

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL

EDIVALDO DALLEPIANE

**TRANSFERÊNCIA DE METALIZAÇÃO NO POLÍMERO ACRILONITRILA
BUTADIENO ESTIRENO (ABS) NO PROCESSO DE INJEÇÃO UTILIZANDO A
TECNOLOGIA DE *IN MOLD LABEL***

Farroupilha,
2018.

EDIVALDO DALLEPIANE

**TRANSFERÊNCIA DE METALIZAÇÃO NO POLÍMERO ACRILONITRILA
BUTADIENO ESTIRENO (ABS) NO PROCESSO DE INJEÇÃO UTILIZANDO A
TECNOLOGIA DE *IN MOLD LABEL***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, para a obtenção do grau de Mestre Profissional em tecnologia e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais.

Linha de Pesquisa: Transferência de metalização no polímero ABS.

Orientador: Dr. Edson Luiz Francisquetti

FARROUPILHA,

2018.

Ficha Catalográfica.

DALLEPIANE, Edivaldo.

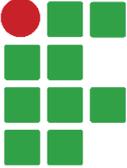
Transferência de metalização no polímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS) no processo de injeção utilizando a tecnologia *de in mold label* / Edivaldo Dallepiane; orientadores: Dr. Edson Luiz Francisquetti, Farroupilha: IFRS, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais, 2016 / 2018.

81 páginas, 30 cm

Trabalho de conclusão de curso do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

Inclui referências bibliográficas.

1. Polímero, metalização. 2. *In Mold Label / Hot Stamping*. 3. Transferência. 4. Aderência. 5. Superfície. II. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. III. Transferência de metalização no polímero de acrilonitrila butadieno estireno (ABS) no processo de injeção utilizando a tecnologia *de in mold label*.

	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul.	
	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais.	

Dissertação intitulada Transferência de metalização no polímero acrilonitrila butadieno estireno ABS no processo de injeção utilizando a tecnologia de *in mold label*, de autoria de Edivaldo Dallepiane, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof. Dr. – Edson Luiz Francisquetti
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Douglas Alexandre Simon
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Luiz Gustavo de Moura da Silva Barbosa
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. José Lesina Cezar
 Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

Prof. Dr. André Zimmer
 Coordenador (a) do PPG-TEM

Data de aprovação: 24, de julho de 2018

DEDICATÓRIA

A minha noiva Cristiane, e a minha família pelo incentivo, compreensão, carinho, e por despertar em mim o desejo de ser uma pessoa vencedora e cada vez melhor.

E a Deus que permitiu que mais esse desejo se tornasse realidade, abençoando e iluminando meus passos, no despertar de cada dia.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente.

Ao professor Dr. Edson Luiz Francisquetti pela orientação, cobrança e incentivo, pelos ensinamentos e pelo acompanhamento indispensável na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Douglas Alexandre Simon, Dr. José Lesina Cezar, Dr. Luiz Gustavo de Moura da Silva Barbosa, membros da banca avaliadora onde contribuíram de forma significativa com opiniões e sugestões que vieram agregar na pesquisa desenvolvida.

A empresa Akeo Industrial LTDA pela oportunidade de realizar a pesquisa, desenvolver o projeto e por disponibilizar o laboratório para realizar os ensaios que foram fundamentais para a conclusão do trabalho.

Ao instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha, por disponibilizar o Laboratório de Tecnologia e Pesquisa para a realização dos ensaios de laboratório.

A todos os amigos, e colegas que contribuíram para realização deste trabalho, através de incentivos, ajuda e apoio nos momentos de dificuldades.

EPIGRAFE

Tudo aquilo que o homem ignora,
não existe para ele.

Por isso, o universo de cada um,
se resume ao tamanho do seu
saber. "Albert Eisten"

