

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
COORDENADORIA ESPECIAL DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

João Vítor de Moraes Vieira

**Influência do tratamento superficial em filmes de polipropileno aplicados à impressão
flexográfica**

Blumenau

2022

João Vítor de Moraes Vieira

Influência do tratamento superficial em filmes de polipropileno aplicados à impressão flexográfica

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Coordenadoria Especial de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Materiais.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Larissa Nardini Carli

Blumenau

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vieira, João Vitor de Moraes

Influência do tratamento superficial em filmes de polipropileno aplicados à impressão flexográfica / João Vitor de Moraes Vieira ; orientadora, Larissa Nardini Carli, 2022.

55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia de Materiais, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Tratamento superficial. 3. Tratamento corona. 4. Polipropileno. 5. Impressão flexográfica. I. Carli, Larissa Nardini . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Materiais. III. Título.

João Vítor de Moraes Vieira

Influência do tratamento superficial em filmes de polipropileno aplicados à impressão flexográfica

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau.

Blumenau, 07 de março de 2022.

João Vítor de Moraes Vieira
Acadêmico

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Larissa Nardini Carli
Orientadora/Presidente

Ma. Renata Cerruti da Costa
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Johnny de Nardi Martins
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família e aos
meus amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais, por todo apoio e sustento providos nestes últimos anos que estive na graduação. Eu não estaria aqui sem todo amor e suporte de vocês.

À minha irmã, Ana Luísa por ser meu maior exemplo. Obrigado por me incentivar e acreditar que sou capaz de realizar tudo que eu almejar.

À minha orientadora, Profa. Dra. Larissa Nardini Carli, por todo carinho, tempo dedicado, e conhecimento dividido durante a orientação deste trabalho.

Aos professores da UFSC que desde o primeiro dia da graduação fizeram-me amar o curso de engenharia de materiais. Não consigo imaginar seguir outra carreira que não essa.

À Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos-EQA da UFSC – Florianópolis, pela realização do ensaio de determinação do ângulo de contato.

À minha coordenadora Alessandra, representando toda a equipe da All4Labels, pela confiança, proporcionando que este trabalho fosse possível. Agradeço também por todos os ensinamentos e vivências compartilhadas.

À minha namorada Luiza Gabriela, por tudo. Todos os momentos de indecisão, ansiedade e dificuldade só foram superados com o apoio dela. Obrigado por me motivar e tornar meus dias mais alegres.

Aos meus queridos amigos, que fizeram não só os dias na universidade serem mais leves e divertidos, mas com quem também compartilhei momentos únicos e memoráveis durante estes anos de graduação.

À todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram com esta trajetória, meu sincero muito obrigado.

RESUMO

As embalagens, além de possuírem a função de proteger as mercadorias, em muitos casos, precisam também ser visualmente atrativas para o consumidor final. Do desejo de conquistar os consumidores com a embalagem, surge a necessidade da utilização dos rótulos. Os rótulos, por sua vez, são responsáveis por agregar funções legais, informativas e decorativas das embalagens. Entretanto, para que seja possível agregar estes efeitos visuais aos rótulos, é fundamental que os materiais empregados na produção deles sejam apropriados para impressão. Desse modo, em muitos casos, ao utilizar filmes poliméricos na construção dos rótulos é necessário realizar um tratamento superficial para elevar a adesão das tintas ao material. Dito isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto do tratamento superficial em filmes poliméricos aplicados na conversão de rótulos por impressão em flexografia. Para tanto, foi proposto o uso de dois materiais autoadesivos constituídos parte por filmes transparentes de polipropileno (PP). Um dos materiais testados foi fornecido com um tratamento químico superficial (material A), enquanto o outro foi submetido ao tratamento por descarga corona na própria linha de impressão (material B). Em seguida, os filmes foram submetidos à impressão em flexografia nas velocidades de 60, 80, 100 e 120 m/min. A variação deste parâmetro teve como objetivo entender a influência da velocidade na eficiência do tratamento corona. Os filmes impressos foram submetidos a diversos ensaios para validar a eficiência do tratamento, como teste de adesão de tinta, teste de resistência ao risco [LC1] e determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo. Ademais, visando caracterizar a superfície dos materiais, foram realizadas análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e ângulo de contato para determinar a tensão superficial. Os resultados dos testes mostraram que o material A apresentou melhores aspectos quanto à resistência à abrasão e à adesão das tintas se comparado ao material B. Além disso, pelas análises de FTIR foi possível verificar que a descarga corona gerou pouca modificação na superfície do material B, pois as bandas características das regiões com ligações C-O mantiveram-se bastante parecidas, ou seja, com baixa intensidade. Entretanto, o espectro do material A apresentou uma grande banda característica de ligação C=O, o que corrobora os resultados. Por fim, a análise de ângulo de contato gerou um resultado oposto aos resultados encontrados nos demais testes. Esta análise evidenciou que as amostras do material B, quando submetidas às maiores velocidades, possuem uma maior energia de superfície. É provável que um tratamento excessivo do material esteja gerando uma perda de grupos oxidados de baixa massa molar da superfície, ocasionando assim uma piora na tensão superficial. Isso, quando somado ao fato da cura da tinta UV ser prejudicada com o aumento da velocidade, é o que justifica os resultados observados. Logo, a combinação destes fatores gera um produto mais suscetível a defeitos e problemas de adesão no rótulo impresso.

Palavras-chave: Impressão flexográfica. Polipropileno. Tratamento superficial. Tratamento corona.

ABSTRACT

Besides the function of protecting the products, packaging also needs to be visually attractive to the final consumer. In this context, the labels become an important part of the product packaging. They are responsible for adding legal, informative, and decorative functions to the packaging. However, in order to achieve these visual effects on labels, the materials used in their production might be susceptible to printing. Thus, in many cases, when using polymeric films in the production of labels, it is necessary to perform a surface treatment to increase the adhesion of the inks to the material. So, this work aims to evaluate the impact of surface treatment on polymeric films applied in the conversion of labels by flexographic printing. Therefore, it was proposed the use of two self-adhesive materials consisting of transparent polypropylene (PP) films. One of the materials was supplied with a previous chemical surface treatment (material A), while the other was subjected to corona discharge treatment on the printing line itself (material B). Then, the films were subjected to flexographic printing at speeds of 60, 80, 100 and 120 m/min. The variation of this parameter intends to understand the influence of the speed on the efficiency of corona treatment. The printed films were submitted to several tests to validate the efficiency of the treatment, such as ink adhesion test, scratch resistance test, and determination of the surface tension using a surfactant liquid. Furthermore, in order to characterize the surface of the materials, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analyses and contact angle were performed to determine the surface tension. The results showed that material A presented better aspects in terms of abrasion resistance and ink adhesion compared to material B. In addition, from the FTIR results, it was possible to verify that corona discharge generated only slight modification on the surface of the material B, because the characteristic bands of the regions with C-O bonds remained very similar, with low intensity. However, the spectrum of material A showed a large characteristic band of C=O, which corroborates the results. Finally, the contact angle analysis presented an opposite trend in comparison to the other tests. This analysis showed that samples of material B, when subjected to higher speeds, have a higher surface energy. It is likely that an excessive treatment of the material generates a loss of low molecular weight oxidized groups from the surface, causing a worsening in surface tension. This fact, together with the inefficient UV ink curing with the increase of speed justifies the observed patterns. Therefore, the combination of these factors generates a product that is more susceptible to defects and adhesion problems on the printed label.

Keywords: Flexographic Printing. Polypropylene. Surface treatment. Corona treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A unidade monomérica do PP	17
Figura 2 - Taticidades do PP	17
Figura 3 - Estrutura do conjunto autoadesivo.....	19
Figura 4 - Ilustração do processo de descarga corona.....	22
Figura 5 - Ilustração de gota de tinta em superfície tratada e não tratada.....	24
Figura 6 - Esquema simplificado de uma unidade de impressão flexográfica.....	25
Figura 7 - Clichê flexográfico de fotopolímero.....	26
Figura 8 - Esquema camada de tinta depositada para tintas à base de solvente e tintas UV após a secagem.....	28
Figura 9 - Desenho representativo das amostras impressas	31
Figura 10 - Projeto esquemático apresentando a sequência de impressão dos componentes ..	31
Figura 11 - Impressora flexográfica com tratamento corona em linha	33
Figura 12 - Destaque das regiões ensaiadas com a fita TESA 4104	34
Figura 13 - Destaque das regiões da amostra ensaiadas no rub test: em preto (sem calço) e em vermelho (com calço de branco)	35
Figura 14 - Resultado ensaio de adesão para as amostras: 1(a); 2(b); 3(c); e 4(d).....	39
Figura 15 - Resultado ensaio de adesão para as amostras: 5(a); 6 (b); 7 (c); e 8 (d).....	40
Figura 16 - Resultado do teste de abrasão (rub teste) na amostra 4 (a) e amostra 7 (b).....	41
Figura 17 - Espectro infravermelho para o material B relacionando as amostras 5, 6, 7 e 8: a) Espectro completo b) região aproximada das bandas de 3000 a 2500cm ⁻¹ , c) região aproximada das bandas de 1500 a 1300cm ⁻¹ e de 1260 a 1000 cm ⁻¹	43
Figura 18 - Espectro infravermelho comparativo entre os materiais A e B.....	44
Figura 19 – Imagens do ensaio de gota pendente aplicado às amostras 5-8 e Material A, para água destilada (à esquerda), formamida (ao centro) e diiodometano (à direita)	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso de anilox para cada unidade de impressão.....	32
Tabela 2 - Identificação das amostras obtidas durante o processo de impressão.....	32
Tabela 3 - Classificação do resultado do teste de adesão.....	34
Tabela 4 - Classificação do resultado do teste de fricção (<i>rub test</i>).....	36
Tabela 5 - Percentual de reagentes para obtenção do fluido tensoativo.....	36
Tabela 6 – Classificação do resultado do teste de adesão.....	38
Tabela 7 – Valores de tensão superficial obtidos no teste por fluido tensoativo.....	42
Tabela 8 – Resultado do ângulo de contato em graus para as amostras 5-8 e Material A.....	45
Tabela 9 - Resultado do ângulo de contato em graus.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRE - Associação Brasileira de Embalagem
ABTG - Associação Brasileira de Tecnologia Gráfica
EQA - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos
FDA - *Food and Drug Administration*
FTIR - Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier
LTE - Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia
PA - Poliamida
PE - Polietileno
PET – poli (tereftalato de etileno)
P_f - Ponto de Fusão
PP - Polipropileno
PSL - *Pressure Sensitive Label* (rótulos sensíveis à pressão)
PVC - Policloreto de vinila
T_f - Temperatura de fusão
TNT - tecido não tecido
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UV - Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 EMBALAGENS POLIMÉRICAS	16
2.1.1 Polipropileno.....	17
2.2 TECNOLOGIA DE ROTULAGEM	19
2.2.1 Rótulos Autoadesivos	19
2.3 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	20
2.3.1 Tensão superficial e ângulo de contato.....	23
2.4 IMPRESSÃO FLEXOGRÁFICA.....	25
2.4.1 Chapa de impressão - Clichê.....	26
2.4.2 Dosagem de tinta - Anilox.....	27
2.4.3 Tintas	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 MATERIAIS.....	30
3.1.1 Conjunto autoadesivo	30
3.1.2 Tintas e vernizes	30
3.2 MÉTODOS	30
3.2.1 Processo de impressão flexográfica	30
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	33
3.3.3 Adesão de tinta ao substrato polimérico	33
3.3.4 Resistência ao risco de superfícies impressas	35
3.3.1 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo	36
3.3.2 Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	37
3.3.3 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio do ângulo de contato	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	38
4.1.1 Adesão de tinta ao substrato polimérico	38
4.1.2 Resistência ao risco de superfícies impressas	40
4.1.3 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo	41

4.1.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	42
4.1.5 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio do ângulo de contato	44
5. CONCLUSÃO.....	48
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Embalagens têm sido usadas desde que o primeiro ser humano começou a fabricação de ferramentas. Provavelmente, o primeiro exemplo de embalagem utilizada para conservação dos alimentos foi o uso de folhas para envolver as carnes oriundas da caça, enquanto as tribos nômades se moviam sem saber quando encontrariam comida novamente. Com o advento da tecnologia impulsionada pela Revolução Industrial, as embalagens se tornaram cada vez mais importantes para os produtos, sendo responsáveis por possibilitar acesso a produtos provenientes de outros países, de forma ágil e segura. (EMBLEM,2012)

