

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM POUCH MONOMATERIAL UTILIZANDO POLITEREFTALATO DE ETILENO - PCR

Paloma Alessandra da Rosa¹

Débora De Pellegrin Campos²

Resumo: Devido à grande busca no mercado por embalagens sustentáveis, as indústrias transformadoras tiveram uma crescente no desenvolvimento de novas alternativas, visando atender as necessidades do produto envasado sem perder suas características, utilizando embalagens que atendam a economia circular. Este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma embalagem *pouch*, monomaterial, destinada ao mercado de *pet food*. Atualmente este modelo de embalagem é composto por um mix de materiais, o que dificulta sua reciclagem. A opção desenvolvida é composta apenas por poliéster, que contém um percentual oriundo de pós consumo. A embalagem desenvolvida foi submetida aos ensaios mecânicos de resistência à tração (ASTM D-882-12), resistência ao rasgo e alongamento (ASTM D-1938), termosoldagem (ASTM F88/F88M), módulo (ASTM D-882-12) e análise de barreira a TPVA (ASTM F-1249) e TPO2 (ASTM F-1927) e *drop test* (ASTM D-5276). Os resultados obtidos nos ensaios descritos acima foram comparados aos valores encontrados nas análises feitas com a estrutura atual e verificou-se que em relação as propriedades mecânicas a estrutura proposta atende as necessidades do produto envasado, porém em relação a barreira a umidade não, necessitando assim de uma espessura maior ou a utilização de um filme metalizado.

Palavras-Chave: Plástico. Embalagem *stand-up-pouch*. Poliéster. Monomaterial. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de plástico da população mundial é algo que vem sendo discutido por muitos, rotulando o mesmo como vilão. Cada vez mais o apelo ambiental julga desnecessária a utilização de embalagens plásticas para envase de determinados produtos. No entanto a embalagem possui o papel principal de proteger

¹ Graduanda em Engenharia Química. Ano 2021-2. E-mail: palomarosa0503@gmail.com

² Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: debora.campos@satc.edu.br

e prolongar a vida útil do produto envasado, diminuindo perdas e podendo assim ser comercializado em locais distantes.

Com o aumento de resíduos plásticos, a demanda por embalagens mais sustentáveis cresceu significativamente. Conseqüentemente as empresas buscam para seus produtos embalagens mais ecológicas, a fim melhorar a circulação de resíduos. A embalagem monomaterial tem sido uma opção bastante considerada no mercado, pois atende a economia circular.

Embora a embalagem flexível seja muito eficiente em termos de recursos, devido a sua composição com um misto de materiais sua reciclagem é dificultada. A substituição das embalagens atuais de plásticos mistos por mono – Politereftalato de etileno, popularmente conhecido como Poliéster (PET), possibilita melhor reciclabilidade, além da redução da quantidade de plástico por embalagem, mantendo as suas propriedades.

A embalagem monomaterial, como o próprio nome já diz é composta apenas de um único material, no caso deste trabalho, o PET, uma embalagem pronta para reciclar. O poliéster é um material extraído do petróleo bruto, um recurso natural não renovável, que leva em média cem anos para se decompor no ambiente, o que contribui para problemas ambientais (SCHMITT; FOLLE, 2021).

Em 2010, a lei 12.305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que visa reduzir e prevenir a geração de resíduos no Brasil por meio da formulação de políticas e estratégias voltadas à redução, reaproveitamento e reciclagem de resíduos industriais e de pós-consumo (CONKE; NASCIMENTO, 2018).

Desta forma, as empresas plásticas buscam alternativas para viabilizar a logística reversa, criando métodos de descarte para usuários finais, além de opções de reaproveitamento dos resíduos em suas cadeias produtivas (HENTOUX, 2018). Em 2020 a ANVISA aprovou a utilização de filmes de poliéster reciclado pós consumo (PCR), sendo a primeira resina reciclada que pode ser utilizada na produção de novas embalagens, inclusive em contato com alimento (TERPHANE, 2020).

Tendo em vista a problemática referida, o presente artigo objetiva o desenvolvimento de uma embalagem *stand up pouch* sustentável para a linha de *snacks* para *Pet Food*. Substituindo a estrutura atual composta por polietileno laminado com poliéster por uma estrutura monomaterial, composta apenas de

poliéster. A alternativa apresentada, o mono PET, terá em sua composição, percentual de PET oriundo de pós consumo.

Não apenas pela importância da reciclagem, mas também pela redução de plástico utilizado nas embalagens, tal estudo contribuirá para que a aplicação excessiva de plástico diminua. Além de uma alternativa sustentável que substitua a estrutura atual e possibilite a economia circular.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo fornecerá informações para o desenvolvimento deste trabalho com base em dados encontradas na literatura, que engloba o plástico, embalagens flexíveis e suas estruturas, poliéster, reciclagem do plástico e ensaios mecânicos.

2.1 INDÚSTRIA DO PLÁSTICO

O plástico surgiu no ano de 1900, trazendo inovação com um custo acessível e em grande escala de produção conquistando o mundo. Desde então sua utilização vem crescendo cada vez mais e nos mais variados segmentos, desde a construção civil, ao vestuário, na indústria automotiva, tecnológica entre muitas outras (ABIPLAST, 2016).

A Incoplast, Empresa do Grupo Copobras, atua a 50 anos no ramo do plástico. O Grupo Copobras tem sua matriz localizada na cidade de São Ludgero em Santa Catarina, contendo filiais nos estados de São Paulo, Paraná, Paraíba, Minas Gerais e Manaus. Iniciou suas atividades no ramo do plástico, com a produção de mangueiras e chinelos e atualmente é uma das maiores empresas no segmento de embalagens flexíveis, bandejas de poliestireno expandido (EPS) e copos e potes em polipropileno (PP). Possui uma alta gama de clientes na área de flexíveis, com atendimento nas linhas de *pet food*, sendo líder de mercado nacional neste segmento. A Empresa possui certificações Organização Internacional de Normalização (ISO) 9001, ISO14000 e ISO22000, atendendo com qualidade e segurança o mercado nacional e toda a América Latina.

