propriedades dos filmes se dão principalmente pelo tipo de resina polimérica utilizada e aditivos, sofrendo pouca influência do tipo de *masterbatch*.

Constatou-se que nos *masterbatches* com menor teor de TiO<sub>2</sub> foi necessário uma quantidade maior para atingir um mesmo valor de opacidade do filme, enquanto nos que continham 75% de TiO<sub>2</sub>, utilizou-se 4%, nos de 70% este percentual variou de 4,4% a 5,2%.

De acordo com os resultados obtidos durante o estudo verificou-se que existem outras

opções no mercado capazes de atender os parâmetros de qualidade exigidos pela Empresa, expandindo a gama de fornecedores, além de gerar economia no processo produtivo e também no custo do produto final para os consumidores.

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se avaliar outras matérias-primas utilizadas durante o processo de extrusão, como as resinas, aditivos e as cargas, a fim de reduzir custos com o processo produtivo, mantendo a mesma qualidade do produto final.

### **Referências**

**CANEVAROLO JÚNIOR, S. V.** *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 280 p.

**COLTRO, L.** *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades: aditivos para embalagens plásticas flexíveis*. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 20 p.

**DÁRIO, C. P.** *Avaliação das propriedades de barreira a gordura em função da redução de espessura em embalagem flexível destinada a pet food*. 2011. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

**GARCIA, E. C.; SARANTOPOULOS, C. I. G. de L. & COLTRO, L.** *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades: materiais plásticos para embalagens flexíveis*. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 48 p.

**MANO, E. B.; MENDES, L. C.** *Introdução à polímeros*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 191p.

**MANRICH, S.** *Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes*. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 485 p.

**MUSSAK, J.** *Avaliação do consumo de pigmentos em diferentes percentuais de  $TiO_2$  no processo de extrusão como resultado na opacidade final de filmes plásticos blow destinado a embalagens flexíveis*. 2016. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina - Satc, Criciúma, 2016.

**NEDER, E. E.; BACIC, M. J. & SILVA, A. L. G da.** *O mercado brasileiro de resinas termoplásticas: concentração de mercado na cadeia produtiva e de fornecimento*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. Anais do 10º congresso brasileiro de polímeros. p. 1-9. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/584.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

**PIVA, A. C.** *Caracterização de aditivos em filmes flexíveis de polietileno*. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

**RIGO, L. N.** *Desenvolvimento e caracterização de filmes comestível*. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2006. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/ea1\\_hp/DissertPDF/Turma2004/DissertLisandraRigo2006.pdf](http://www.uricer.edu.br/ea1_hp/DissertPDF/Turma2004/DissertLisandraRigo2006.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

**SANTOS, M. F. dos.** *Desenvolvimento de filmes monocamada PEBDL e PEAD antimicrobianos e atóxicos para aplicação em embalagens flexíveis.* 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc, Criciúma, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2285/1/Marcel%20Ferrari%20dos%20Santos.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

**TEIXEIRA, F. G., et al.** *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades: caracterização física e dimensional.* 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 52 p.

**TEIXEIRA, F. G.; ITO, D.** *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades: tipos, formatos e terminologia.* 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 16 p.

**VIEIRA, G. M.** *Determinação da concentração de dióxido de titânio utilizado como pigmento branco em masterbatches e análise colorimétrica.* 2005. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/52611479-Universidade-federal-de-santa-catarina.html>>. Acesso em: 08 abr. 2019.