Segundo o estudo *The Future of Global Packaging*, o mercado de embalagens deve atingir a marca de 1 trilhão de dólares em 2024. Neste mercado, o papelão ainda domina o consumo, com quase um terço do volume (33,2%), seguido por embalagens de plástico flexíveis (25,5%), plásticos rígidos (18,7%), metálicas (12,1%), embalagens de vidro (5,8%) e outros materiais. (ABRE,2021) Devido ao mercado de embalagens, os rótulos surgem da necessidade de identificar os produtos embalados para garantir que o consumidor saiba exatamente o que está recebendo ao comprar um produto (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

Desde o início da utilização de embalagens com rótulos, há mais de 100 anos, até os dias atuais, os rótulos viraram uma ferramenta bastante versátil, deixando de exercer apenas a função básica de prover informação ao fornecedor. Os rótulos viraram uma forma de garantir a identidade de uma marca, de prover informações legais, de impulsionar as vendas e de garantir a segurança dos produtos. (WHITE,2012)

Até meados do século XX, o mercado de rótulos era dominado pelos rótulos de papel com cola, também conhecidos como *wet glue*, até que em 1950 o estadunidense Stanton Avery criou os rótulos autoadesivos, ou adesivos sensíveis à pressão. (WHITE,2012). Desde a sua invenção, os rótulos autoadesivos tem apresentado um crescimento nos mais diversos segmentos de produtos, devido à variedade de formatos, capacidade de adesão em diferentes substratos e sua receptividade aos mais diversos sistemas de impressão como rotogravura, serigrafia, offset, letterpress e flexografia. (SARANTOPOULOS, *et al.*,2017)

Mesmo como toda a versatilidade dos rótulos autoadesivos, alguns materiais utilizados na produção dos conjuntos destes rótulos requerem tratamentos específicos antes de seguirem para a impressão. Rótulos com frontal de filmes poliméricos de polietileno (PE) ou polipropileno (PP), por exemplo, necessitam de um tratamento superficial para melhorar a susceptibilidade à adesão da tinta, devido à sua baixa energia superficial e estrutura

quimicamente inerte (KEHRER, *et al.*, 2020). Para tanto, algumas opções de tratamento estão disponíveis para modificar as superfícies dos materiais poliméricos, deixando-os com as características desejadas, como um incremento na molhabilidade e polaridade. Dentre as técnicas utilizadas, o tratamento por descarga corona é o mais utilizado na indústria de filmes devido ao baixo custo de operação e a eficiência em elevadas velocidades (Cáceres, *et al.*, 2012).

O tratamento corona é um tratamento oxidativo que promove aumento de adesão ao gerar um incremento na energia superficial. Através da aplicação de uma diferença de potencial, o tratamento corona gera uma modificação química e topográfica na superfície do material. (LYYTIKÄINEN, *et al.*, 2018) Com o incremento da tensão superficial torna-se viável a impressão. Assim, a impressão flexográfica, comumente conhecida apenas por flexo, assume o posto de ser um dos processos de impressão mais utilizados na indústria de rótulos e embalagens. Esta utiliza de uma chapa flexível que ao receber a tinta, transfere a imagem gravada para o material. (MUMBY, 2012).

A tinta empregada no processo de impressão influencia no resultado final do produto. Em geral, as tintas para impressão flexográfica são compostas de pigmentos, resinas e solventes. Todavia, a tinta ainda pode ser discriminada de acordo com o sistema de secagem empregado, sendo por secagem por evaporação de solventes ou por cura ultravioleta (UV). Neste último caso, a tinta sofre o processo de secagem por meio da polimerização dos oligômeros na composição devido à fonte de radiação UV. Devido à alta versatilidade e facilidade em se trabalhar com tintas dessa natureza, o sistema por cura UV é bastante favorável no segmento de rótulos e etiquetas (SCARPETA, 2007).

Portanto, neste trabalho discutir-se-á a influência da velocidade na efetividade do tratamento superficial em filmes de polipropileno (PP). Dessa forma, serão abordados tópicos como a estrutura molecular do PP, para justificar as mudanças químicas as quais o material deve sofrer ao ser submetido ao tratamento por descarga corona e, também, o processo de impressão flexográfica como um todo, mostrando suas características e pontos críticos. Com o intuito de validar essas propostas foram realizados diversos ensaios para determinar a tensão superficial dos materiais, bem como análises de resistência das tintas por cura UV.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da velocidade sobre o tratamento superficial por descarga corona em materiais autoadesivos com frontal de filme de PP no processo de impressão por flexografia.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Comparar através de ensaios qualitativos a diferença de desempenho entre o filme de PP tratado por descarga corona do filme de tratado quimicamente.
- b) Determinar a resistência à abrasão e a adesão das tintas sobre os substratos de PP tratados por descarga corona e sobre PP com tratamento químico superficial.
- c) Determinar as propriedades superficiais dos filmes de PP avaliando a tensão e as modificações superficiais dos materiais.
- d) Avaliar o impacto da velocidade na modificação superficial do filme de PP gerada pelo tratamento corona durante o processo de impressão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EMBALAGENS POLIMÉRICAS

As embalagens são recipientes ou invólucros responsáveis por proteger e identificar os produtos acondicionados em seu interior. Para isso, existem diversas opções de materiais que são definidos de acordo com a necessidade do produto. Em virtude dessa necessidade de desempenho, muitos materiais como: aço, alumínio, papel, papelão, vidro e plásticos, são utilizados sozinhos, ou combinados. (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

Algumas embalagens como as de vidro e aço, são utilizadas há centenas de anos, porém as embalagens plásticas tiveram seu início apenas no fim da Segunda Guerra Mundial. Na época, o polietileno (PE) começou a ser produzido em grande escala, gerando a possibilidade de aplicar os materiais poliméricos comercialmente.

O que impulsionou a utilização do PE como material de embalagem foi a possibilidade de ter um material resselável que ainda era transparente, fazendo com que os produtos pudessem ser vistos pelos clientes. O crescimento das embalagens plásticas continuou na década de 70, impulsionado pela baixa densidade dos polímeros, usualmente PE e polipropileno (PP). Esse fato, provia uma redução no peso das embalagens, gerando um ganho de logística. (SELK; CULTER, 2016).

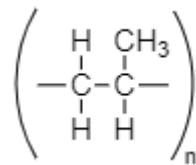
Atualmente, os materiais poliméricos são utilizados na produção de embalagens rígidas, em frascos e potes, mas também na produção de embalagens flexíveis. As embalagens flexíveis são encontradas nos mais diversos formatos, produzidos combinando filmes poliméricos, papel e/ou alumínio para garantir maior longevidade dos produtos. Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE), em 2020 a produção em território nacional atingiu mais de 2,088 milhões de toneladas de embalagens flexíveis.

Os filmes poliméricos são fabricados pelo processo de extrusão, de modo que podem ser tanto por extrusão balão (ou *blow*), *cast*, ou ainda diretamente sobre outro substrato como papel ou alumínio. O processo de fabricação dos filmes dependerá das propriedades finais e da natureza do polímero do qual se deseja produzir um filme. Dentre os principais polímeros utilizados na produção de filmes estão os polietilenos, os polipropilenos, e os poliésteres, representados majoritariamente pelo poli (tereftalato de etileno) (PET) (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

2.1.1 Polipropileno

O polipropileno (PP) é um material termoplástico encontrado em diversos filmes e estruturas devido à sua resistência, tenacidade e ponto de fusão próximo a 165°C (HARPER, 2004). O PP é categorizado como um polímero poliolefínico, similar ao polietileno (PE). A diferenciação entre os dois se dá pela substituição do hidrogênio no monômero do PE pelo grupo metil no PP, como observado na Figura 1 (SHREYA, 2009).

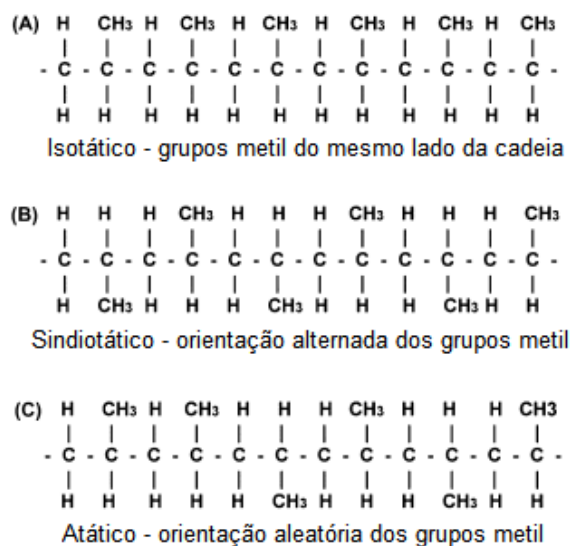
Figura 1 - A unidade monomérica do PP



Fonte: Autoria Própria

Ao contrário da polimerização do etileno, há possibilidades estereoquímicas devido ao grupo metil no propileno. Essa mudança permite a preparação de três diferentes estereoisômeros cujas cadeias são denominadas isotáticas, sindiotáticas e atáticas. As taticidades podem alterar o grau de cristalinidade das cadeias. (HARPER, 2004).

Figura 2 - Taticidades do PP



Fonte: Adaptado de Calhoun (2016)

Como observado na Figura 2, quando os grupos metil estão posicionados no mesmo lado da cadeia, é gerado o PP isotático (A). Quando esses grupos metil são alternados de um lado para o outro do polímero, é conhecido como sindiotático (B). Já uma ordenação aleatória desses grupos gera um polímero atático (C). (CALHOUN, 2016).

A forma mais comum e largamente utilizada em escala industrial é a polimerização através de catálise, que forma cadeias poliméricas cristalizáveis. Nesse processo é possível dar origem a um sólido semicristalino com boas propriedades físicas, mecânicas e térmicas (KARIAN, 2003). A técnica mais comumente utilizada no meio comercial é a tecnologia do catalisador Ziegler-Natta. Esse catalisador permite o controle da estereoquímica durante a polimerização para formar PP nas formas isotática e sindiotática (HARPER, 2004).

Diferentes propriedades e comportamentos definem cada um dos estereoisômeros. O PP isotático é a forma comercial mais usada, com um ponto de fusão de 165°C. À medida que a quantidade de material isotático aumenta, aumenta a cristalinidade do material. O PP isotático e sindiotático podem se agrupar em uma formação cristalina, gerando um polímero com maior rigidez. A diferença entre ambos está no fato de o PP sindiotático ter uma temperatura de fusão (T_f) inferior ao do polímero isotático (HARPER, 2004). O PP atático é pouco cristalino (5 a 10 por cento) porque sua estrutura irregular previne cristalização, gerando desse modo um material com comportamento flexível, podendo ser utilizado na fabricação de adesivos (MALPASS, 2012).

Alguns fabricantes de PP citam o “índice isotático”, quantidade insolúvel em solvente quente, pois esse valor indica o percentual do polímero isotático. Usualmente, para um polímero comercial, esse valor gira em torno de 95%. No caso de polímeros de PP muito estereorregulares, a forma isotática resulta em um ponto de fusão (P_f) mais elevado que o do PE de alta densidade, na faixa de 30° C. O grupo metila também tem um efeito químico, isto é, o átomo de carbono terciário proporciona um local para a oxidação do polipropileno (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

No entanto, o PP apresenta uma superfície quimicamente inerte e hidrofóbica que restringe suas aplicações em muitas operações como revestimento, adesão, pintura, coloração, embalagem, laminação e na má adesão do PP na superfície de outros materiais. Por isso, em aplicações de rotulagem, por exemplo, faz-se necessário o uso de tratamentos superficiais (SHREYA, 2009).