RESUMO

O objeto deste estudo é, apresentar uma proposta ou uma metodologia inovadora para substituir o processo de metalização a vácuo, atualmente utilizado pela empresa para metalizar peças injetadas em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), utilizadas como acessórios para a indústria moveleira, com a finalidade de obter um processo produtivo mais rápido, prático, sendo assim com menor custo. Porém sem perdas relevantes na resistência da camada decorativa do produto final. As peças moldadas por injeção podem receber aspecto decorativo metálico, através do processo de *hot stamping*, metalização à vácuo ou simultaneamente ao serem injetadas, através da tecnologia proporcionada pelo processo de *in mold label*. A associação do processo de *in mold label* com *hot stamping*, é a alternativa proposta para este estudo, unindo características de ambos os processos para se obter um método de processamento otimizado para esta aplicação, fato cada vez mais comum no cenário industrial, devido a concorrência do mercado que pressiona a indústria em busca de práticas de processamento cada vez mais eficientes e lucrativas. Para validação deste novo método de metalização, foram injetados corpos de prova e posteriormente metalizados à vácuo, e corpos de prova já metalizados pelo método proposto, os mesmos foram submetidos a ensaios de resistência para posterior avaliação e comparação dos resultados. Os ensaios ocorreram através de espectrofotometria com finalidade de comparar a tonalidade da camada metálica dos dois métodos decorativos, ensaios de exposição a agentes químicos, onde os corpos de prova foram imersos por 24 horas em água sanitária e agentes de limpeza da marca veja e ajax, ensaios de aderência com cortes em grade e em X, adaptados de acordo com a norma ABNT NBR 11003:2009 após imersão em álcool e detergente neutro por 24 horas, intemperismo acelerado (*salt spray*) conforme a norma ABNT NBR 8094:1983, e resistência ao envelhecimento UV, seguindo a norma ASTM G 154. Os ensaios comprovaram que o processo de metalização com a tecnologia proposta (*in mold label*), pode ser utilizado para substituir o processo de metalização a vácuo, não apresentando perdas com relação a aderência e sim melhor desempenho, com relação a tonalidade foi detectado através da medição uma pequena diferença mas nada capaz de inviabilizar a substituição do método decorativo, na exposição a agentes químicos não ocorreu diferença na tonalidade da camada metálica em ambos os processos após a exposição, a espessura da camada metálica ficou comprovado mediante testes que o processo *in mold label* apresenta uma camada de menor espessura, mas porém, sem perdas significativas nas avaliações realizadas em situações adversas de utilização, quando os corpos de prova ficaram expostos ao intemperismo acelerado (*salt spray*) e envelhecimento UV.

Palavras-chave: Injeção; Metalização; Transferência; *in mold*.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present a proposal or an innovative methodology to replace the vacuum metallization process, currently used by the company to metallize parts injected into acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), used as accessories for the furniture industry, with the purpose of faster and more cost-effective production process. However, there are no significant losses in the strength of the decorative layer of the final product. The injection molded parts can receive metallic decorative appearance, through the process of hot stamping, vacuum metallization or simultaneously when being injected, through the technology provided by the in mold label process. The association of the in mold label process with hot stamping is the alternative proposed for this study, combining characteristics of both processes to obtain an optimized processing method for this application, a fact increasingly common in the industrial scenario due to competition of the market that pressures the industry in search of increasingly efficient and profitable processing practices. For the validation of this new metallization method, specimens were injected and subsequently metallized under vacuum, and test specimens already metallized by the proposed method were submitted to resistance tests for further evaluation and comparison of the results. The tests were carried out by means of spectrophotometry to compare the metallic layer of the two decorative methods, exposure tests to chemical agents, where the test specimens were immersed for 24 hours in bleach and cleaning agents brand and ajax, adhesion tests with grid and X sections, adapted according to ABNT NBR 11003: 2009 after immersion in alcohol and neutral detergent for 24 hours, salt spray according to ABNT NBR 8094: 1983, and resistance to UV aging, following the ASTM G 154. The tests proved that the metallization process with the proposed technology (in mold label), can be used to replace the process of vacuum metallization, not presenting losses with respect to adhesion and yes better performance, with respect to the tonality was detected through the measurement a small difference but nothing capable of rendering unfeasible the replacement of the decor method active in the exposure to chemical agents there was no difference in the tonality of the metallic layer in both processes after exposure, the thickness of the metallic layer was proved by tests that the process in mold label presents a layer of smaller thickness, but without loss significant in the evaluations carried out in adverse use situations, when the specimens were exposed to accelerated salt spray and UV aging.

Keywords: Injection; Metallization; Transfer; in mold.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Terminal utilizado para metalização, o perfil e o puxador montado aplicado no móvel.....	16
Figura 2 - Fórmula molecular do ABS.	20
Figura 3 - Unidade de injeção e o preenchimento do polímero na cavidade do molde.	22
Figura 4 - Representação de um ciclo de moldagem por injeção.....	25
Figura 5 - Molde de injeção e seus respectivos componentes.	27
Figura 6 - Etapas de um tratamento superficial em um substrato polimérico.	29
Figura 7 - Superfície de um substrato polimérico antes e após um ataque químico.	30
Figura 8 - Metalizadora e os produtos fixados nos dispositivos de fixação (gancheiras).	31
Figura 9 - Revestimento através do processo de <i>hot stamping</i>	33
Figura 10 - Dispositivo e aplicação da metalização utilizando o processo de <i>hot stamping</i>	34
Figura 11 - Processo de aplicação do filme no molde de injeção.....	35
Figura 12 - Mecanismo que posiciona a fita na posição correta de aplicação na cavidade do molde.	36
Figura 13 - Imagem real do comportamento das frentes de fluxo e da camada congelada em um preenchimento com e sem filme na cavidade.	37
Figura 14 - Aplicação e fixação de um material com toque suave na cavidade do molde.....	38
Figura 15 - Espectrofotômetro Lambda 1050 – PerkinElmer.....	40
Figura 16 - Esquema que representa a leitura de cores do sistema CIE LAB.	41
Figura 17 - Equipamento de névoa Salina (salt spray).....	43
Figura 18 - Câmara utilizada para ensaios de envelhecimento (uv).....	44
Figura 19 - Fita <i>heat transfer film IMD</i> metálica.....	45
Figura 20 - Molde de injeção adaptado ao processo de <i>in mold label</i> e seus respectivos componentes.	48
Figura 21 - Dispositivo desenvolvido para a aplicação da fita na cavidade do molde.	49
Figura 22 - Aparelho de medição e chapa metálica padronizada para medição.	50
Figura 23 - Aplicação das chapas metálica sobre os corpos de prova para medir da	