2.2 EMBALAGEM FLEXÍVEIS

A embalagem flexível tem este nome justamente por sua capacidade de se moldar de acordo com os tipos diferentes de produtos que devem ser embalados (ABIEF, 2015). O uso de embalagens tornou-se imprescindível para a sociedade moderna, pois desempenha inúmeras funções importantes na garantia da qualidade do produto e na comercialização dos mesmos. Com isso, as pessoas se preocupam com a finalidade da embalagem e seu impacto no meio ambiente, pois possuem camadas de materiais distintos e com tempo de degradação diferentes (LANDIM et al., 2016).

Na indústria alimentícia, a principal função da embalagem é proteger o produto envasado de possíveis contaminações. As multicamadas contidas nas embalagens auxiliam para que este processo de proteção seja eficiente e para aumentar o *shelf life*, além de indicar ao consumidor informações consideráveis sobre o produto e conservação do mesmo (MENDES, 2020).

2.2.1 Embalagem *stand up pouch*

Uma das principais vantagens da embalagem *stand up pouch* (SUP) é sua presença de gôndola, pois este tipo de embalagem é exposto de pé na prateleira, facilitando assim a visualização do consumidor. Na Fig. 1 pode-se observar o modelo de embalagem SUP.

Figura 1: Modelo de embalagem SUP.



Fonte: Da autora (2021)

Stand-up pouch (SUP) é um modelo de embalagem que atende aos requisitos de redução de massa das embalagens de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta embalagem utiliza em torno de 70% a 90% menos material (em massa) ao comparar o envase do mesmo produto em embalagem rígida versus embalagem flexível. Este fator possibilitou o barateamento do produto para o consumidor final (TEIXEIRA, 2013).

A aplicação de zíperes, válvulas e “bicos” nas embalagens SUP, favoreceu o acondicionamento de diversos tipos de produtos, popularizando este modelo no mercado. Este modelo de embalagem pode ser obtido pelas empresas no formato de bobinas (*Form-Fill-Seal*) ou pré-formada (*Fill-Seal*). No primeiro, a empresa deve possuir uma máquina para formação, envase e selagem. Já no segundo a embalagem chega pronta para envase, sendo necessária apenas a selagem (LIMA, 2015).

Embora a embalagem SUP ofereça inúmeras vantagens econômicas para o setor de reciclagem a mesma é vista como um grande desafio. Por sua estrutura ser composta de materiais incompatíveis, a reciclagem destas embalagens torna-se complexa, dita por muitos como uma embalagem não reciclável (REZENDE, 2014).

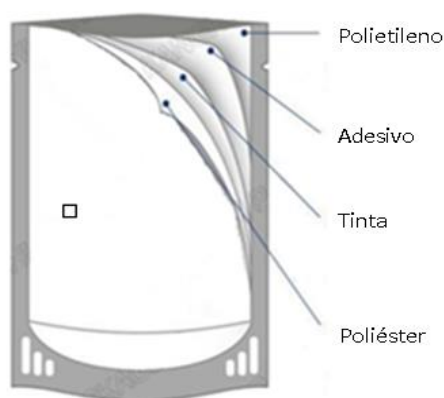
2.3 MATERIAIS PLÁSTICOS PARA EMBALAGENS TIPO SUP

A estrutura assumida pelo plástico, deriva da forma como se repete o monômero e de como as cadeias estão ligadas e com isso se diferem entre termofixos, termoplásticos e elastômeros. Os termoplásticos podem ser moldados de inúmeras formas com auxílio de calor e pressão. Os termofixos, ao contrário, quando aquecidos não podem ser remodelados, pois eles não se fundem. Já os elastômeros podem ser deformados elasticamente e retornar à sua forma original após a exposição à carga (SARANTOPOULOS; OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2017).

Em se falando de estrutura de embalagens, tem-se as flexíveis, que podem ser compostas de um único material, denominadas monocamadas, ou podem ser compostas de diferentes materiais, conhecidas como multicamadas ou laminadas. A definição da utilização de apenas um material pode ser eficiente para determinadas aplicações, porém existem algumas limitações que os materiais entregam que devem ser levadas em consideração (KAISER; SCHMID; SCHLUMMER, 2017).

A combinação de diferentes materiais é feita para atender as necessidades de cada produto, seja ela econômica, ambiental ou de conservação. Vários requisitos devem ser considerados na escolha dos materiais, incluindo barreiras a oxigênio, gorduras e a água, temperatura de estocagem, propriedades mecânicas e ópticas, resistência química, qualidade de impressão, formato, segurança dos alimentos e diversos outros fatores (SARANTOPOULOS, OLIVEIRA E TEIXEIRA 2017). Na Fig. 2, pode-se observar a estrutura bem comum no modelo de embalagem SUP.

Figura 2: Estrutura de uma embalagem SUP.



Fonte: Da autora (2021)

As embalagens flexíveis normalmente são produzidas através de resinas termoplásticas. As propriedades mecânicas das embalagens, assim como estruturais, podem variar de acordo com o polímero utilizado (DALMACIO; PACHECO; ESCÓCIO, 2020).

De modo geral, as principais resinas que compõe as embalagens flexíveis são o poliéster (PET), o polietileno de alta densidade (PEAD), o cloreto de polivinila (PVC), o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) (HAHLADAKIS, IACOVIDOU, 2018).