2.2 TECNOLOGIA DE ROTULAGEM

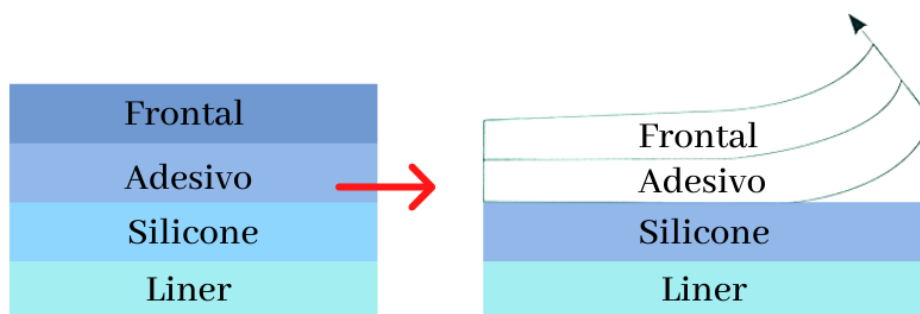
Como dito no tópico 2.1, as embalagens são responsáveis por proteger, e facilitar o transporte e uso dos produtos. Todavia, é necessário identificar o que está acondicionado em seu interior, por isso, os rótulos são de grande importância para a indústria de embalagens. A demanda por rótulos tem aumentado devido à expansão no número de produtos alimentícios, de limpeza e higiene pessoal, os quais possuem objetivos e estratégias diferentes para conquistar o consumidor final. Os rótulos podem ser bastante simples, contendo apenas informações legais, mas também, podem ser exuberantes, com efeitos sofisticados que trazem um apelo visual único, mesclando arte e tecnologia (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

Dentre os diversos tipos de rótulos disponíveis no mercado, destacam-se os rótulos: Autoadesivos; Termoencolhíveis; Magazine; In mould Labels; Roll label; Manga; e, Stretch.

2.2.1 Rótulos Autoadesivos

Os rótulos autoadesivos, também conhecidos como rótulos sensíveis à pressão (do inglês *Pressure Sensitive Label - PSL*), consistem em rótulos que possuem uma estrutura laminada composta por: suporte, ou liner; silicone; adesivo; e, frontal. (BAUMGARTEN,2014). Quando rotulado, as camadas de frontal e adesivo são aderidas ao frasco do produto, por meio da aplicação de pressão, enquanto as camadas de liner e silicone são descartadas. (Figura 3)

Figura 3 - Estrutura do conjunto autoadesivo



Fonte: Adaptado de INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017

O frontal, caracteriza-se como o substrato que ficará visível na embalagem. Nele serão impressas as Figuras, textos e outras informações que o cliente desejar colocar no seu produto. Na maioria dos casos, o frontal é feito ou de filmes poliméricos de polipropileno (PP),

polietileno (PE) ou de papel. Todavia, existem aplicações que requerem materiais com propriedades diferenciadas como filmes de poliamida (PA), politereftalato de etileno (PET), ou policloreto de vinila (PVC), por exemplo. Além disso, o frontal pode apresentar os mais diversos efeitos visuais, como aspecto metalizado, perolado ou holográfico (DE SÁ, 2018).

O adesivo é o responsável por garantir a fixação (adesão) do frontal na embalagem do produto. Esse adesivo pode variar de acordo com a necessidade do projeto, podendo ser permanente ou removível. Além da classificação quanto à aplicação, os adesivos podem ser classificados também de acordo com a sua composição, como: acrílicos base água, acrílicos base solvente ou hot melt. O tipo adequado de adesivo será escolhido baseado nas especificações do projeto, como geometria do frasco, temperatura de aplicação, necessidade de contato com alimentos, dentre outras características importantes. (BAUMGARTEN,2014).

Por fim, o liner é a camada do conjunto autoadesivo responsável por proteger o adesivo até que este seja aplicado no produto final. Sobre ele é aplicada a camada de silicone que será responsável por facilitar o destacamento do rótulo durante a rotulagem. De modo geral, utilizam-se dois tipos de liner diferentes na indústria, o liner glassine e o liner PET. O liner glassine, é um liner base de papel, enquanto o liner PET, consiste em um filme polimérico de polietileno tereftalato (PET). Vale destacar, que o tipo de liner impacta diretamente na velocidade de rotulagem, de modo que, para linhas de altíssima velocidade, faz-se necessário o uso do liner PET devido a sua maior resistência à tração e ao alongamento (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2017).

2.3 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Os polímeros são usados em uma ampla gama de aplicações: em roupas, aplicações médicas, em peças aeroespaciais e automotivas e indústrias de embalagens. No entanto, eles geralmente não possuem propriedades superficiais adequadas que promovam aplicações bem-sucedidas em áreas relacionadas com a adesão, printabilidade e biocompatibilidade (MAZZOLA; BEMPORAD; CARASSITI, 2010). Por isso, as indústrias que lidam com materiais poliméricos, realizam tratamentos superficiais em seus filmes buscando obter melhorias nas características necessárias para o produto, como aumento da molhabilidade e aumento da energia livre de superfície.

A modificação da superfície dos insumos utilizados na indústria têxtil, por exemplo, é realizada para melhorar várias propriedades, como maciez, tingibilidade, absorbância e molhabilidade. Algumas fibras sintéticas de polipropileno e poliéster, apresentam como um

grande revés a sua alta hidrofobicidade, notada em artigos de tecidos não tecidos (TNT). Esse material é utilizado em artigos absorventes descartáveis, como fraldas e produtos de cuidados femininos que serão molhados por água ou líquidos aquosos. Por isso, há a necessidade de que esse material seja modificado para ser utilizado para tal finalidade. Além disso, pesquisas recentes em química de têxteis mostram que os tratamentos podem auxiliar em propriedades funcionais, como atividade antimicrobiana, diminuição das propriedades de irritação da pele e a aplicação de fragrância em tecidos. (JOHN, ANANDJIWALA, 2009)

Na engenharia de tecidos, medicina regenerativa e muitos outros campos biomédicos, a modificação da superfície muitas vezes é necessária para introduzir espécies bioativas que podem promover a adesão, proliferação e viabilidade celular. Segundo Ma e colaboradores (2017), a hidroflicidade/hidrofobicidade pode ser o parâmetro inicial que afeta a absorção de proteínas. Superfícies hidrofóbicas favorecem termodinamicamente a adsorção de proteínas de soluções aquosas, porém muitas vezes a adsorção induz a desnaturação e a mudança na conformação inicial da proteína, desregulando sua bioatividade, uma vez que a conformação natural de uma proteína é um pré-requisito para sua bioatividade. Dessa forma, os tratamentos superficiais são estudados para gerar superfícies com a hidrofobicidade desejada para cada estudo celular.

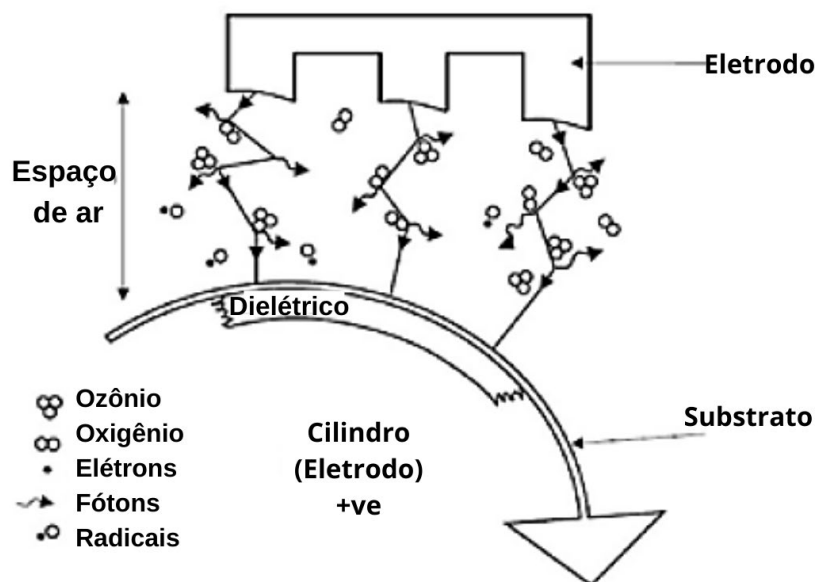
Outro problema muito comum é a adesão de revestimentos em substrato polimérico. Alguns exemplos descrevem este problema, como descolamento de verniz de pára-choques, metalização de componentes plásticos e adesão de tintas em embalagens de poliolefinas (MAZZOLA; BEMPORAD; CARASSITI, 2010). Como dito anteriormente, é um fato que a adesão depende de duas propriedades da superfície: molhabilidade e energia livre de superfície. Porém, devido à baixa energia superficial dos polímeros poliolefinicos (30 mJ/m^2) e a adesão torna-se limitada, demandando modificações superficiais para tal aplicação. (LOUZI; CAMPOS, 2019).

O tratamento superficial por descarga corona é um processo bem aceito, relativamente simples e um dos mais amplamente utilizados para o tratamento de superfície de filmes poliolefinicos. Esta técnica é especialmente usada para melhorar a capacidade de impressão e adesão, visto que a superfícies dos filmes de PP são hidrofóbicos devido à presença de grupos metil nas cadeias poliméricas, o que limita suas aplicações. (LOUZI, CAMPOS, 2019).

Pode-se definir o tratamento corona como sendo a modificação química e eletrônica da superfície dos materiais plásticos na adesão e molhabilidade (propriedade de espalhamento de um líquido na superfície). (SCARPETTA, 2007). Na atmosfera ambiente, a descarga corona é composta de íons, elétrons e espécies excitadas de oxigênio e nitrogênio; eles têm energia

suficiente (1-20 eV) para quebrar as ligações carbono-carbono (2,54 eV) e ligações carbono-hidrogênio (3,79 eV) e gerar radicais livres. Os radicais livres, por sua vez, reagem com átomos de oxigênio e ozônio para formar grupos químicos contendo oxigênio nas superfícies poliméricas, como mostrado na Figura 4. (LOUZI, CAMPOS, 2019)

Figura 4 - Ilustração do processo de descarga corona



Fonte: Adaptado de Scarpeta (2007)

Segundo Scarpeta (2007), o tratamento corona promove três diferentes fenômenos na superfície dos materiais poliméricos:

1) A descarga elétrica dos tratadores coronas provoca, simultaneamente, a ionização do ar e a formação de ozônio. Nessa atmosfera extremamente oxidante, a estrutura do material plástico, seja ele polietileno, polipropileno, poliéster ou qualquer outro, é oxidada, gerando grupos químicos muito mais polares que a cadeia original. Dentre os grupos formados destacam-se o C=O, C-O e C-OH, todos muito mais energéticos, possuindo relevantes níveis de forças de polarização de Keelson, contra as predominantes forças de dispersão de London, no caso das poliolefinas principalmente.

2) Outro fenômeno que explica a melhor printabilidade instantaneamente após o tratamento corona é que alguns dos radicais formados, como C=O apresentam alta reatividade, podendo reagir com a própria estrutura do polímero tratado, que agora, convém lembrar, apresenta maior presença de grupos reativos, ou mesmo com elementos da tinta, como aditivos (titanatos) ou com as resinas. Caso a impressão se dê muito brevemente após o tratamento, é de

se supor que haja uma maior disponibilidade de grupos reativos para provocar ligações cruzadas com a tinta, causando uma excepcional adesão. Após algum tempo, sem contato com a tinta, é maior a possibilidade de tais grupos reagirem com o próprio substrato.

3) Finalmente, mas não menos importante, o tratamento aumenta a rugosidade do filme, o que repercute em um efeito positivo: mais superfície implica em um somatório maior de energia por área macroscópica.

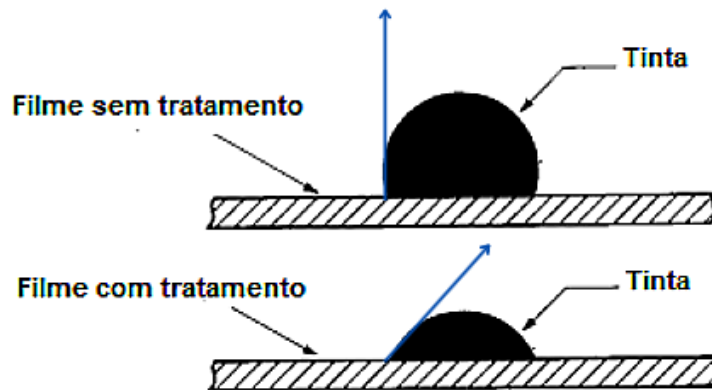
A propriedade de molhabilidade gerada pelo aumento da tensão superficial do filme desempenha um papel muito importante, pois além de ser um dos princípios básicos da adesão, resulta em boa qualidade de impressão, permitindo uma distribuição uniforme da tinta na superfície do substrato plástico. (SCARPETTA, 2007).

2.3.1 Tensão superficial e ângulo de contato

Para que a superfície seja molhada pelo líquido de interesse, é fundamental que a energia de superfície do polímero seja maior do que a superfície de tensão do líquido. Idealmente, a energia de superfície do polímero deve ser de 7 a 10 dinas/cm maior que a tensão superficial do solvente ou líquido. A faixa de trabalho para impressão pode variar em função do material, porém esses valores ficam entre 38 e 44 dinas/cm (ENERCON).