espessura da camada de verniz pré.....	51
Figura 24 – Procedimento utilizado para medir a espessura da camada metálica....	52
Figura 25 - Aplicação das chapas sobre os corpos de prova para a medição da espessura da camada de verniz pós.....	53
Figura 26 - Fita com os pontos de referência a serem medidos e o instrumento de medição.....	54
Figura 27 – Espectrofotômetro utilizado para comparação de cor dos corpos de prova.	55
Figura 28 - Imersão em agentes de limpeza para posterior avaliação.....	56
Figura 29 - Ensaio de imersão ao álcool e detergente neutro.....	56
Figura 30 - Representação do corte em grade e corte em X para testes de aderência.....	57
Figura 31 - Fita adesiva aplicada sobre o corte em grade e corte em x.....	58
Figura 32 - Formato dos cortes para o teste em grade, com ângulo e distância entre eles.....	58
Figura 33 - Equipamento utilizado para o corte em grade e lâminas responsáveis pelo corte.....	59
Figura 34 - Dispositivo utilizado para o método de corte em X.	61
Figura 35 - Equipamento de névoa salina e disposição dos corpos de prova na câmara de ensaio.....	63
Figura 36 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de envelhecimento Ultravioleta.	65
Figura 37 - Corpo de prova na câmara de ensaio UV, e lâmpadas ultravioleta.	65
Figura 38 – Imagem da fita antes e após a injeção do polímero e a peça com a metalização aplicada.....	66
Figura 39 – Imagem da diferença de espessura dos cortes entre os dois processos estudados.....	77
Figura 40 - Padrão de cor obtido para os dois métodos de metalização.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de injeção utilizados para a obtenção dos corpos de prova.	47
Tabela 2 - Grau de aderência ilustrado conforme norma, para o teste de corte em grade.	59
Tabela 3 - Grau de aceitação da aderência conforme norma, para o teste de corte em X.	61
Tabela 4 - Condições do ensaio de névoa salina (salt spray), conforme normas NBR 8094 e ASTM B 117.	63
Tabela 5 - Média e desvio padrão da espessura da camada metálica para os dois processos estudados.....	68
Tabela 6 - Resultado final da espessura para os dois processos estudados.....	68
Tabela 7 - Resultado das leituras obtidas para o processo de metalização a vácuo.	69
Tabela 8 - Resultado das leituras obtidas para o processo de metalização por <i>in mold label</i>	70
Tabela 9 - Resultado da leitura de variação de cor apresentada pelos dois processos estudados.....	70
Tabela 10 - Avaliação da resistência da camada metálica em exposição a agentes químicos.	72
Tabela 11 - Resultado do grau de enferrujamento onde (F0 - Grau Mínimo e F5 - máximo).....	79

Siglas, Termos e Abreviações

a*	-	Eixo de leitura de cor do espectrofotômetro
ASTM	-	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	-	Acrilonitrila Butadieno Estireno
b*	-	Eixo de leitura de cor do espectrofotômetro
°C	-	Graus Celsius
CM ³ /S	-	Centímetros cúbicos por segundo (velocidade)
DH	-	Tonalidade
DC	-	Saturação da cor
DE	-	Distância entre duas cores
<i>hot stamping</i>	-	Estampagem a quente
<i>in mold label</i>	-	Filme no molde
L*	-	Luminância
NBR	-	Norma Brasileira
PET	-	Poli Tereftalato de Etileno
RPM	-	Rotação por minuto
UVA	-	Radiação
UVB	-	Radiação
W	-	Watts
µm	-	Microns
nm	-	Nanômetro
%	-	Percentual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.3	OBJETIVO GERAL.....	17
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	POLÍMEROS	19
2.1.1	Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).....	19
2.1.2	Comportamentos do ABS na metalização	21
2.2	PROCESSO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO	21
2.2.1	Parâmetros de regulagem no processo de moldagem por injeção ...	23
2.2.2	Ciclo de moldagem por injeção.....	24
2.3	MOLDE DE INJEÇÃO	26
2.4	METALIZAÇÃO EM POLÍMEROS.....	27
2.4.1	Tratamento Superficial.....	28
2.4.2	Metalização à vácuo	30
2.5	PROCESSO DE HOT STAMPING	32
2.6	PROCESSO DE <i>IN MOLD LABEL</i>	34
2.7	ENSAIOS PARA ANÁLISE DA CAMADA METÁLICA.....	39
2.7.1	Análise de Espectrofotometria.....	40
2.7.2	Ensaio de exposição a agentes químicos.....	42
2.7.3	Ensaio de névoa salina (<i>salt spray</i>) simulando intemperismo.....	42
2.7.4	Ensaio de envelhecimento acelerado ultravioleta e condensação	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	MATERIAIS	45
3.1.1	Fita <i>Heat Transfer Film IMD</i> metálica.....	45
3.2	MÉTODOS	46
3.2.1	Equipamentos utilizados	46
3.2.2	Injeção dos corpos de prova.....	47
3.2.3	Aplicação da Fita <i>Heat Transfer Film IMD</i> metálica.....	48
3.2.4	Análise inicial do corpo de prova injetado.....	49