Para o desenvolvimento de uma embalagem plástica, a escolha dos materiais é fundamental para garantir que as propriedades dos produtos envasados não sejam alteradas. Os parâmetros críticos entre o alimento animal e os alimentos consumidos por humanos são bem semelhantes. Geralmente, a vida útil de alimentos para animais de estimação é definida por mudanças sensoriais, contaminação química, desenvolvimento microbiano ou infestação por insetos e roedores. Portanto,

a reação de degradação envolve principalmente a interação de oxigênio, umidade, microrganismos, insetos, roedores e o produto e materiais de embalagem (OLIVEIRA; TEIXEIRA; FIDELIS, 2011).

2.4 MONOMATERIAL

A descrição monomaterial, remete a um único material, mas não necessariamente a uma única lâmina de filme. Tem-se filmes monomaterial obtidos através de co-extrusão, ou seja, o mesmo material base, porém com ativações diferentes nas camadas, podendo conter inclusive material reciclado. O processo de co-extrusão é utilizado para garantir ao filme melhorias em suas propriedades mecânicas ou pigmentação dentre outras características do filme (EMBALAGEM IDEAL, 2020).

Algumas considerações são fundamentais a serem feitas em relação a estrutura correta das embalagens, garantindo viabilidade econômica, técnica e principalmente de proteção ao produto, como maquinabilidade, resistência mecânica, estabilidade dimensional e espessura, barreiras que atendam o *shelf life* desejado entre outras (TERPHANE, 2014).

No ano de 2019, foi desenvolvida e comercializada uma embalagem monomaterial do tipo SUP. A embalagem consiste em uma estrutura composta apenas por filmes de polietileno (PE) que protege o produto envasado e pode ser facilmente reciclada. O mercado de embalagens visa essa substituição de embalagens multimatérias para embalagens mono, de substrato homogêneo, o que estimula a reciclagem e reaproveitamento (TOENSMEIER, 2019).

2.5 POLITEREFTALATO DE ETILENO - POLIÉSTER (PET)

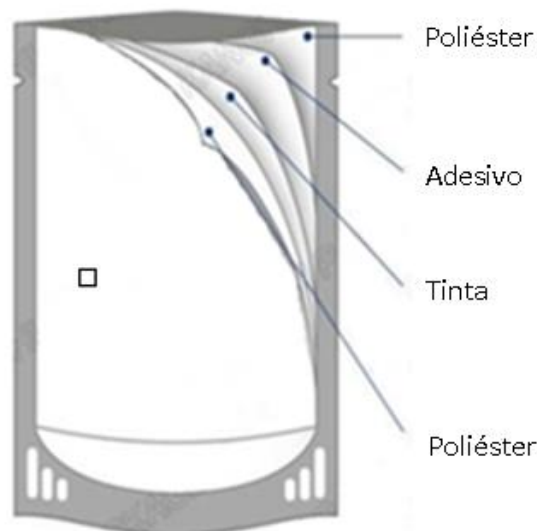
O poliéster é uma resina muito popular no meio das embalagens, sejam elas rígidas, como garrafas ou flexíveis, com filmes biorientados. Essa popularização se deve as altas barreiras entregues pelo material, como excelente resistência mecânica, brilho e transparência e barreira a gases. Os filmes de PET são normalmente utilizados na camada externa das embalagens flexíveis laminadas como as do tipo SUP e *retortable pouches*. O PET metalizado é comum ser aplicado em

embalagens que exigem maior resistência ao oxigênio, como leite em pó e achocolatados (SARANTOPOULOS; OLIVEIRA; TEIXEIRA 2017).

O PET é a única resina que pode ser utilizada na produção de novas embalagens destinadas a alimentos após a sua reciclagem no Brasil. Em 2019, a Terphane desenvolveu essa linha sustentável, devido à grande demanda do mercado. Essa linha faz parte do conceito de economia circular: o PET descartado na forma de embalagens, garrafas ou outros itens é recolhido, reciclado e devolvido à embalagem. O PCR (PET reciclado pós consumo), foi certificado pela agência internacional SCS *Global Services* com o selo “*Recycled Content*”. Esta certificação atesta que o filme possui, no mínimo, 30% de poliéster reciclado pós consumo em sua estrutura (TERPHANE, 2019).

O PET é o material com maior índice de reciclagem, isso acontece devido a sua fácil identificação, como as garrafas PET. Não há dificuldades na identificação do material, facilitando tanto para catadores, quanto para as empresas de reciclagem. A escolha do PET como matéria-prima para o desenvolvimento de uma embalagem de *snacks* é justamente devido as propriedades e barreiras entregues pelo material, além do aspecto visual de brilho, que se destaca em gôndola. Na Fig. 3, pode-se observar a estrutura da embalagem proposta.

Figura 3: Estrutura da embalagem proposta.










Fonte: Da autora (2021)

2.6 RECICLAGEM

Embora os plásticos tenham um alto potencial de reciclagem, apenas uma pequena parte (cerca de 14%) é reciclada de forma global atualmente. Essa baixa relação está relacionada principalmente ao aspecto da qualidade, que pode mudar em diferentes etapas do ciclo de vida do material plástico. No entanto, essas alterações podem não estar relacionadas apenas a alterações nas propriedades dos materiais, mas também aos seus métodos de coleta, manuseio e isolamento e podem ser contaminadas por outros materiais quando embalados juntos. A poluição, o reprocessamento também podem causar a diminuição da qualidade do material, afetando assim a degradação (HAHLADAKIS; IACOVIDOU, 2018).

Para tornar possível a reciclagem e melhorar a visualização das informações dos materiais que compõe cada embalagem facilitando assim a separação dos mesmos, as embalagens passaram a ser identificadas. A NBR 13.320 de 2008 da Associação brasileira de normas e técnicas (ABNT), definiu através de códigos aplicados nas embalagens, uma forma para facilitar a separação. O Qd. 1 apresenta estes códigos (ABNT, 2008).