Desse modo, é fundamental avaliar se a tensão superficial do filme está de acordo com o valor necessário para receber o líquido/tinta. O ensaio de ângulo de contato é um dos métodos utilizados para determinar a tensão superficial destes filmes. O ângulo de contato é mensurado a partir da medição do ângulo formado entre a superfície de interesse e a gota do líquido empregado no ensaio. Uma superfície sem tratamento, deve apresentar um ângulo de contato maior (próximo a 90°), enquanto, um filme tratado com uma boa molhabilidade, deve apresentar um ângulo de contato inferior a este valor (Figura 5). Portanto, quanto menor o ângulo, melhor a molhabilidade e maior a tendência de adesão da gota, nesse caso, a tinta (SCARPETTA, 2007).

Figura 5 - Ilustração de gota de tinta em superfície tratada e não tratada



Fonte: Adaptado de Enercon

O valor da tensão superficial do filme é obtido de forma indireta a partir de métodos matemáticos que utilizam o valor do ângulo de contato. Para isso, um dos métodos mais utilizados é o método de média geométrica. Esse método é baseado na suposição de interação intermolecular entre as componentes dispersiva (forças de London) e pela componente polar (forças de Debye e Keesom). O cálculo é realizado empregando a equação de Owens-Wendt (1) combinada a equação de Young (2), gerando a equação (3) para obter a tensão superficial do material. (ZOLEK-TRYZNOWSKA, *et al.*, 2020).

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2 \left(\sqrt{\gamma_L^d \gamma_S^d} + \sqrt{\gamma_L^p \gamma_S^p} \right) \quad (1)$$

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad (2)$$

$$(1 + \cos \theta) \gamma_L = 2 \left(\sqrt{\gamma_L^d \gamma_S^d} + \sqrt{\gamma_L^p \gamma_S^p} \right) \quad (3)$$

Na equação 3, θ representa o ângulo de contato, γ^p e γ^d as componentes polar e dispersiva, respectivamente, e as letras sobrescritas determinar se se trata da componente polar do líquido (l) ou da componente da superfície (s). Para realizar o cálculo é essencial o uso de

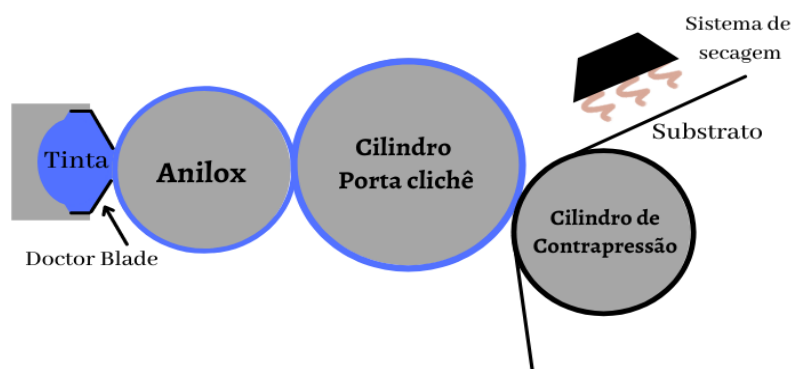
duas equações, considerando dois líquidos diferentes. Assim, em posse dos valores tabelados de γ_L^p , γ_L^d e θ , é possível determinar a tensão superficial (γ_s), através da soma das componentes γ_s^p , γ_s^d . (CÁCERES, *et al.*, 2012).

2.4 IMPRESSÃO FLEXOGRÁFICA

Por consequência da evolução do processo de vulcanização descoberto por Charles Goodyear em 1839, em 1930 a Mosstyp Corporation desenvolveu a primeira chapa de elastômero vulcanizado, responsável por transferir a tinta para o substrato. Desse modo, deu-se origem ao Processo Anilina, como ficou conhecido, por utilizar tintas à base de anilina. Todavia, alguns anos após o surgimento desse processo, a FDA (*Food and Drug Administration*), órgão do governo americano responsável por proteger a saúde pública, declarou a anilina tóxica. Mesmo com a mudança da tinta utilizada no processo, muitas pessoas ainda associavam o nome com algo perigoso, portanto, em 1952 as gráficas dos Estados Unidos da América (EUA) anunciaram a mudança do nome do processo, dando origem ao processo flexográfico ou flexografia. (SCARPETA, 2007)

A impressão flexográfica é um processo de impressão bastante versátil, podendo ser utilizado para impressão em diversos tipos de substratos com diferentes durezas e superfícies como: papéis, papelão e filmes poliméricos dos mais variados (ABTG, 2008). Existem alguns componentes no processo flexográfico, que são fundamentais e definem a qualidade do produto final obtido, são eles: o clichê, ou chapa de impressão; o anilox, ou cilindro dosador; e a tinta. A Figura 6 apresenta um esquema simplificado do funcionamento de uma máquina de impressão flexográfica.

Figura 6 - Esquema simplificado de uma unidade de impressão flexográfica



Fonte: Autoria própria

A tinta é disposta em um tanque, geralmente sob agitação para manter a viscosidade controlada. A tinta então é transferida para o anilox, através de uma abertura. Esta abertura possui uma lâmina, conhecida como *doctor blade*, responsável por ajudar no controle de tinta transferido para o anilox. Desse modo, o anilox agora carregado, fornece a tinta para a chapa de impressão. A chapa de impressão então realiza a transferência da tinta para o substrato, por meio de pressão. Por fim, a tinta já depositada no substrato passa pela secagem, seja ela por calor ou por sistema ultravioleta, garantindo o fim do processo de impressão (MORTON, J.; SHIMMIN, R, 2014).

2.4.1 Chapa de impressão - Clichê

A chapa de impressão é responsável por transferir a tinta para o substrato, gerando os padrões de imagem desejados. Essa transferência de tinta é feita através da aplicação de pressão, fazendo com que o clichê precise se conformar para transferir a tinta e retornar ao seu estado inicial. Atualmente os clichês são majoritariamente produzidos a partir de fotopolímeros (Figura 7), que substituíram os clichês de borracha, pois apresentam maior estabilidade dimensional e uniformidade de espessura (SCARPETA, 2007).

Figura 7 - Clichê flexográfico de fotopolímero



Fonte: Autoria própria

Segundo Scarpeta (2007) também, as chapas de fotopolímero apresentam em sua composição monômeros de metacrilatos, fotoiniciadores e outras substâncias químicas que são

depositadas sobre um filme de poliéster. Todavia, para que a chapa apresente as propriedades adequadas para o processo, é fundamental que ocorra a polimerização localizada no clichê. Para isso, existem os métodos convencionais e os métodos digitais de gravação.

2.4.2 Dosagem de tinta - Anilox

Os cilindros anilox são responsáveis pela dosagem da tinta que será transferida para o clichê e conseqüentemente para o substrato. O volume de tinta é controlado pela quantidade de células/alvéolos da superfície do cilindro, de modo que a profundidade, quantidade e a geometria destas células afetam diretamente o volume de tinta. O Anilox é geralmente produzido com um núcleo de aço ou alumínio, que recebe um recobrimento de material cerâmico para que a superfície apresente uma maior resistência à abrasão e estabilidade dimensional das células entintadoras (IZDEBSKA, 2016).

Existem três fatores importantes em relação à escolha do anilox ideal que devem ser considerados: a lineatura e a capacidade volumétrica (BCM). De acordo com Scarpeta (2007), a lineatura, pode ser definida basicamente como a quantidade de linhas de pontos existentes em um centímetro ou polegada linear. Desse modo, a lineatura definirá a qualidade da impressão, em que impressões com lineaturas maiores terão maior definição, e lineatura menores apresentam resultados com menores definições. Entretanto, lineaturas maiores, por contarem com pontos menores de impressão, tendem a gerar maior entupimento e dificuldade de impressão.

Por fim, a capacidade volumétrica está relacionada ao volume de tinta a ser depositado no clichê. Este volume é fornecido em dois parâmetros: em BCM/pol² (Bilhões de Micras Cúbicas por polegada quadrada) ou em cm³/m² (ABTG, 2008).

2.4.3 Tintas

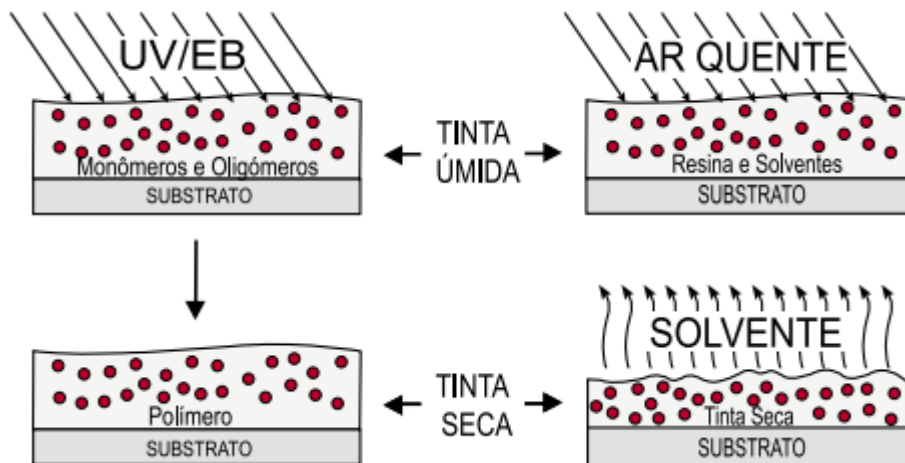
As tintas são parte fundamental do processo de impressão flexográfica, pois são elas que permanecerão no produto, trazendo as características visuais e táteis desenvolvidas para conquistar o cliente final. A ABTG (2008) define as tintas como uma mistura homogênea, compostas por uma fração de elementos sólidos, como resina e pigmentos, dissolvidas em uma fração líquida, o solvente, que forma uma película fina aderente à superfície do substrato.

Todavia, esta definição pode variar um pouco dependendo do tipo tinta utilizado na impressão. As tintas flexográficas podem ser tintas à base de água, à base de solvente e por cura UV. (PEKAROVICOVA, A.; HUSOVSKA, V, 2016).

2.4.3.1 Tintas por cura UV

As tintas por cura UV, levam esse nome pois sua “secagem” é feita a partir da cura da resina quando exposta a radiação ultravioleta. Por apresentar esse tipo de secagem, as tintas UV não utilizam solventes, sendo compostas por monômeros reativos, oligômeros, pigmentos e diluentes. Desse modo, ao ser submetido a uma fonte de radiação UV, a tinta cura, formando uma camada seca de tinta sobre o substrato (Scarpeta, 2007). Por não possuir solventes em sua composição, a tinta UV possui um maior teor de sólidos se comparada a tintas à base de água e à base de solventes orgânicos. Sendo assim, a camada de tinta UV depositada sobre o filme tende a se manter mais espessa do que a camada de outras tintas, como pode ser visto na Figura 8. Este fato, pode ser prejudicial em algumas aplicações que se deseja um produto bastante flexível ou com propriedades de termo encolhimento.

Figura 8 - Esquema camada de tinta depositada para tintas à base de solvente e tintas UV após a secagem



Fonte: (SCARPETA, 2007)

Em geral, as tintas UV mais empregadas no processo flexográfico utilizam como os oligômeros de poliéster, poliuretano ou de polimetilmetacrilato (ABTG, 2008). Estas moléculas precursoras do polímero podem ser curadas de duas formas: via radical ou via catiônica. Para o processo via radical, ao ser exposta a radiação UV, as moléculas fotoiniciadores absorvem a energia e se quebram, formando dois radicais livres bastante reativos. Em seguida, os radicais livres reagem com os monômeros e oligômeros presentes na tinta, criando radicais que geram uma reação em cadeia de fotopolimerização. Ao findar da reação, a tinta depositada sobre o

substrato encontrar-se-á curada. O método de fotopolimerização via catiônica, se difere quanto ao início da reação, na qual, o fotoiniciador ao invés de se partir em dois radicais, produz um ácido que inicia a reação de polimerização. A reação em cadeia gerada após a reação do iniciador é bastante similar à reação via radical (IZDEBSKA, 2016).