3.2.5	Medida da espessura da camada decorativa	50
3.2.5.1	Espessura da camada obtida por metalização à vácuo	50
3.2.5.2	Espessura da camada obtida na metalização por in mold label	53
3.2.6	Análise de Espectrofotometria	54
3.2.7	Ensaio de exposição à agentes químicos	55
3.2.8	Ensaio de névoa salina (<i>Salt Spray</i>)	62
3.2.9	Ensaio de envelhecimento por ultravioleta (UV) simulando intemperismo	64
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
4.1	ANÁLISE VISUAL DO CORPO DE PROVA INJETADO	66
4.2	MEDIDA DA ESPESSURA DA CAMADA DECORATIVA	67
4.2.1	Medida da espessura metalização a vácuo X espessura metalização por <i>in mold label</i>	67
4.3	ANÁLISE DE ESPECTROFOTOMETRIA	69
4.4	ENSAIOS DE EXPOSIÇÃO À AGENTES QUÍMICOS	71
4.5	EXPOSIÇÃO A AGENTES QUÍMICOS ASSOCIADOS AO TESTE DE ADERÊNCIA.....	73
4.6	RESULTADO DO ENSAIO DE NÉVOA SALINA (<i>SALT SPRAY</i>).....	78
4.7	RESULTADO DO ENSAIO DE ENVELHECIMENTO POR ULTRAVIOLETA (UV) SIMULANDO INTEMPERISMO	79
5	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

A partir de 1930 alguns tipos de materiais poliméricos passaram a ser utilizados em escala industrial, como poliéster e poliamida, compondo roupas, partes de maquinários e equipamentos da indústria de modo geral. (CANEVAROLO, 2006, p. 17-18). No Brasil os primeiros registros da transformação de polímeros, ocorreram em 1957. No ano de 1993 a indústria brasileira de transformação de polímeros representava cerca de 1,3 % do produto interno bruto (PIB) nacional. (ZANIN; MANCINI, 2009, p. 55).

A necessidade de obter-se produtos de diversos tamanhos, com geometrias complexas e de baixa massa, proporcionou o desenvolvimento de alguns métodos para processar os materiais poliméricos, entre eles o processo de injeção que se tornou uma das mais importantes técnicas de processamento devido a crescente utilização de produtos injetados em substituição a outros materiais, os quais não apresentam fácil conformação quando se deseja tais características, e aplicações de camadas decorativas.

Efeitos decorativos sobre peças poliméricas é uma prática comum na indústria de transformação de polímeros, onde uma alternativa é a deposição de camadas metálicas, através do processo de metalização a vácuo. Temos como exemplo a indústria de embalagens para alimentos, onde a aplicação de uma camada decorativa proporciona uma aparência mais atraente e agrega valor ao produto final, mas, porém, apresenta uma desvantagem que está relacionada a altos custos de investimento, fato que o torna inviável em algumas aplicações. (DE BRUYN et al., 2003, p. 710).

Outro método de decorar uma peça polimérica pós injeção, é pelo processo chamado de *hot stamping*, onde um filme polimérico, com várias camadas, sendo uma ou mais retráteis, permite a transferência desta camada a um substrato suporte, neste caso um polímero, isto é possível através do aquecimento onde o filme polimérico retrai soltando o verniz/metal sobre a peça. (BALAMURUGAN et al., 2017, p. 291)