Quadro 1: Códigos para identificar e indicar o tipo de material e sua reciclabilidade.

Símbolo	Material e aplicação
	Poli (tereftalanato de etileno) – utilizado em garras e recipientes de líquidos; filmes metalizados; chapas de raio-x; peças injetadas, entre outros.
	Poli de alta densidade – utilizado em engradados de bebidas; produtos químicos e utensílios domésticos; tubos e bombonas; embalagens diversas.
	Poli (cloreto de Vinila) – utilizado em tubulações e conexões para água; bolsa de sangue; calçados e bolsas; brinquedos; lonas, entre outros.
	Polietileno de baixa densidade - utilizado em embalagens para alimentos; sacos de lixo; filmes em geral.
	Polipropileno - utilizado em embalagens e potes; utilidades domésticas em geral; seringas descartáveis; fibras e tecidos, entre outros.
	Poliestireno - utilizado em copos descartáveis; cabines de aparelhos eletrônicos; embalagens em geral.
	Polímero não indicado anteriormente - outro tipo de polímero, ou a combinação de dois ou mais polímeros na mesma composição.

Fonte: Adaptado de Sarantopoulos, 2017

Uma vez que as embalagens SUP têm em sua estrutura materiais distintos, torna-se mais difícil reciclar o produto do que uma embalagem feita de um único material e algumas indústrias erroneamente consideram essa embalagem como não reciclável. No entanto, por ter grande potencial de desenvolvimento, essa dificuldade não pode ser um obstáculo para o aprimoramento desse tipo de reciclagem (REZENDE, 2014).

O desenvolvimento de uma embalagem monomaterial composta apenas de poliéster, visa atender as necessidades de barreira e propriedades óticas do produto, além de facilitar a reciclagem. Considerando que sua composição será homogênea, a embalagem deve se adequar a economia circular, considerando a utilização de poliéster PCR (OLIVEIRA, TEIXEIRA; FIDELIS, 2011).

2.7 ANÁLISES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS

A determinação de propriedades mecânicas de acordo com o tipo de embalagem é fundamental para o desempenho nas linhas de produção, assim como entregar um material que atenda as expectativas do cliente.

Em embalagens com estrutura multi-material, as propriedades mecânicas finais dependem das propriedades de cada uma das camadas, da adesão entre filme e do processo de conversão. A orientação das moléculas na fabricação dos filmes se altera de acordo com a direção do material e influencia nas propriedades, de modo que devem ser avaliadas em ambas as direções, de máquina e transversal. Um dos objetivos das análises mecânicas é auxiliar no desenvolvimento de novas estruturas ou homologação de novas resinas, além de validar a qualidade do material (SARANTOPOULOS, OLIVEIRA E TEIXEIRA 2017).

Os ensaios mais aplicados para avaliação da resistência dos materiais na empresa em questão são realizados de acordo com as normas ASTM para condições de ensaio, preparação dos corpos de prova e velocidade do equipamento. As principais análises são resistência à tração, módulo elástico, alongamento, delaminação, termosoldagem à tração e propagação do rasgo.

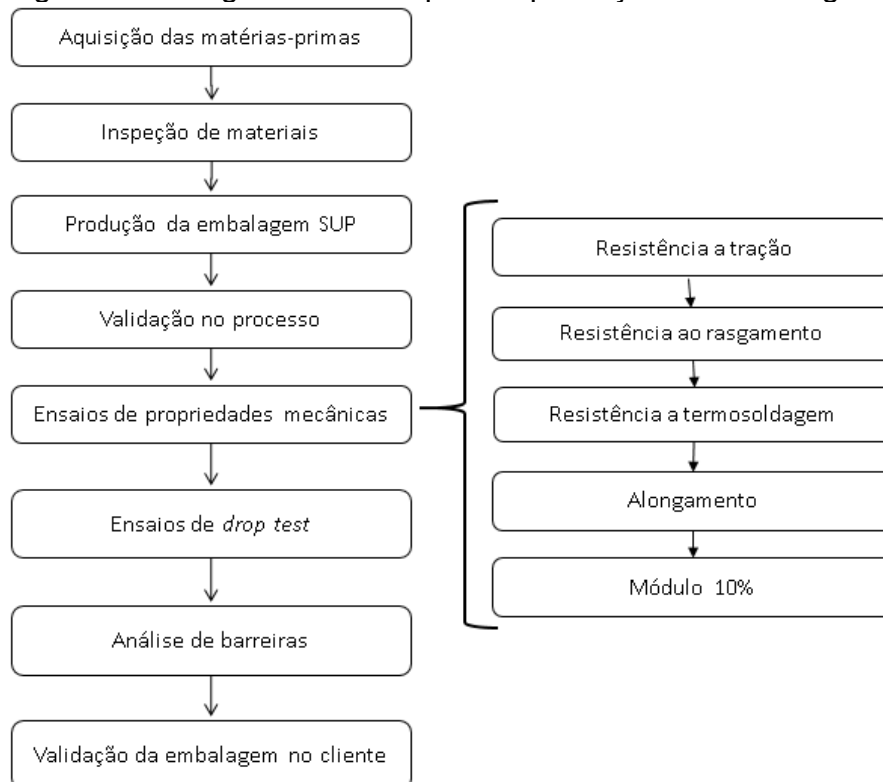
O método de análise de resistência a tração e alongamento é baseado na norma ASTM D882-12 (2012), que consiste no alongamento até ruptura do material.