Vale mencionar, que a reação via radical, é cessada quando há a remoção da radiação UV sobre a tinta, enquanto na reação via catiônica a polimerização continua após a remoção da fonte de radiação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Conjunto autoadesivo

Foram utilizados dois materiais autoadesivos com frontal de filme de polipropileno transparente, dois quais, um com tratamento corona e outro com recobrimento superficial (*top coating*). O material com tratamento superficial corona, identificado como material B, e o material com tratamento top coating, identificado como material A. A informação sobre os componentes e processo utilizados para obtenção deste recobrimento é de poder do fornecedor, não sendo disponibilizada para os convertedores. Entretanto, é dito pelo fornecedor que o top coating aplicado no filme é um tratamento químico realizado na superfície para melhorar a ancoragem da tinta, garantindo uma maior adesão do que os materiais tratados apenas via descarga corona.

3.1.2 Tintas e vernizes

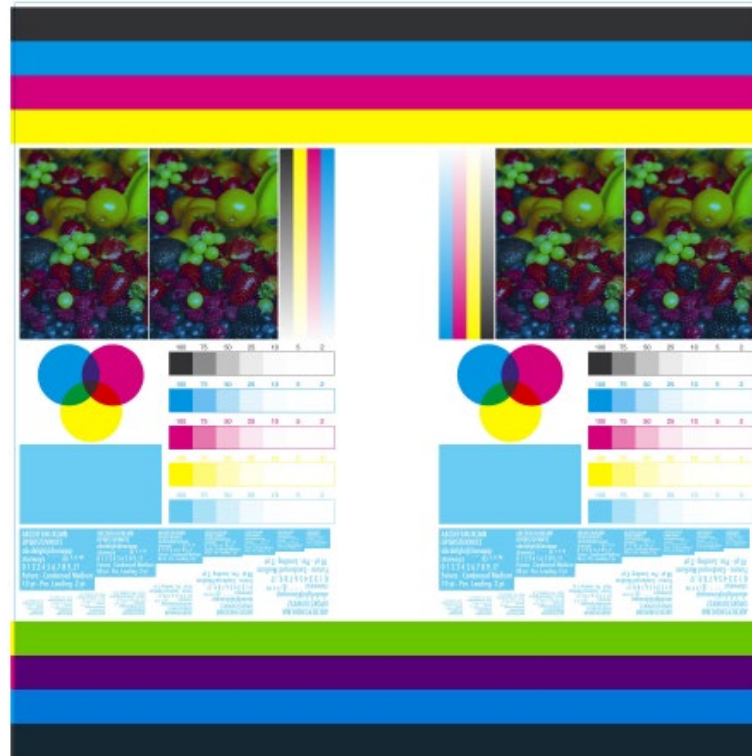
Para a elaboração dos testes, foram utilizadas tintas e vernizes que apresentam o maior volume de consumo na All4Labels. No total, foram usados sete componentes para impressão, entre tintas e vernizes, sendo estes todos por secagem por radiação UV.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Processo de impressão flexográfica

O processo de impressão flexográfica foi realizado na empresa All4Labels Gráfica do Brasil LTDA, situada em Blumenau-SC. Para simular a impressão de um rótulo com diferentes cores e acabamentos, foi desenvolvida uma arte na All4Labels (Figura 9). As amostras foram impressas em uma máquina flexográfica de banda estreita. As tintas e vernizes foram dispostas cada uma em uma unidade da máquina, de acordo com a sequência: branco, amarelo, ciano, magenta, preto, verniz brilho e verniz fosco.

Figura 9 - Desenho representativo das amostras impressas



Fonte: Autoria própria

A sequência de impressão das cores que compõem a Figura 9, bem como a região da imagem em que cada cor foi impressa, pode ser vista na Figura 10. Nota-se que as zonas com coloração azulada representam as regiões nas quais foram impressas a tinta branca.

Figura 10 - Projeto esquemático apresentando a sequência de impressão dos componentes



Fonte: Autoria própria.

Para cada uma das cores em cada uma das unidades foram utilizados diferentes anilox de acordo com a Tabela 1. Os cilindros anilox foram determinados pelo impressor, considerando as características da arte para determinar a lineatura (LPC) e o volume de tinta mais adequados (cm³).

Tabela 1 - Uso de anilox para cada unidade de impressão

Unidade de impressão	2	3	4	5	6	7	8
Componente	Branco	Amarelo	Magenta	Ciano	Preto	Verniz brilho	Verniz fosco
Anilox (LPC)/(cm³)	260/7,0	420/3,5	420/3,5	420/3,5	420/3,5	260/7,0	260/7,0

Fonte: Autoria própria

Assim, as amostras foram produzidas considerando 4 velocidades de impressão, iniciando em 60m/min e acrescentando em 20m/min até a velocidade máxima de 120m/min. As combinações de velocidade e materiais empregados, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Identificação das amostras obtidas durante o processo de impressão

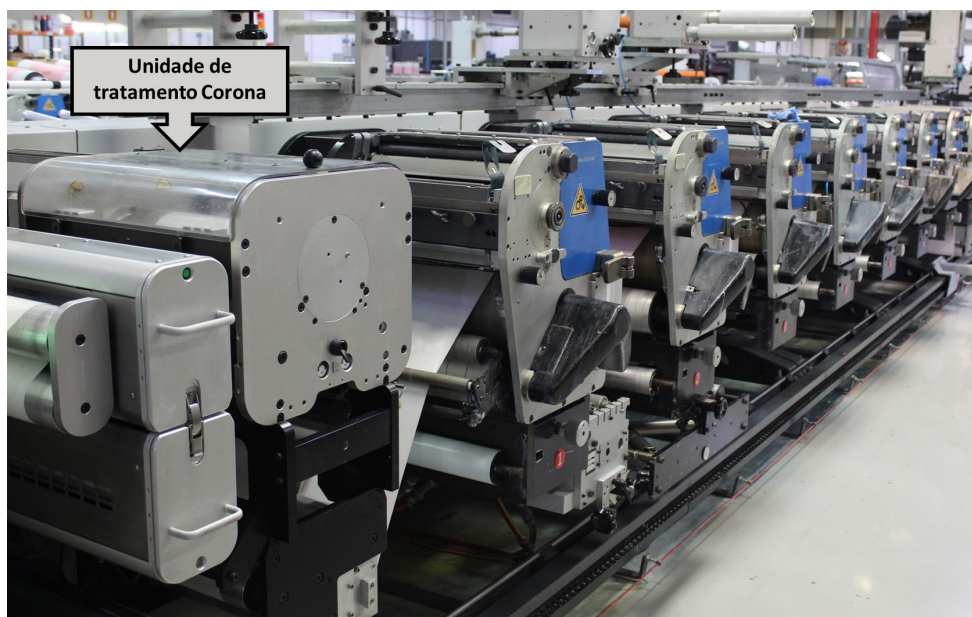
Amostra	Material Autoadesivo	Velocidade de impressão (m/min)	Tratamento corona em linha?
1	Material A	60	Não
2	Material A	80	Não
3	Material A	100	Não
4	Material A	120	Não
5	Material B	60	Sim
6	Material B	80	Sim
7	Material B	100	Sim
8	Material B	120	Sim

Fonte: Autoria própria

Ainda na Tabela 2, nota-se que o material B recebeu tratamento corona em linha antes da impressão em todas as amostras. Este tratamento foi realizado na própria impressora flexográfica, em uma seção da máquina localizada antes da primeira unidade de impressão (Figura 11). Desse modo, o material foi tratado por descarga corona em ar atmosférico, em condições ambientais controladas (25°C e umidade relativa a 60%), empregando o potencial máximo entre os eletrodos da máquina para todas as amostras tratadas.

Vale mencionar que a velocidade do tratamento e o tempo do qual a tinta foi exposta a radiação UV durante o processo de cura são determinados pela velocidade de impressão.

Figura 11 - Impressora flexográfica com tratamento corona em linha



Fonte: Autoria própria

3.3 Caracterização dos materiais

3.3.3 Adesão de tinta ao substrato polimérico

Uma das formas mais comuns de avaliar a efetividade da adesão da camada de tinta impressa é através da aplicação de uma fita adesiva sobre o material, removendo-a após certo período de tempo. A norma FINAT FTM21 descreve a metodologia deste ensaio, indicando duas opções de fitas adesivas, e neste caso, foi utilizada a fita TESA 4104.

Com o material disposto em uma superfície plana e lisa, a fita é aplicada sobre a área impressa, evitando a formação de bolhas de ar sob a fita. Para ajudar a adesão, é feito um massagemamento com um rolo, sobre a fita. Após o período de 20 minutos aderido ao material, a fita é removida e ocorre a avaliação da quantidade de tinta removida do substrato pela fita. O resultado do teste pode ser categorizado em 5 graus, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do resultado do teste de adesão

Grau 1	Nenhuma remoção de tinta
Grau 2	Pequena remoção de tinta (< 10%)
Grau 3	Remoção moderada de tinta (10 - 30%)
Grau 4	Remoção severa de tinta (30 - 60%)
Grau 5	Remoção quase completa da tinta (> 60%)

Fonte: FINAT, 2014

Entretanto, a All4Labels legitima como aprovado apenas os testes de adesão que se enquadram no Grau 1, isto é, não apresentam nenhuma remoção. Portanto, neste estudo, será utilizado esse mesmo critério. Na Figura 12 destacam-se as regiões das amostras nas quais foram realizados os testes.

Figura 12 - Destaque das regiões ensaiadas com a fita TESA 4104



Fonte: Autoria própria.

As regiões foram escolhidas considerando a impressão monocamada de tinta (contorno vermelho), a região com sobreimpressão com calço de tinta branca sob as faixas coloridas (contorno azul) e por fim, a região que reproduz a impressão de imagens, contando com calço de branco e sobreimpressão de policromia (contorno amarelo). Para todas as regiões foram ensaiadas as conFigurações com verniz brilho (à esquerda) e verniz fosco (à direita).

3.3.4 Resistência ao risco de superfícies impressas

O teste de *Rubbing off* (do inglês fricção), também conhecido como *Rub Test*, permite avaliar a resistência dos filmes impressos quando submetidos a esforços cisalhantes superficiais. O método é empregado para tentar simular os danos causados aos rótulos durante o transporte, em que um frasco é atritado contra o outro.

Os testes foram realizados seguindo a metodologia descrita pela norma FINAT FTM 27. Para tal, fez-se uso da máquina de ensaio mecânico Regmed RAS-21. As amostras cortadas são dispostas na máquina de ensaio de modo que as faces impressas do material fiquem em contato. O corte foi feito para as áreas de impressão com policromia com e sem calço de branco, conforme destacado a Figura 13.

Figura 13 - Destaque das regiões da amostra ensaiadas no *rub test*: em preto (sem calço) e em vermelho (com calço de branco)



Fonte: Autoria própria

Dessa forma, as amostras são submetidas a 25 ciclos de oscilação, a uma frequência de oscilação de 100 RPM. Ao final do teste são avaliados os dados causados pelo cisalhamento na superfície do material, e classificados de acordo com a severidade do dano (Tabela 4)

Tabela 4 - Classificação do resultado do teste de fricção (*rub test*)

Nível 1	Aranhões superficiais leves (< 5%) sem remoção de tinta
Nível 2	Remoção da tinta superficial (< 10%) substrato visível
Nível 3	Remoção da tinta superficial (10 - 30%) substrato visível
Nível 4	Remoção da tinta superficial (30 - 60%) substrato visível
Nível 5	Remoção da tinta superficial (> 60%) substrato visível

Fonte: FINAT, 2014

3.3.1 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo

Visando avaliar a efetividade do tratamento corona na superfície do PP, foi utilizado o método de molhabilidade de filmes, conforme é descrito pela norma ASTM D2578. Segundo a norma, a medição da tensão superficial ocorre através do molhamento da superfície do filme com uma solução de formamida (CH_3NO) e etileno glicol monoetil éter ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$). A solução é produzida utilizando quantidades volumétricas pré-definidas de cada um dos compostos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Percentual de reagentes para obtenção do fluido tensoativo

Tensão superficial (dinas/cm)	Formamida (%v/v)	Etileno glicol monoetil éter (%v/v)
38,0	54,0	46,0
40,0	63,5	36,5
42,0	71,5	28,5
44,0	78,0	22,0

Fonte: FINAT, 2014

O valor de tensão superficial é obtido através da verificação do espalhamento da solução sobre o filme, de modo que, caso ocorra um bom alastramento, significa que a energia

superficial do filme está igual ou maior do que o líquido. Caso o líquido apresente uma camada heterogênea com a formação de gotas, significa que a superfície possui uma energia superficial menor do que a tensão superficial do líquido.