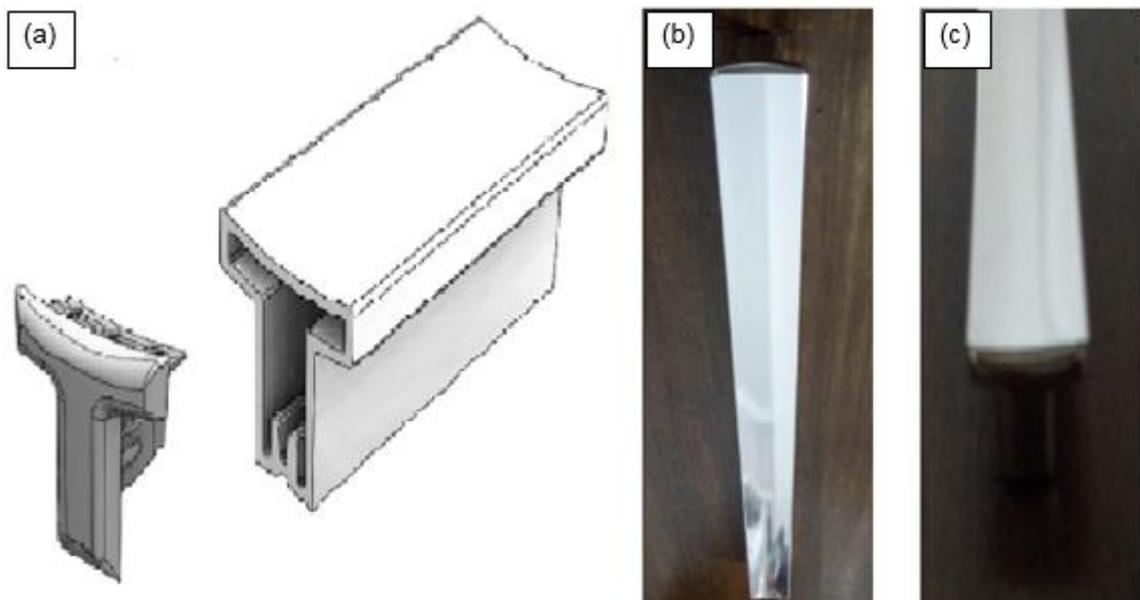
Para Martinez, Castany e Mercado, (2011, p. 1806) uma das maneiras mais eficientes e econômicas de decorar, uma peça polimérica, é fazê-la durante o ciclo de moldagem por injeção, direto no molde, este método é chamado de *in mold label*. O método consiste em, proporcionar ao polímero fundido o contato com um filme

decorado, o qual se encontra posicionado dentro do molde, e então ocorre a transferência do efeito decorativo, para a superfície do substrato polimérico, em condições controladas de temperatura pressão e velocidade.

Sendo assim este projeto visa o desenvolvimento de um sistema, para substituir o processo de metalização a vácuo no polímero ABS. Utilizando uma técnica de transferência semelhante ao processo de *in mold label* e *hot stamping*. Visando a decoração do substrato para evitar processos decorativos pós injeção. O desenvolvimento deste trabalho proporciona um novo conceito decorativo ao processo de injeção, o que possibilita obter-se peças com aspecto metalizado de forma mais prática, rápida e econômica.

O produto que está sendo trabalhado para a substituição do método de metalização é o terminal para um perfil, utilizado como acessório para a indústria moveleira, mais precisamente como um puxador para roupeiro após sua montagem com o perfil extrudado. A Figura 1 apresenta em (a) o terminal e o perfil onde o mesmo é encaixado, em (b) e (c), o perfil já montado e com o efeito decorativo metálico, sendo utilizado como um puxador na porta do roupeiro.

Figura 1 - Terminal utilizado para metalização, o perfil e o puxador montado aplicado no móvel.



Fonte: O Autor (2018).

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Pela pesquisa voltada a melhoria e agilidade de um processo produtivo, espera-se que o desenvolvimento deste trabalho leve a inovação e ganhos no processo produtivo para metalizar o polímero ABS. Em um mercado onde as indústrias brasileiras estão lutando incansavelmente para se manterem competitivas em seus ramos de atividade, o desenvolvimento desta nova tecnologia de metalizar um polímero de forma mais rápida, com custo de produção inferior e mantendo a mesma qualidade ou muito próxima a do processo a ser substituído, seja algo de extrema importância para a empresa manter-se competitiva no mercado de atuação.

Com a implantação do sistema de *in mold label* associada ao *hot stamping*, elimina-se a etapa de metalização, juntamente com tratamentos superficiais que são necessários para que ocorra a metalização a vácuo, pois através do método proposto, as peças são extraídas do molde de injeção com a camada decorativa (metalizada) já aplicada e prontas para a utilização.

1.2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos a seguir.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema que metalize a peça no momento em que ocorre o processo de injeção do produto, baseando-se na tecnologia de *in mold label* associada ao processo de *hot stamping*, sem perdas significativas na qualidade do produto final.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pretende-se ao adotar este sistema ter um processo produtivo mais ágil e lucrativo para metalizar peças poliméricas em ABS durante o ciclo de moldagem por

injeção, desenvolver um processo mais competitivo no mercado e agregar valor ao *mix* de produtos da empresa. Sendo assim para atingir esses objetivos pretende-se:

- Estruturar o processo de moldagem por injeção em conjunto com o processo de *in mold label/hot stamping*;
- Desenvolver um molde adaptado para o novo processo;
- Desenvolver um dispositivo para a aplicação da fita metalizada na cavidade do molde com movimentos simultâneos com a máquina injetora;
- Verificar se ocorreu a transferência total da camada metálica para a superfície da peça polimérica;
- Comparar a tonalidade da camada metálica proposta com relação ao processo de metalização a vácuo;
- Comparar a espessura da camada metálica entre os dois processos estudados;
- Avaliar a aderência do sistema de *in mold label/hot stamping*;
- Comparar a resistência da camada metálica entre o processo de metalização a vácuo e o processo de metalização por *in mold label/hot stamping*, através de ensaios de aderência, ensaios de resistência a agentes químicos, intemperismo e envelhecimento UV;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 POLÍMEROS