Já a análise de propagação de rasgo, que segue como base a norma ASTM D1938 (2014), avalia a força necessária para o rasgo do material, considerando o momento de seu rompimento. A norma ASTM D882-12 (2012) é utilizada como base para a análise de modulo secante a 10%, que analisa o alongamento do material durante o deslocamento do equipamento. Já a norma ASTM F88/F88M (2015) é utilizada como base na análise de resistência da termosoldagem à tração.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste tópico serão descritas as etapas e análises necessárias para realização do projeto. A Empresa parceira Incoplast, localizada no município de São Ludgero, que disponibilizou sua estrutura e materiais necessários, bem como seu laboratório para a execução do trabalho. Utilizou-se também o laboratório da Terphane para realização de algumas análises. As etapas deste projeto estão representadas por meio de um fluxograma, conforme demonstrado na Fig. 4.

Figura 4: Fluxograma das etapas de produção de embalagem SUP.



Fonte: Da autora (2021)

3.1 AQUISIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Considerando a estrutura proposta pelo projeto, para o desenvolvimento de embalagem SUP, inicialmente realizou-se um estudo junto a empresas parceiras na escolha das matérias-primas necessárias para produção da mesma. A matéria-prima base para a produção das embalagens são os filmes de poliéster. A Empresa onde foi realizado o projeto não realiza a extrusão deste tipo de filme, desta forma os filmes foram adquiridos da Terphane. Este fornecedor possui certificação pela ANVISA permitindo a utilização de PET PCR em embalagens para contato com alimentos.

Foram requisitadas as matérias-primas para produção, considerando a estrutura composta por dois filmes de PET transparente. Demais informações foram seguidas conforme dados contidos no cadastro do produto teste que foi realizado pelo setor de engenharia de produto. Este cadastro, realizado via sistema, indicou para os setores produtivos as informações base para confecção da embalagem, bem como todos os insumos necessários. Com isso, realizou-se a compra dos materiais.

3.2 INSPEÇÃO DOS MATERIAIS

O grande diferencial da embalagem proposta é a utilização de dois filmes de poliéster, sem serem laminados com um filme de polietileno, que comumente é utilizado na parte interna das embalagens para selagem da mesma. Na estrutura proposta foi necessária a utilização de um filme de poliéster selável na parte interna, a fim de permitir a formação da embalagem.

O recebimento dos materiais foi realizado pelo setor de carga e descarga, em conjunto ao controle de qualidade, para realização das análises necessárias. As análises de inspeção realizadas foram de coeficiente de atrito (COF), seguindo a norma ASTM 1894-11, realizado no equipamento DSM COF 3, considerando a variação especificada pelo fornecedor, previamente avaliada, de 0,15 a 0,50 para ambos os filmes. A análise de selagem, para o filme da camada interna, foi realizada conforme procedimento interno IF-06-210.11 Parâmetro de Selagem por Estrutura, o qual indica a temperatura de solda de acordo com a estrutura e espessura do filme. Para a espessura da amostra analisada o range de temperatura especificado varia de

135°C a 155°C. A análise foi realizada no equipamento de selagem desenvolvido internamente que pode ser observado na Fig. 5.

Figura 5: Equipamento de selagem.

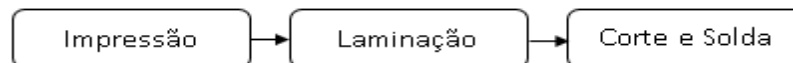


Fonte: Da autora (2021)

3.3 PRODUÇÃO DAS EMABLAGENS SUP

Mediante a liberação das análises de recebimento dos materiais, iniciou-se o processo de produção das embalagens SUP. O setor de programação gerou a ordem de produção e destinou a mesma para as etapas e máquinas, em suas respectivas datas. A Fig. 6 apresenta de forma simplificada as etapas do processo pelo qual passou a embalagem.

Figura 6: Fluxograma do processo.



Fonte: Da autora (2021)

Considerando que a embalagem foi composta por dois filmes de poliéster oriundos de um terceiro, não houve etapa de extrusão neste processo. O filme utilizado na parte externa da embalagem, a capa, foi inserido no processo na etapa de impressão, realizada via flexografia. Finalizada esta etapa, o filme já impresso foi destinado para o setor seguinte, onde foi laminado com o filme base. A laminação dos filmes foi realizada através de uma mistura de adesivo e catalisador. Após esta etapa, a bobina de filme foi encaminhada para o setor de corte e solda onde ganhou a forma da embalagem final, com as especificações solicitadas pelo cliente.

3.4 VALIDAÇÃO NO PROCESSO

A alteração na estrutura implicou em alterações no processo, principalmente

no setor de corte e solda. Considerando que atualmente se trabalha com polietileno na camada de selagem, os parâmetros de máquina já definidos foram revistos considerando a selagem através do poliéster.

Na etapa de laminação, foi necessária inserir a análise de selagem nas inspeções padrões da etapa, a fim de garantir que o lado selável não fique em contato com o adesivo. Desta forma, a cada bobina que entrou em máquina, separou-se uma amostra de filme para realização do ensaio.

3.5 ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

As análises de propriedades mecânicas foram realizadas no laboratório da Empresa parceira Incoplast e obedeceram às normas ASTM para condição de ensaios, preparação dos corpos de prova e velocidade do equipamento.

3.5.1 Equipamento Universal de Ensaio Mecânico – EMIC

Os ensaios de propriedades mecânicas foram realizados no Equipamento Universal de Ensaio Mecânico – EMIC, modelo DL-500MF. As análises foram realizadas nas embalagens, no sentido máquina (DM) e transversal das amostras (DT). A força máxima de operação foi 5 kN, a velocidade de ensaio foi de 0,05 mm/min a 1000 mm/min e o corpo de prova foi disposto entre duas garras conforme a Fig. 7.