Para este estudo, foi realizado o teste em duplicata utilizando canetas com líquido tensoativo da marca Corona Brasil com ponta de algodão, as quais possuem tensões superficiais que variam de 38 a 44 dinas/cm. A aplicação do líquido foi feita através de uma linha contínua de no mínimo 7cm de comprimento. Por fim, a tensão superficial foi definida avaliando para qual líquido tensoativo a faixa de tinta manteve-se íntegra após 2s da aplicação.

As medições foram efetuadas no material retirado da bobina pouco antes do início do processo de tratamento superficial, bem como, nas amostras que passaram pelo processo de impressão. Desse modo, foi possível comparar a efetividade do tratamento para cada velocidade.

3.3.2 Espectroscopia Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises de FTIR foram realizadas no Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC – Blumenau. Utilizando um espectrômetro PerkinElmer modelo Frontier, foram obtidos espectros considerando a faixa de varredura de 4000 a 450 cm⁻¹. Cada espectro foi definido a partir de 16 varreduras, sob uma resolução de 4cm⁻¹. Neste caso, foi ensaiada uma amostra do material com *top coating* e cinco amostras com tratamento corona, sendo uma delas retirada da bobina e as demais após o tratamento em linha de acordo com as velocidades de impressão. Portanto, o objetivo fundamental dessa análise é identificar os grupos funcionais presentes nas amostras, bem como, avaliar se há um efeito da velocidade na modificação da superfície do material.

3.3.3 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio do ângulo de contato

As amostras que obtiveram melhor resultado nos testes qualitativos de resistência ao risco e adesão da tinta ao substrato, foram submetidas ao teste de molhabilidade via determinação do ângulo de contato. O teste foi realizado na Central de Análises do departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA) na UFSC - Florianópolis. Para tais análises, foi empregado o equipamento modelo ramé-Hart 250. Foram testadas 5 amostras, dentre as quais constavam tanto o material *top coating* quanto o material que sofreu o tratamento corona em linha. A partir do resultado do teste, busca-se entender o impacto da velocidade de impressão sobre a molhabilidade do material, bem como comparar os valores de ângulo de contato obtidos para os diferentes materiais ensaiados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1 Adesão de tinta ao substrato polimérico

O teste qualitativo de adesão, gerou resultados satisfatórios, apresentando graus de remoção esperados para cada um dos casos testados. A Tabela 6 apresenta a classificação do grau de remoção de cada amostra testada.

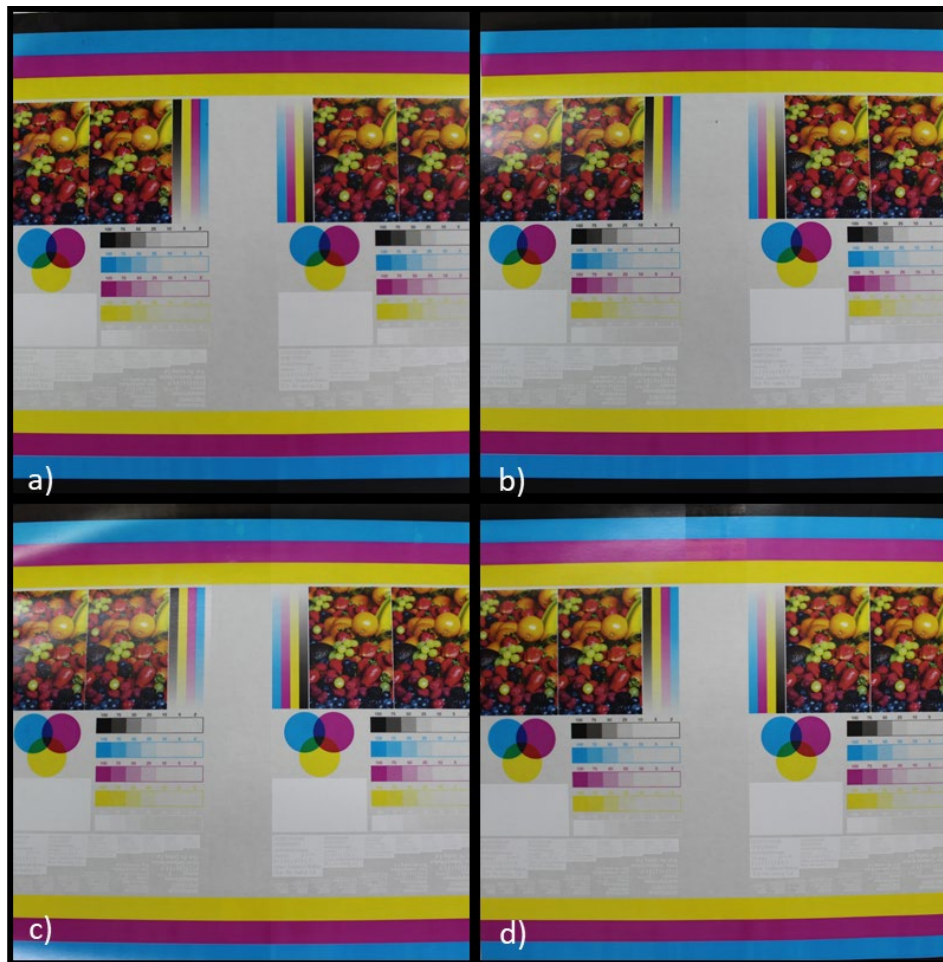
Tabela 6 – Classificação do resultado do teste de adesão

Amostra	Grau de remoção	
	Verniz brilho	Verniz fosco
1	Grau 1	Grau 1
2	Grau 1	Grau 1
3	Grau 1	Grau 2
4	Grau 1	Grau 2
5	Grau 1	Grau 1
6	Grau 1	Grau 1
7	Grau 1	Grau 2
8	Grau 1	Grau 2

Fonte: Autoria própria

Todas as amostras impressas sobre o material A (1, 2, 3 e 4) foram aprovadas no teste de adesão, de modo que nem a velocidade, ou o tipo de acabamento, verniz fosco ou brilho, interferiu no resultado. (Figura 14) A velocidade não influenciou no tratamento superficial, uma vez que o tratamento químico já é feito pelo fornecedor da matéria prima. Assim, o único ponto crítico que poderia ter causado remoção de tinta sobre o substrato seria em relação à cura incompleta da tinta UV. Entretanto, como mencionado, não houve nenhuma remoção, o que indica que a secagem das tintas foi eficaz para todas as velocidades de impressão.

Figura 14 - Resultado ensaio de adesão para as amostras: 1(a); 2(b); 3(c); e 4(d)



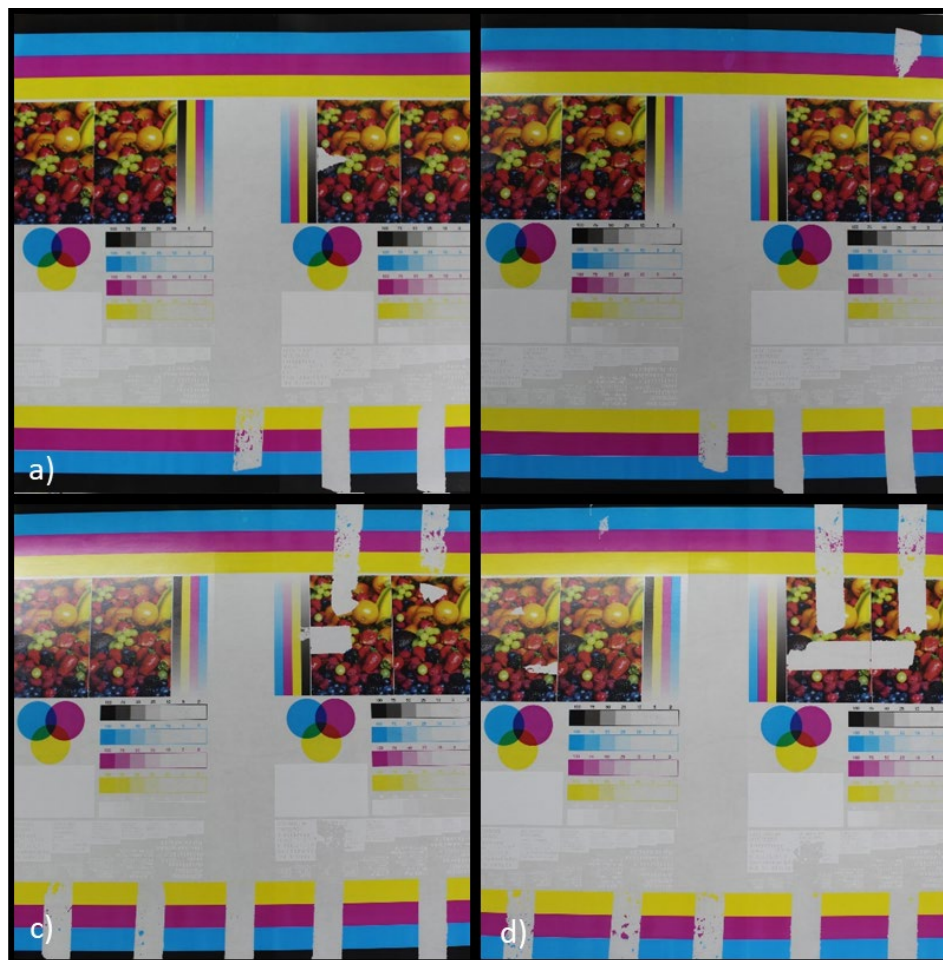
Fonte: Autoria própria

Analisando as amostras apenas com tratamento corona em linha (5,6,7 e 8) nota-se que os resultados são bastante particulares, pois além da velocidade, e do tipo de verniz, a quantidade de camadas de tinta (sobreimpressão) influenciou no resultado obtido (Figura 15). Iniciando a avaliação pelas regiões com verniz brilho, nota-se que para as velocidades menores, 60 e 80m/min, o resultado pode ser classificado como grau 1 na qual não houve nenhuma remoção de tinta. Todavia, com o acréscimo das velocidades, ocorre a remoção na região com calço branco (a partir de 100m/min) e a remoção da região com impressão monocamada na velocidade de 120m/min.

Ainda falando do material B, mas avaliando o resultado das regiões com verniz brilho, fica claro na Figura 15, que para todas as velocidades a região com calço branco foi reprovada no teste de adesão denotando remoção completa. Já a região com monocamada de tinta aprovou parcialmente nas velocidades de 60 e 80m/min, porém reprovou nas velocidades superiores.

Os resultados negativos podem estar associados tanto à efetividade do tratamento corona em linha, conforme há o aumento da velocidade de impressão, quanto à dificuldade na cura da tinta, devido ao menor tempo exposto à radiação UV. Além disso, como visto, o acabamento influenciou na remoção, muito provavelmente devido à diferente natureza do verniz fosco que possui maior rugosidade superficial, gerando uma maior área de adesão com a fita, o que potencializa o efeito do teste.

Figura 15 - Resultado ensaio de adesão para as amostras: 5(a); 6 (b); 7 (c); e 8 (d)



Fonte: Autoria própria

4.1.2 Resistência ao risco de superfícies impressas

Assim como no teste de adesão de tinta ao substrato, os resultados das amostras com diferentes vernizes foram distintos. De modo geral, independente do material, e da região ensaiada, com ou sem calço de tinta branca, as amostras com verniz brilho foram aprovadas, sendo classificadas como Nível 1. Entretanto, as amostras produzidas nas maiores velocidades

de impressão (100 e 120 m/min), com verniz fosco, apresentaram riscos e arranhões, caracterizando a remoção do verniz (Figura 16). Por ter ocorrido apenas a remoção da camada protetiva durante o teste, o resultado negativo para as velocidades citadas acima, foram visíveis em todas as amostras, independente da camada de tinta branca sob as faixas de policromia.

Figura 16 - Resultado do teste de abrasão (*rub test*) na amostra 4 (a) e amostra 7 (b)



Fonte: Autoria própria

Uma possível causa para o ocorrido está associada à natureza do verniz fosco, que diferentemente do verniz brilho, não possui silicone em sua composição. Dessa forma, a intensidade da força abrasiva é potencializada, pois a superfície com verniz fosco tende a ser mais áspera e mais relutante ao deslizamento das superfícies impressas. Além disso, outro fator que pode justificar a reprovação das amostras nas mais altas velocidades é a cura incompleta da camada de verniz, pois o tempo de exposição a radiação pode ter sido insuficiente para que o verniz adquirisse suas propriedades finais. Assim, as amostras foram classificadas como Nível 2, uma vez que a remoção da camada protetiva foi bastante intensa, impactando visivelmente na integridade do rótulo.