Os polímeros comerciais em sua maioria, também conhecidos na América do Norte como resinas, são baseados no elemento carbono e são constituídos pela síntese de materiais brutos e simples, baseados em petróleo. São materiais iniciais, chamados de monômeros, e estes materiais simples de baixo peso molecular são aglomerados por um processo conhecido como polimerização para formar polímeros. Este termo significa que o produto final é composto de muitas unidades idênticas repetidas. (FUGANTI, 2009, P. 9).

Os materiais poliméricos são classificados em dois grandes grupos: termoplásticos e termorrígidos (ou termofixos). Os termoplásticos atingem o estágio de amolecimento ao serem aquecidos, podendo ser moldados. Esta troca de estado não altera sua estrutura química, o que permite que uma vez resfriado, ele possa ser novamente aquecido e reaproveitado, enquanto que os termorrígidos têm sua estrutura química alterada ao ser moldado, não permitindo uma nova moldagem. (HARADA 2004, p. 20). Portanto neste capítulo trataremos do polímero (ABS), por se tratar de um polímero muito utilizado quando se deseja peças com aspectos metálicos, pois sua estrutura química permite a metalização quando comparado com outros polímeros termoplásticos. Por este motivo ele será utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

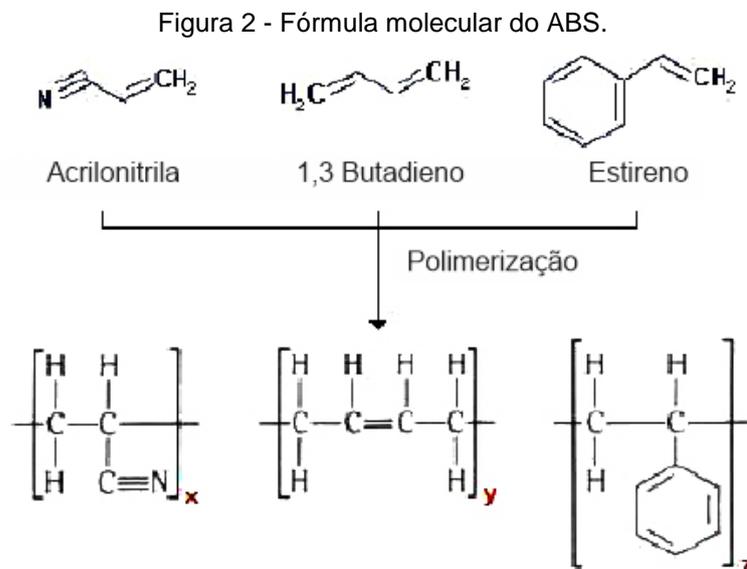
2.1.1 Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)

A partir de 1948, quando foi introduzido no mercado norte-americano em forma de lâminas pela *U.S. Rubber Complane*, o terpolímero ABS, tem sido explorado continuamente, diversos *grades* do polímero foram desenvolvidos, para atender as necessidades requeridas pela indústria, dentre eles pode-se destacar o anti-chama, antiestático, expansível, reforçados com fibra de vidro, para cromagem, e resistentes ao calor. (SIMIELLI; DOS SANTOS, 2010, p. 15).

A maioria das resinas de ABS tem a possibilidade de variar de translúcida a opacas, podendo ser produzidas em tipos transparentes, sendo assim, existe a

possibilidade de transformar o polímero em produtos com cores variadas, no qual são aplicáveis em proteções, em decorações, tanto para produtos de uso industrial como de uso para o consumidor final, (ALBUQUERQUE, 2000, p. 131).

Acrilonitrila butadieno estireno é um terpolímero composto pela combinação dos três monômeros que constituem o seu nome. A sua fórmula molecular é apresentada na Figura 2, onde a composição exata de cada componente depende da utilização final que o produto se destina. As proporções podem variar de 15% a 35% de acrilonitrila, 40% a 60% de estireno, com 5% a 30% de butadieno, sendo que a acrilonitrila confere ao polímero resistência química e térmica, o butadieno resistência ao impacto e ao alongamento e o estireno brilho, facilidade na moldagem e rigidez. (CTB, 2017).



Fonte: CTB (2017).

Antes do processo de injeção, o ABS deve ser seco em estufa à 80 °C por aproximadamente 4 horas. No processo de injeção a temperatura não deve ultrapassar 240 °C para evitar a descoloração do material pela oxidação superficial. (WIEBECK; HARADA, 2005, p. 59).

O polímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é utilizado em grande escala em produtos da indústria automotiva e doméstica, onde suas propriedades mecânicas podem ser melhoradas com a adição de cargas de enchimento como: carbonato de cálcio e talco. (FARSHBAF; BEHROUZI; ASIABAN, 2011, p. 2016; SEE et al., 2016, p. 468). Dentre as diversas aplicações do polímero pode-se destacar que o mesmo tem um comportamento atraente quando submetido a

camadas decorativas com efeito metalizado.

2.1.2 Comportamentos do ABS na metalização

Na metalização do ABS, o butadieno disperso na superfície do material ao ser oxidado em uma solução crômica, forma micro poros que facilita a absorção do catalisador, permitindo a ancoragem da deposição química, fator que promove uma ótima adesão entre o polímero e o metal. (SANCHEZ; SILVA; SÁNCHEZ, p. 721).

Em um de seus estudos Kurek A. P. et al. (2015, p. 213) concluiu que é possível decorar uma blenda de ABS/PVC, onde ao aumentar a concentração de PVC na amostra, necessita-se de condições operacionais mais agressivas, tais como maiores temperaturas de banho e aumento do tempo de imersão. Isso mostra que o ABS por ser um polímero polar tem facilidade em ser decorado.

Para se obter uma boa aderência da metalização sobre a superfície do ABS, deve-se realizar um ataque ácido que afeta os meros de butadieno contidos em sua fase borrachosa, deixando assim espaços vazios na superfície do polímero. Durante o ataque ácido a superfície se torna mais polar e hidrofílica devido à sulfonação da superfície polimérica, o que aumenta sua molhabilidade, favorecendo a ativação da superfície e, conseqüentemente, facilita a ancoragem da camada de metalização sobre o produto. (KUREK A. P. et al., 2015, p. 214).

Além do ABS, outros tipos de polímeros podem ser utilizados no processo de metalização como: polipropileno, ureia-formaldeído, Lexan, polissulfona, Noryl, policarbonato. Destes polímeros citados apenas o polipropileno tem sido empregado, e mesmo assim em proporção bastante reduzida comparado ao ABS, que ocupa cerca de 90 - 95% do mercado. (RODRIGUES, 2010, p. 4). O ABS além de ter um desempenho interessante na aceitação de camadas decorativas também proporciona um bom desempenho no processo de moldagem por injeção.

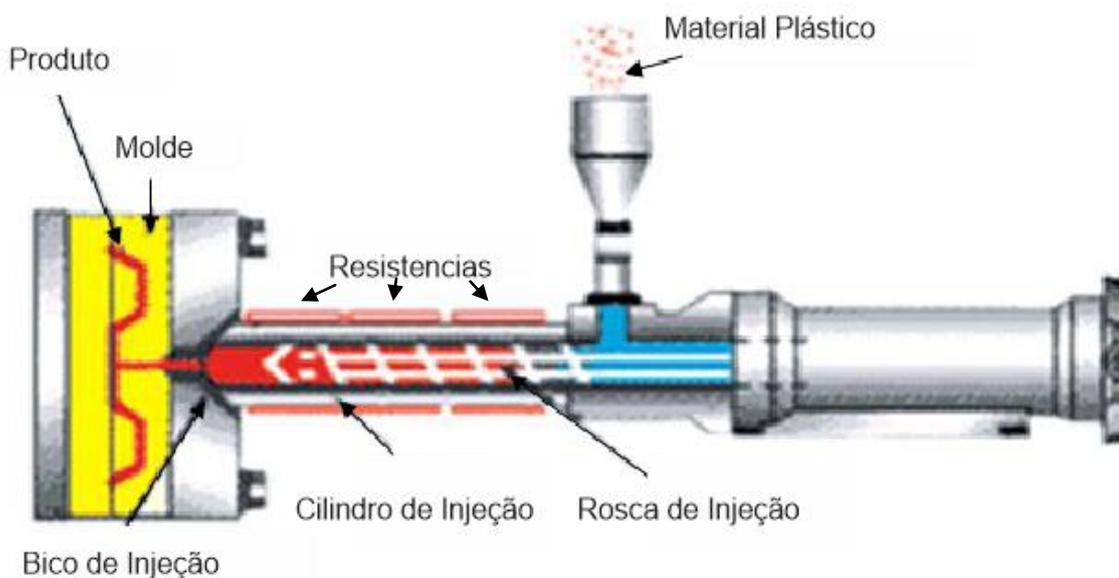
2.2 PROCESSO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO

O processo de moldagem por injeção consiste em transferir o polímero fundido para o interior da cavidade de um molde, em condições controladas de

temperatura, tempos, pressões, velocidades e posições, dando origem ao produto desejado. (MARTINEZ; CASTANY; MERCADO, 2011, p. 1806).