Figura 7: Equipamento Universal de Ensaio Mecânico – EMIC.



Fonte: Da autora (2021)

3.5.2 Análises das propriedades

A resistência a delaminação do material foi obtida através da realização do ensaio conforme norma ASTM D1876-08 (2015), utilizando corpos de prova com 25,4 mm de largura e 250 mm de comprimento. O método consistiu na quebra do adesivo que une os filmes, afastando os materiais em sentidos opostos.

A análise de resistência a tração e alongamento foi realizada conforme norma ASTM D882-12 (2012), utilizando corpos de prova com 75mm de comprimento e 25,4mm de largura, para iniciar o ensaio foi informado a espessura da amostra no equipamento EMIC. O ensaio determinou o módulo de ruptura do material.

A resistência a propagação de rasgo, que determina a força necessária para o rasgamento do material, seguiu a norma ASTM D1938 (2014), utilizando corpos de prova com largura de 25 mm e 75 mm de comprimento.

A análise de módulo secante a 10%, que analisa o alongamento do material durante o deslocamento do equipamento, foi realizado de acordo com a norma ASTM D882-12 (2012). Utilizou-se corpos de prova com 300 mm de comprimento e 25,4 mm de largura, e assim como no ensaio de resistência a tração e alongamento, foi informada a espessura das amostras no equipamento EMIC.

A resistência da selagem do material foi avaliada de acordo com a norma ASTM F88/F88M (2015) na análise de resistência a termossoldagem a tração.

3.6 ENSAIOS DE *DROP TEST*

A resistência a queda das embalagens foi determinada a partir do ensaio de *drop test*, que consiste na queda das embalagens a partir de determinada altura, para validação da resistência da embalagem ao impacto no teste de queda. Este ensaio seguiu a norma ASTM D5276 (2009).

O ensaio foi realizado utilizando produtos diferentes a serem envasados. A quantidade de produto seguiu a indicação da embalagem do cliente testado, que no caso foi de 30 g. Realizou-se o ensaio envasando biscoito para cães, água e farinha. Na Fig. 8 é possível observar o método de ensaio.

Figura 8: Ensaio de *Drop Test*.

Fonte: Da autora (2021)

3.7 ANÁLISE DE BARREIRAS

Considerando as alterações na estrutura da embalagem, foram realizadas análises para validação das barreiras a vapor d'água e oxigênio. Após a finalização do processo produtivo foram separadas as amostras necessárias para realização dos ensaios. A análise de taxa de permeabilidade ao oxigênio (TPO₂) foi terceirizada pelo laboratório da Empresa Terphane, que realizou a análise com base na norma ASTM F-1927 utilizando o equipamento *Oxtran* da MOCON.

A análise de taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA), foi terceirizada pelo laboratório da Empresa Terphane, que realizou a análise com base na norma ASTM F-1249 utilizando o equipamento *Permatran* da MOCON.

3.8 VALIDAÇÃO DA EMBALAGEM NO CLIENTE

Após a formação das embalagens, as mesmas foram faturadas para um cliente parceiro, que as testou em seu processo avaliando as mesmas no envase, paletização e transporte, relatando as dificuldades e melhorias encontradas quando comparadas com as embalagens atuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados das análises realizadas, que tiveram início com a entrada das matérias primas na Empresa. Com isso o controle de qualidade realizou o processo de inspeção e obteve os valores de COF.

de 0,32 e 0,40 para os filmes de base e capa respectivamente, ambos dentro do especificado no item 3.2. A análise de selagem obteve uma temperatura de 140°C, considerando o range especificado no item 3.2, onde também se encontrou dentro do especificado. Desta forma os filmes foram liberados para o processo de produção.

No processo produtivo da embalagem foram necessárias pequenas alterações. Na etapa de impressão foi preciso um ajuste na tonalidade da tinta, para alcançar a cartela padrão de referência. É possível notar que a embalagem testada, na esquerda na Fig. 9, ficou com uma coloração mais apagada quando comparada a condição atual (na direita), isto deve-se a retirada do polietileno pigmentado da base, que fornece maior cobertura que a tinta branca aplicada.

Figura 9: Avaliação do acerto de cor.



Fonte: Da autora (2021)

Na etapa de laminação, foi realizado o ensaio de selagem do filme base novamente para identificação do lado selável do material. A análise resultou em uma temperatura de 138°C. Na Fig. 10 é possível observar a laminação dos filmes de poliéster.

Figura 10: Laminação.



Fonte: Da autora (2021)

Na etapa de corte e solda, foram necessários ajustes de velocidade e temperatura dos martelos. O corte foi realizado no equipamento Karville, modelo KS-DSUP-400, o mesmo maquinário que produz atualmente este modelo de embalagem. A velocidade de máquina foi alterada de 120 para 80 pacotes por minuto, uma redução de 33,53%. Essa alteração foi necessária devido ao material ser mais delicado que a estrutura atual, a fim de garantir que o mesmo não fosse danificado. Com a redução na velocidade de máquina, fez-se necessária uma redução nas temperaturas dos martelos de selagem, de 160°C para 120°C, para que não houvesse uma fragilização nas áreas de solda. Na Fig. 11 tem-se a embalagem formada.

Figura 11: Embalagem SUP formada.



Fonte: Da autora (2021)

4.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As Tab. 1 e Tab. 2 apresentam os valores obtidos nas análises de propriedades mecânicas de resistência a tração, ao rasgamento, a termosoldagem, alongamento e módulo 10%, sendo realizadas no sentido de máquina (DM) e transversal (DT).

Tabela 1: Análise das propriedades mecânicas DM.