4.1.3 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo

A análise de determinação superficial por líquido tensoativo é uma técnica rápida desenvolvida para avaliar a tensão superficial em filmes que receberam tratamento corona, dessa forma, apenas as amostras 5, 6, 7 e 8 foram submetidas ao teste.

Por se tratar de um teste que utiliza líquidos tensoativos de valores pré-determinados, os resultados dos testes foram bastante próximos, conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de tensão superficial obtidos no teste por fluido tensoativo

Amostra	5	6	7	8
Tensão superficial (dyn/cm)	42	40*	40*	40*

* valor aproximado de tensão superficial

Fonte: Autoria própria

Ao realizar o teste nas amostras 6,7 e 8, com as canetas com tensão de 40 e 42 dynas, as faixas de ambas as tintas apresentaram um comportamento similar, mantendo-se íntegra durante pouco menos de 2 segundos de análise, colapsando-se em seguida. Por ter gerado um comportamento muito próximo para as duas tensões, é possível que os materiais das amostras 6, 7 e 8 possuam uma tensão intermediária de aproximadamente 41 dyn/cm. Dessa forma, a determinação da tensão superficial por esse método para as amostras 6, 7 e 8 foi definida de acordo com a tinta de menor tensão (40 dyn/cm), isto porque, a amostra 5 apresentou uma indubitável tensão de 42dyn.

Esta diferença de tensão terá um resultado mais conclusivo ao analisar a técnica de determinação da tensão superficial dos filmes por meio do ângulo de contato.

Além disso, salienta-se que não foi possível registrar o teste em fotos, pois o tempo de captura da imagem foi maior do que o tempo da análise. Dessa forma, ao ser realizado o registro do teste com a câmera, a faixa de tinta aplicada sobre o filme já estava diferente do observado, gerando fotos que não representavam o real resultado do teste.

4.1.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Foram submetidas à análise de espectroscopia de infravermelho as amostras 5,6,7 e 8, para avaliar a modificação superficial causada pelo tratamento corona, bem como uma amostra de referência do material B retirada da bobina antes do tratamento. Além disso, também foi ensaiada uma amostra do material A, com *top coating*, para tentar conceber a natureza do tratamento químico.

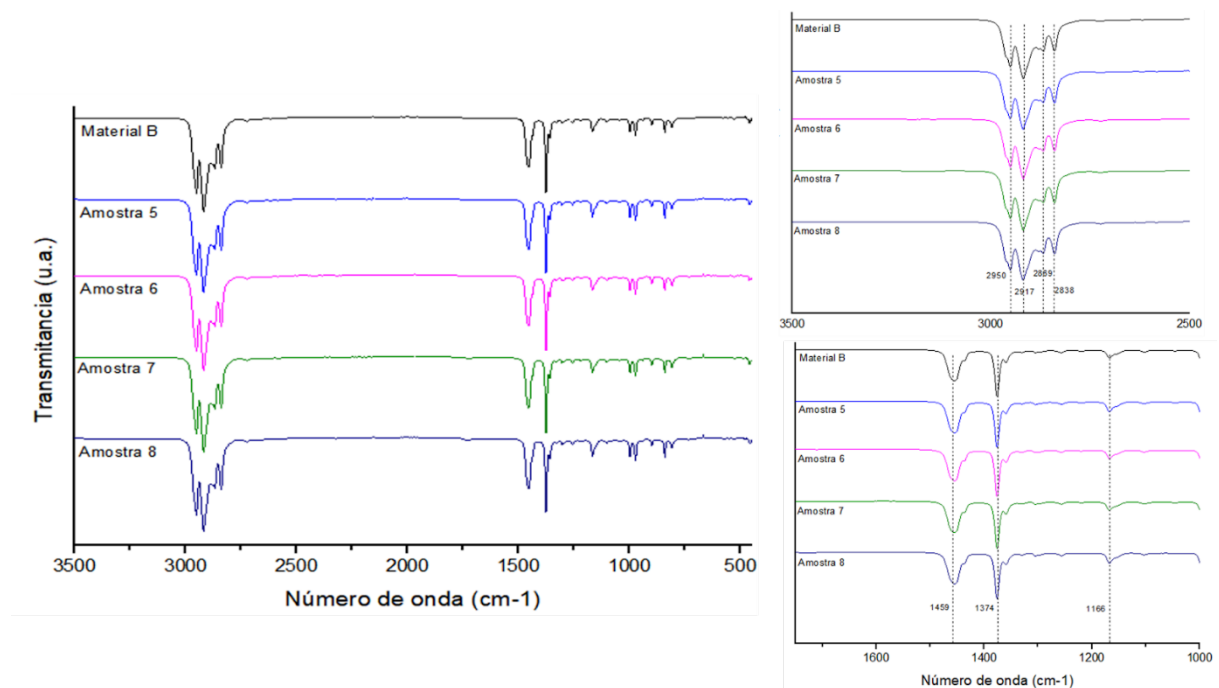
Iniciando a análise dos espectros de infravermelho dos materiais com tratamento corona (Figura 17), nota-se que as bandas obtidas para as 4 amostras coincidiram independente da velocidade de impressão. Todos os espectros apresentaram as bandas características do polipropileno, como as bandas correspondentes à vibração axial da ligação C-H na faixa de

3000 a 2700 cm^{-1} . Ademais, as vibrações simétricas e assimétricas do grupo funcional metil (CH_3) podem ser vistas na região de 1340 a 1480 cm^{-1} . (LOUZI; CAMPOS, 2019).

Na faixa de 1000 a 1260 cm^{-1} fica aparente também uma pequena banda que sugere a formação de uma ligação C-O (LOUZI; CAMPOS, 2019). Portanto, avaliando as bandas encontradas no espectro do material, nota-se que além das ligações características que formam a molécula de polipropileno, há também uma pequena inserção de oxigênio na superfície do material. Esta inserção deve-se ao caráter oxidativo do tratamento corona, mostrando que de fato houve, embora pequena, uma modificação superficial.

Um ponto importante a ser mencionado, é que a amostra de referência ensaiada, também sofreu tratamento corona, porém não em linha, mas sim no processo do fornecedor após a extrusão do filme. Desse modo, a banda da ligação C-O também é visível na amostra de referência.

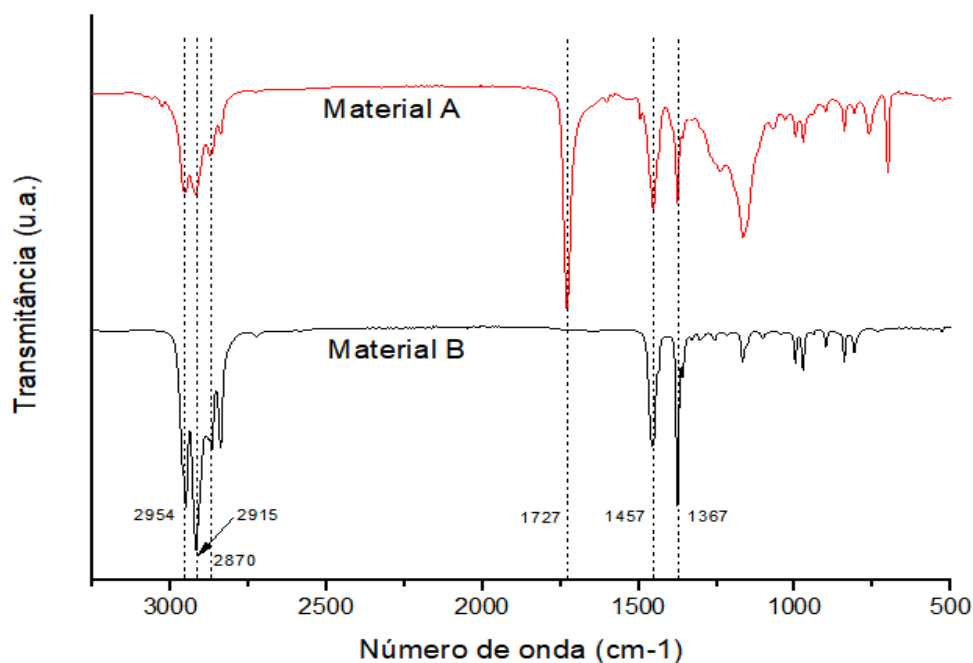
Figura 17 - Espectro infravermelho para o material B relacionando as amostras 5, 6, 7 e 8: a) Espectro completo b) região aproximada das bandas de 3000 a 2500 cm^{-1} , c) região aproximada das bandas de 1500 a 1300 cm^{-1} e de 1260 a 1000 cm^{-1}



Fonte: Autoria própria

Além da análise comparativa entre as amostras com tratamento corona, também foi comparado o espectro da amostra de referência do material A e a do material B (Figura 18).

Figura 18 - Espectro infravermelho comparativo entre os materiais A e B



Fonte: Autoria própria

Em ambos os espectros, as bandas de C-H estão presentes, validando que o material do filme analisado é mesmo polipropileno. Entretanto, o material que possui o tratamento químico superficial, também apresentou uma banda bastante intensa em 1727 cm^{-1} , caracterizando a presença da ligação C=O (SELLIN; CAMPOS, 2003). A faixa de $1000\text{ a }1260\text{ cm}^{-1}$ também indica a presença de ligação C-O assim como visto nos materiais com tratamento corona, porém a banda é muito mais intensa no material A.

Desse modo, mesmo sem a informação da composição e do método de tratamento químico utilizado pelo fornecedor do material A, é possível ver que o tratamento gerou uma modificação bem mais efetiva do que o tratamento corona.

4.1.5 Determinação da tensão superficial dos filmes por meio do ângulo de contato

A Tabela 8 apresenta o resultado do ângulo de contato obtido utilizando o método de gota pendente para água destilada, diiodometano e formamida para as amostras 5, 6, 7, 8 e para o material A.

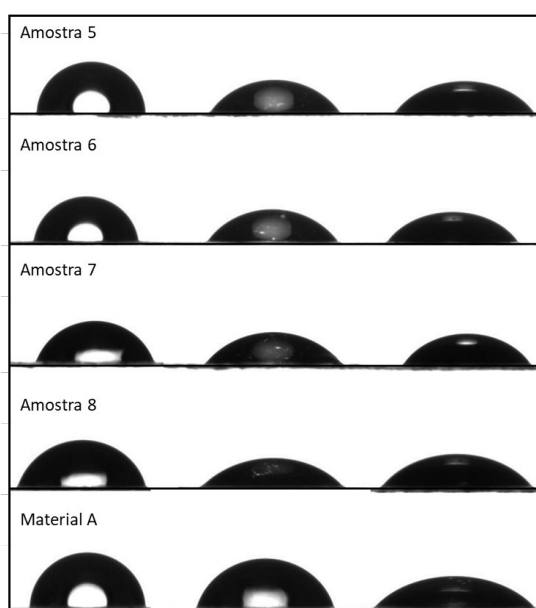
Tabela 8 – Resultado do ângulo de contato em graus para as amostras 5-8 e Material A

Líquido	Amostras				Material A
	5	6	7	8	
Diodometano	52.92 ± 0.01	53.90 ± 0.01	55.92 ± 0.01	50.53 ± 0.02	48.02 ± 0.01
Formamida	55.53 ± 0.06	54.79 ± 0.05	51.30 ± 0.05	46.02 ± 0.04	74.35 ± 0.04
Água	88.04 ± 0.03	81.96 ± 0.02	70.17 ± 0.03	73.69 ± 0.03	87.98 ± 0.02

Fonte: Autoria própria

A partir dos resultados de ângulo de contato obtidos utilizando a água destilada, nota-se que as amostras com menor ângulo de contato foram as amostras 7 e 8 (Figura 19) Este resultado afirma que as amostras que passaram pelo tratamento por descarga corona em linha nas maiores velocidades (100 e 120/min) apresentam maior molhabilidade. Ainda analisando os resultados da Tabela 1, a amostra 5 produzida em menor velocidade, isto é, que ficou mais tempo no tratamento, apresentou o pior resultado de ângulo de contato dentre todas as amostras que passaram pela descarga corona.