Propriedade	Condição Atual	Condição Proposta
	Pe/PET	PET/PET
Resistência a tração (kgf/mm ²)	3,74	13,65
Resistência ao rasgamento (kgf)	0,87	0,02
Resistência a termosoldagem (kgf)	10,45	1,16
Alongamento (%)	91,76	69,21
Módulo 10% (MPa)	732,40	891,30

Fonte: Da autora (2021)

Tabela 2: Análise das propriedades mecânicas DT.

Propriedade	Condição Atual	Condição Proposta
	Pe/PET	PET/PET
Resistência a tração (kgf/mm ²)	3,76	15,27
Resistência ao rasgamento (kgf)	1,06	0,02
Resistência a termosoldagem (kgf)	9,43	1,10
Alongamento (%)	65,18	58,40
Módulo 10% (MPa)	790,60	919,80

Fonte: Da autora (2021)

Os resultados apontados na Tab. 1 e Tab. 2 condizem com o esperado, considerando que o polietileno possui valores de módulo de elasticidade inferiores ao do poliéster, como pode ser observado na Tab. 3, ou seja, ele alonga mais. Isto pode ser comprovado na análise DM, onde obteve-se um valor de módulo de 732,40 MPa para a estrutura com polietileno e 891,30 MPa para a estrutura composta apenas por poliéster. Para a análise de tração, assim como para o módulo, quanto maior a rigidez, maior o valor obtido. Na análise DM por exemplo, obteve-se um valor de 3,74 kgf/mm² para a estrutura com polietileno, enquanto que para a estrutura proposta obteve-se um valor de 13,65 kgf/mm².

Para nas análises de alongamento e rasgo, a estrutura atual obteve um valor superior, considerando que possui polietileno em sua camada interna, e que o mesmo é mais elástico que o poliéster eram esperados que os resultados fossem superiores ao da estrutura proposta. Por exemplo, na análise de rasgo DM obteve-se para a estrutura atual um valor de 0,87 Kgf, já para a estrutura proposta obteve-se um valor

de 0,02 Kgf, um resultado significativamente inferior, porém, por se tratar de uma composição apenas de PET, o mesmo já era esperado, considerando sua rigidez e conseqüentemente sua propagação ao rasgo.

Tabela 3: Propriedades dos materiais.

	Politereftalato de etileno (PET)	Polietileno (PE)
Resistência a tração	81 Mpa	25 MPa
Módulo de elasticidade	2800 Mpa	100 MPa

Fonte: PLASTMETAL (2015)

4.2 ANÁLISE DE *DROP TEST*

As embalagens envasadas com água, farinha e biscoito, foram submetidas ao teste de queda em quintuplicata, conforme ASTM D5276 (2009). A partir de uma altura fixa estabelecida em 0,60 m, foram submetidos ao teste de queda conforme indicado na Tab. 4.

Tabela 4: Análise de *drop test*.

Ordem das Quedas	
1	Painel frente
2	Painel verso
3	Em pé
4	Painel frente
5	Painel verso

Fonte: Da autora (2021)

O ensaio foi realizado em 15 amostras para cada estrutura, 5 contendo farinha, 5 contendo água e 5 contendo biscoito. Nas amostras envasadas com farinha e biscoito não houve rompimento em nenhuma das quedas, já as amostras envasadas com água romperam em ambas as estruturas, ainda na primeira queda. Este rompimento nas embalagens contendo água pode ser explicado pelo fato de a água não ter um volume constante e realizar uma força sobre as extremidades da embalagem, tornando a mesma mais frágil.

4.3 ANÁLISE DE BARREIRA

A Tab. 5 apresenta um comparativo das análises de barreira a oxigênio e vapor d'água.

Tabela 5: Análise de barreira.

Estrutura	TPVA (g/m².dia)	TPO₂ (cc/m².dia)
Atual PE/PET	3,5	120
Proposta PET/PET	8,8	21,6

Fonte: Da autora (2021)

As análises de barreira a oxigênio e água são de extrema importância considerando o produto envasado. Os biscoitos devem manter a crocância e aroma durante o tempo de prateleira do produto, principalmente considerando que os *pets* possuem um olfato bastante aguçado. A análise de TPO_2 , apresentou valores de migração da estrutura proposta inferiores (21,6 cc/m².dia) aos da estrutura atual (120 cc/m².dia), ou seja, há uma migração menor de umidade na estrutura proposta. Já para a análise de TPVA, obteve-se valores de migração inferiores para a estrutura atual (3,5 g/m².dia), ou seja, a estrutura proposta (8,8 g/m².dia) não atende a migração necessária para o produto envasado, sendo necessárias alterações na mesma para que se mantenha a barreira.

A partir dos resultados obtidos, foi possível compreender que apesar de alguns dos resultados das análises de propriedades mecânicas terem sido inferiores aos da estrutura atual da embalagem, elas atendem as necessidades do produto envasado. Os resultados obtidos nas propriedades mecânicas, já eram esperados, considerando a retirada do polietileno, que é um polímero que auxilia na flexibilidade e resistência ao impacto.

5 CONCLUSÕES

As alterações necessárias no processo representam um pequeno impacto, mais considerável na etapa de corte solda, onde há uma perda na produtividade.

Porém é algo que pode ser estudado considerando que é uma nova estrutura e os operadores precisam de prática para se adaptar e realizar os ajustes necessários. Quanto a questão da tonalidade da embalagem, que ficou com aspecto mais opaco comparando ao padrão, é possível realizar melhorias tanto na gravação de clichê quanto na preparação da tinta e cobertura de anilox.

As análises de TPVA e TPO₂ indicam que a estrutura proposta possui uma barreira superior a gases quando comparada a estrutura atual, porém possui barreira inferior a umidade, considerando a importância da barreira a unidade a fim de manter a crocância do produto envasado. Uma opção alternativa para garantir a barreira seria a utilização de PET metalizado, assim seria possível manter ou até mesmo encontrar resultados de migração inferiores ao da estrutura atual.

Considerando as avaliações realizadas, conclui-se que a estrutura proposta é uma opção a ser considerada para o mercado de *pet food*, como uma alternativa sustentável de embalagens SUP, sendo necessários alguns ajustes para garantia da barreira do produto envasado. De modo geral, obteve-se uma redução de 40% de plástico em peso e o desenvolvimento de uma embalagem pronta para reciclar.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **O plástico no Mundo**. 2016. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/>. Acesso em: 17 abr. 2021.

ABIEF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS. Um paralelo com a história da embalagem plástica flexível no Brasil. [S. L.]: LDB Comunicação Empresarial, 2015. 92 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento** - plásticos recicláveis: Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

ASTM. **ASTM D1876-08**: Peel Resistance of Adhesives. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2015. 3 p.

ASTM. **ASTM D1938-08**: Tear-Propagation Resistance (Trouser Tear) of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2014. 4 p.

ASTM. **ASTM D882-12**: Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2012. 12 p.

ASTM. **ASTM F88/F88M-09**: Seal Strength of Flexible Barrier Materials. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2015. 11 p.

CONKE, Leonardo Silveira; NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 199-212, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-33692018000100199&script=sci_abstract&tlng=pt: Acesso em: 28 mar. 2021.

DALMACIO, Bruna Carvalho; PACHECO, Elen Beatriz Acordi Vasques; ESCÓCIO Viviane Alves. **Desenvolvimento De Processo Para A Reciclagem De Embalagens Multicamadas Tipo Sachê**. 2020. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/http://www.monografias.poli.ufrj.br>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

Embalagem Ideal, **Filmes Coex**, disponível em: <http://www.filmesplasticosjpr.com.br/filmes-coex>. Acesso em: 09 abr. 2021.

HAHLADAKIS, John N.; IACOVIDOU, Eleni. Closing the loop on plastic packaging materials: what is quality and how does it affect their circularity?. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 630, p. 1394-1400, jul. 2018. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718307307>> Acesso em 08 abri. 2021.

HENTOUX, Miguel Ângelo. **Análise da cadeia de valor da reciclagem de PET com ênfase no PET-PCR grau alimentício**. 2018. 39 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/182333/001074566>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

KAISER, Katharina; SCHMID, Markus; SCHLUMMER, Martin. Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: a review. **Recycling**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 1-26, 22 dez.

2017. Disponível em <https://www.mdpi.com/2313-4321/3/1/1>. Acesso em 08 abril 2021.

LANDIM, Ana Paula Miguel; BERNARDO, Cristiany Oliveira; MARTINS, Inayara Beatriz Araújo; FRANCISCO, Michele Rodrigues; SANTOS, Monique Barreto; MELO, Nathália Ramos. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, SP, v. 26, p. 2-3, 19 jan. 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1897>. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282016005001106&script=sci_arttext&tlng=pt#B002>. Acesso em: 11 abr. 2021.

LIMA, Cleyton Rebechi de. **História da embalagem: Stand-Up Pouch**. 2015. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Embalagem, Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2015. Disponível em: <https://maua.br/files/monografias/completo-historia-embalagem:-stand-pouch-210909.pdf>. Acesso em: 11 abril 2021.

MENDES, Caroline. Embalagem como aliadas na segurança dos alimentos. **Avicultura Industrial**, São Paulo, ano 07, n. 1301, p. 52-54, 1 jul. 2020. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/edicao/1301>. Acesso em: 11 abr. 2021.

OLIVEIRA, Léa Mariza de; TEIXEIRA, Fabio Gomes; FIDELIS, Daniele. Embalagens Plásticas Para Pet Food: Relação Entre Qualidade E Proteção. **Ital Instituto de Tecnologia de Alimentos**, São Paulo, v. 23, p. 1-3, abr. 2011. Disponível em: <<https://ital.agricultura.sp.gov.br/cetea>>. Acesso em: 18 abr. 2021.

PLASTMETAL. Polietileno – tabela de propriedades. Disponível em: <<https://jatodagua.plastmetal.com.br/tabelas>>. Acesso em: 30 out. 2021.

REZENDE, Raquel Badia Campos de. **Caracterização da resina proveniente da reciclagem pós-industrial de embalagens stand-up pouch**. Orientador: Nilson Casimiro Pereira. 2014. 80 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/24178>. Acesso em: 9 abr. 2021.

SARANTOPOULOS, Claire Isabel Grigoli; OLIVEIRA, Lea.; TEIXEIRA, Fabio Gomes; **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. 2. ed. Campinas: Cetea, 2017. 432 p.

SCHMITT, Juliana Lunkes; FOLLE, Luis Fernando. Análise do conforto termo fisiológico e da resistência à tração em tecido tramado com algodão reciclado e filamentos obtidos da reciclagem de resíduos pós-consumo de garrafas pet. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, 12 mar. 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762021000100308&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 10 abri. 2021.

TEIXEIRA, Mirella de Marchi. **Reciclagem de embalagens tipo stand up pouch: viabilidade técnica e teste industrial**. Orientador: Diovana Aparecida dos Santos Napoleão. 2013'. 55 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP, Lorena, SP, 2013, disponível em <<http://sistemas.eel.usp.br>> Acesso em: 13 abri. 2021.

TERPHANE POLYESTER FILM, disponível em <<https://www.terphane.com/br>>. Acesso em 28 mar. 2021.

TOENSMEIER, Pat. Circular Design: flexible food packaging is growing, along with concerns about recyclability. The industry is taking note and working to improve plastics collection and reuse. **Plastics Engineering**, v. 1, n. 1, p. 24-30, abr. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/peng.20106>. Acesso em: 12 abr. 2021.