Figura 19 – Imagens do ensaio de gota pendente aplicado às amostras 5-8 e Material A, para água destilada (à esquerda), formamida (ao centro) e diiodometano (à direita)



Fonte: Autoria própria

Algumas hipóteses podem ser levantadas para justificar o resultado contraintuitivo encontrado neste ensaio. Segundo Cáceres *et al.* (2012), o excesso de tratamento pode causar uma redução na molhabilidade, isto porque ao incitar eletricamente o material de forma exagerada, pode-se gerar um processo de migração e volatilização de compostos oxidados de baixa massa molar presentes na superfície do filme. Assim, ao invés de o tratamento contribuir com a aumento da oxidação superficial, geraria uma redução nestes grupos, provocando uma diminuição na energia superficial e, conseqüentemente, um aumento do ângulo de contato. O fato do material B já vir tratado pelo fornecedor faz com que esta hipótese seja ainda mais cabível, pois os melhores resultados de tensão superficial estariam atrelados aos materiais que sofreram um menor tempo de tratamento adicional em linha.

Todavia, a hipótese acima não explica o resultado de ângulo de contato obtido para o material A. Como visto pela análise de infravermelho, o material A com recobrimento químico superficial apresenta ligações C=O e C-O. Sendo assim, a superfície deste material tende a apresentar uma maior componente polar, se comparada às demais amostras ensaiadas – fato que não ocorre, como é possível verificar na Tabela 9. Tal resultado pode estar associado a alguns fatores como contaminação da superfície da amostra ensaiada ou a não uniformidade do tratamento realizado pelo fornecedor.

Tabela 9 - Resultado do ângulo de contato em graus

	Amostras				
	5	6	7	8	Material A
Componente polar (mN/m)	2.95 ± 2.08	5.87 ± 2.01	13.99 ± 1.35	9.84 ± 2.84	3.08 ± 2.54
Componente dispersiva (mN/m)	31.33 ± 6.63	28.01 ± 4.31	22.74 ± 1.68	28.18 ± 4.71	26.94 ± 7.36
Energia de superfície (mN/m)	34.28 ± 6.95	33.88 ± 4.76	36.73 ± 2.16	38.03 ± 5.50	30.02 ± 7.78

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 9 também se encontram os valores de energia superficial de todas as amostras ensaiadas. Esse valor é calculado levando em consideração a soma das componentes polar e dispersiva. Entretanto, para chegar ao valor das componentes no material ensaiados, é necessário utilizar como referência as tensões dos líquidos empregados no ensaio, neste caso, água e formamida. Dessa forma, de posse dos valores Tabelados da tensão superficial dos líquidos e do ângulo de contato formado, é possível calcular, com auxílio da equação de Owens-Wendt, as componentes da superfície do material (ZOLEK-TRYZNOWSKA, *et al.*, 2020).

Associado ao valor de energia superficial, há um erro que engloba os erros experimentais e erros propagados pelo cálculo realizado. Ao analisar o valor do erro, é possível supor que a energia superficial de todas as amostras é bastante similar, pois devido à magnitude do erro associado, pode existir um caso em que o material com a menor energia de superfície se iguale ao material com a maior.

5. CONCLUSÃO

Os resultados dos testes de adesão de tinta ao substrato polimérico destacaram a diferença existente entre os materiais A e B. No que tange ao material A, ficou claro que, em razão do tratamento químico realizado pelo fornecedor, esse acabou demonstrando uma maior adesão com a tinta, mesmo quando submetido a velocidades mais elevadas. Já no tocante ao material B, tratado apenas por descarga corona, tem-se que os resultados sofreram grande influência da velocidade.

Cumprir mencionar que a influência da velocidade não impacta apenas o tratamento corona diretamente, mas também na cura da tinta por radiação UV. De fato, a remoção da tinta ocorre quando há combinação entre a cura incompleta da tinta com a superfície pouco oxidada. É possível que uma das variáveis sozinha não seja decisiva para remoção, como por exemplo a cura incompleta da tinta para o material A, porém a soma dos dois fatores gera uma perda de adesão bastante prejudicial para o processo de impressão.

Em relação à resistência ao risco de superfícies impressas, por se tratar de um esforço cisalhante superficial, o resultado variou mais de acordo com a efetividade do verniz do que com a tensão superficial do material. Como visto, apenas as amostras do verniz fosco nas velocidades mais altas foram reprovadas, corroborando a conjectura de que a natureza do verniz, por não apresentar silicone na sua composição, em conjunto com a cura incompleta ocasionada pela velocidade do processo, geram uma camada protetiva com maior rugosidade, tornando-a mais suscetível ao riscamento e remoção.

A análise de determinação da tensão superficial dos filmes por meio de líquido tensoativo teve seu resultado ratificado quando avaliados os resultados obtidos pela espectroscopia no infravermelho. Nesse sentido, tem-se que as amostras com tratamento por descarga corona apresentaram na sua superfície as mesmas bandas com intensidade muito próximas, o que explica em partes porque as tensões superficiais foram tão próximas entre as amostras. No caso do material A, ficou claro que o tratamento químico modifica de forma mais significativa a superfície do filme de PP através da inserção de oxigênio, justificando o porquê da adesão da tinta a este substrato ser mais intensa.

Por fim, considerando os resultados obtidos nos testes anteriores, era esperado que o resultado do ângulo de contato fosse diferente daquele encontrado. Todavia, conforme discutido, alguns fatores externos, como contaminação, heterogeneidade do tratamento e excesso de tensão aplicada ao material, podem ter gerado resultados não esperados no filme. Esse resultado faz com que haja um questionamento em relação à necessidade do uso do

tratamento adicional por descarga corona em linha antes da impressão. Isso porque, a partir do que foi observado, o tratamento adicional do material pode ser mais prejudicial do que benéfico. Assim, uma das alternativas para evitar a piora do material é avaliar a sua tensão antes da impressão para que seja definida a necessidade ou não de um tratamento adicional.

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada e, principalmente, com os resultados obtidos nos ensaios, pode-se concluir que o estudo da influência do tratamento superficial em filmes de PP aplicados à impressão flexográfica possui outras variáveis, não levantadas nas hipóteses preliminares deste trabalho. Para tanto, identificou-se a necessidade de compreender a interação da velocidade de impressão com a cura da tinta UV, e ainda, analisar a necessidade ou não de tratamento adicional do material para os resultados da impressão. Portanto, considerando o cenário deste estudo, a Amostras 2, a qual utiliza o material com tratamento *top coating* (material A) e impressão a 80m/min, é a amostra mais indicada para o processo de flexografia. Isto porque ela combina os melhores resultados de resistência à abrasão e adesão da tinta, provendo ainda um ganho de produtividade devido a sua velocidade de impressão.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Realizar estudo para determinar o impacto do tratamento adicional por descarga corona em filmes de polipropileno com diferentes tensões superficiais, para entender quando este processo é vantajoso
- b) Realizar a caracterização do filme *top coating* para compreender melhor a composição da camada superficial
- c) Testar a influência da velocidade na cura da tinta UV, para definir um ponto ótimo de operação
- d) Expandir o estudo para filmes de PP branco, PP metalizado e polietileno (PE)

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. **Indústria brasileira de embalagens plásticas flexíveis fecha 2020 com alta no faturamento, na produção e no consumo per capita**, de 26 de março de 2021. Disponível em: <https://www.abre.org.br/inovacao/industria-brasileira-de-embalagens-plasticas-flexiveis-fecha-2020-com-alta-no-faturamento-na-producao-e-no-consumo-per-capita/>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. **Mercado mundial de embalagens atingirá US\$ 1 trilhão em 2024** de 22 de fevereiro de 2021. Disponível em: <https://www.abre.org.br/inovacao/mercado-mundial-de-embalagens-atingira-us-1-trilhao-em-2024/>. Acesso em 22 de fevereiro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA GRÁFICA - ABTG. **Manual de Impressão Flexográfica**. São Paulo, 2008

BAUMGARTEN GRÁFICA. **Guia de Referência em Rotulagem**. Santa Catarina: Bloco de Comunicação LTDA, 2010

CÁCERES, C. A.; MAZZOLA, N.; FRANÇA, M.; CANEVAROLO S. V. Controlling in-line the energy level applied during the corona treatment. **Polymer Testing**, v. 31, 2012, 505–511

CALHOUN, A. Polypropylene. *In*: WAGNER, J. R. **Multilayer Flexible Packaging**. 2 ed. William Andrew Publishing, 2016, p. 35-45.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

DE SÁ, R. C. **INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: um estudo de caso na indústria de rótulos autoadesivos**. Dissertação de Mestrado Gestão para a Competitividade, FGV, 2018.

EMBLEM, A. Packaging and society. *In*: EMBLEM, A.; EMBLEM, H. **Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes**. Sawston: Woodhead Publishing, 2012. p 3-9.

ENERCON. **Corona Treatment: An Overview.** Disponível em: <<https://www.enerconind.com/web-treating/corona-treatment/library/tech-papers-articles/corona-treatment-an-overview.aspx>>. Acesso em 11 de janeiro de 2022.

FERREIRA, R. L. R. **Estudo da influência da razão de sopro na estrutura e propriedades de filmes de polietilenos produzidos pelo processo de extrusão tubular.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, 2012.

FINAT. **FINAT TECHNICAL HANDBOOK: Test methods.** 9 ed. FINAT, Haia, Holanda, 2014.98p.

HARPER, C. A. **Handbook of Plastics, Elastomers & Composites,** 4 ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2004, p. 6, 52-54.

INSTITUTO DE EMBALAGENS. **Embalagem melhor, mundo melhor.** 1. ed. Barueri, São Paulo, 2017.

IZDEBSKA, J. **Flexographic Printing.** In: Izdebska, J. ; Thomas, S. **Printing on Polymers: Fundamentals and Applications.** William Andrew, 2016.p.179 -197.

JOHN, M. J.; ANANDJIWALA, R, D. Surface modification and preparation techniques for textile materials. **Surface Modification of Textiles.** 2009, p. 1-25.

KARIAN, H. G. **Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites.** 2 ed. CRC Press, 2003, p. 10-28.

LOUZI, V. C.; CAMPOS, J. S. C. Corona treatment applied to synthetic polymeric monofilaments (PP, PET, and PA-6). **Surfaces and Interfaces,** v. 14, 2019, p. 98-107.

LYYTIKÄINEN, J., OVASKA S. S.; SOBOLEVA, E.; RINKUNAS, R.; LOZOVSKI, T.; MALDZIUS, R.; SIDARAVICIUS, J.; JOHANSSON, L. S.; BACKFOLK, K. Optimizing electric corona treatment for hydroxypropylated starch-based coatings. **Carbohydrate Polymers.** v. 197, 2018 p. 359-365.

MA, Z.; MAO, Z.; GAO, C. Surface modification and property analysis of biomedical polymers used for tissue engineering. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, 2007, p. 137-157.

MALPASS, D. B.; BAND, E. **Introduction to Industrial Polypropylene: Properties, Catalysts Processes**. Wiley, 2012, p. 1-18.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos**. 2 ed. São Paulo: Artliber, 2013. 485 p.

MAZZOLA, L.; BEMPORAD, E.; CARASSITI, F. Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces. **Applied Surface Science**, v. 257, 2011, p. 2148-2158.

MORTON, J.; SHIMMIN, R. **Conventional Labels Printing Processes: letterpress, lithography, flexography, screen, gravure and combination printing**. Londres: Tarsus Exhibitions & Publishing Ltd, 2014.p.83

MUMBY, R. Printing for packaging. *In*: EMBLEM, A.; EMBLEM, H. **Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes**. Sawston: Woodhead Publishing, 2012. p 441-488.

PEKAROVICOVA, A. ; HUSOVSKA, V. **Printing Ink Formulations**. *In*: Izdebska, J. ; Thomas, S. **Printing on Polymers: Fundamentals and Applications**. William Andrew, 2016.p.41-55.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L., OLIVEIRA, L. M., PADULA, M., COLTRO, L., ALVES, R. M. V., GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2017.

SCARPETA, E. **Flexografia: Manual Prático**. São Paulo: Bloco Comunicação Ltda, 2007.

SELLIN, N.; CAMPOS, J.S. C. Surface composition analysis of PP films treated by corona discharge. **Materials Research**, v. 6, 2003, p. 163-166

SELKE, S. M.; CULTER, J. D. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations** . 3 ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2016. p.419

SHREYA, P. **Surface Modification of Polypropylene Nonwovens to Improve Adhesion to Elastomers**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Carolina do Norte, 2009.

WHITE, A. R. A. Labels for packaging. *In*: EMBLEM, A.; EMBLEM, H. **Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes**. Sawston: Woodhead Publishing, 2012. p 395-407.

ZOLEK-TRYZNOWSKA, Z.; PRICA, M.; PAVLOVIC, Z.; CVETICANIN, L.; ANNUSIK, T. The influence of aging on surface free energy of corona treated packaging films. **Polymer Testing**, v. 89, 2020, 106629