É um processo cíclico onde o material sólido, geralmente na forma de grânulos (*pellets*), é alimentado no funil da injetora e transportado por uma rosca/parafuso em um cilindro de aquecimento. O aquecimento oriundo do cisalhamento e das resistências elétricas que envolvem a parede externa do cilindro promove sua fusão e plastificação. Após a plastificação o polímero fundido é transportado desde o bico de injeção, passando pelo canal de alimentação até o total preenchimento do molde. A Figura 3 mostra a unidade de injeção, e o caminho percorrido pelo polímero para o preenchimento da cavidade do molde, passando pela fase de aquecimento até o produto final. (NEVES, 2014, p. 66-67).

Figura 3 - Unidade de injeção e o preenchimento do polímero na cavidade do molde.



Fonte: Moldes e Matrizes (2007).

O processamento por injeção é uma das técnicas mais utilizadas para a fabricação de peças poliméricas, de geometrias simples e complexas, abrangendo uma variedade de produtos em quase todos os ramos da indústria. É uma técnica flexível, caracterizada por apresentar elevada taxa de produção, baixo custo e boa estabilidade dimensional (devido ao controle do processo). Entretanto para produzir peças de boa qualidade, o comportamento do fluxo do polímero fundido no interior da cavidade do molde deve ser amplamente compreendido, bem como os parâmetros de regulação de processo devidamente ajustados. (NEVES, 2014, p. 65-66).

2.2.1 Parâmetros de regulação no processo de moldagem por injeção

As condições em que o processo de moldagem por injeção ocorre são determinados por parâmetros e controles, a fim de que a peça polimérica tenha desempenho adequado em sua aplicação, garantindo uma boa performance ao produto final. (DANG, 2013, p. 15).

Quando uma peça polimérica é injetada, suas propriedades são o resultado entre os parâmetros de processamento, relacionadas com o material a ser processado, a máquina utilizada e o tipo de molde aplicado. (DA SILVEIRA, 2017, p. 46).

Cada máquina injetora possui um controle diferente, cada qual com suas particularidades, porém, todos os controles de máquinas têm o mesmo objetivo: ajustar as variáveis que controlam o processo, para a obtenção de um produto com os requisitos de qualidade desejados. Obviamente, essa qualidade somente será alcançada se, além da regulação da máquina, a matéria-prima, o molde, o meio-ambiente e a própria máquina forem adequados. (CAVALHEIRO, 2007, p.7).

Em uma máquina injetora, as principais variáveis operacionais (ou parâmetros de programação) que influenciam no processo são:

- Temperatura de processamento: é a temperatura em que o polímero fundido encontra-se ao ser introduzido no molde sob pressão, ao aumentar a temperatura de processamento do polímero, a viscosidade do material é reduzida, o que facilita o preenchimento da cavidade. (NIAN; WU; HUANG, 2014, p. 102). Já por outro lado o processamento do polímero em baixas temperaturas dificulta o preenchimento das cavidades, principalmente em produtos com paredes finas, gerando tensões, contrações irregulares e propriedades mecânicas que não atenderão aos requisitos do produto final. (AZAMAN et al., 2015, p. 1082).
- Velocidade de injeção: é a velocidade (cm^3/s) com que o polímero plastificado é enviado para o interior do molde durante a fase de enchimento, peças poliméricas com paredes finas se caracterizam pela necessidade de um fluxo de material rápido, para facilitar o enchimento da cavidade antes que o fluxo fique interrompido. (NIAN; WU; HUANG, 2014, p. 102)

- Pressão de injeção: é a pressão exercida pelo pistão sobre o polímero fundido durante a fase de preenchimento do molde.
- Pressão de recalque: é a pressão exercida pelo pistão (rosca), após o enchimento do molde, essa pressão tem a finalidade de compensar a contração da peça moldada durante a fase de resfriamento.
- Comutação/tempo de recalque: é a transição entre injeção e recalque, momento em que o movimento de avanço do parafuso deixa de ser comandado pela velocidade programada e passa a obedecer à pressão programada para o recalque, durante um tempo pré-determinado.
- Velocidade de rotação do parafuso: é a velocidade em que a rosca gira para efetuar a dosagem do polímero, a mesma é expressa em RPM.
- Contrapressão: é a pressão do atuador do parafuso, contrária ao seu retorno durante a etapa de dosagem, quanto maior a contrapressão durante a dosagem, maior é o aumento de temperatura (por cisalhamento) e melhor a homogeneidade do polímero fundido.
- Dosagem: é a quantidade de material plastificado armazenado à frente da rosca, aguardando o início do ciclo para ser injetado na cavidade do molde.
- Fechamento: é o movimento que a máquina faz para proporcionar o encontro da parte móvel do molde com a parte fixa, onde devem ser ajustadas as pressões, velocidades, tempos e posições de deslocamento.
- Tempo de Resfriamento: é o tempo necessário para que a peça tenha condições de desmoldagem sem perda de características e propriedades.

Esses parâmetros têm grande influência sobre o produto e o ciclo de moldagem por injeção, portanto devem ser ajustados de forma a otimizar tempos para fazer com que o processo seja o mais produtivo possível, eliminando perdas desnecessárias, e conseqüentemente custos de produção elevados.

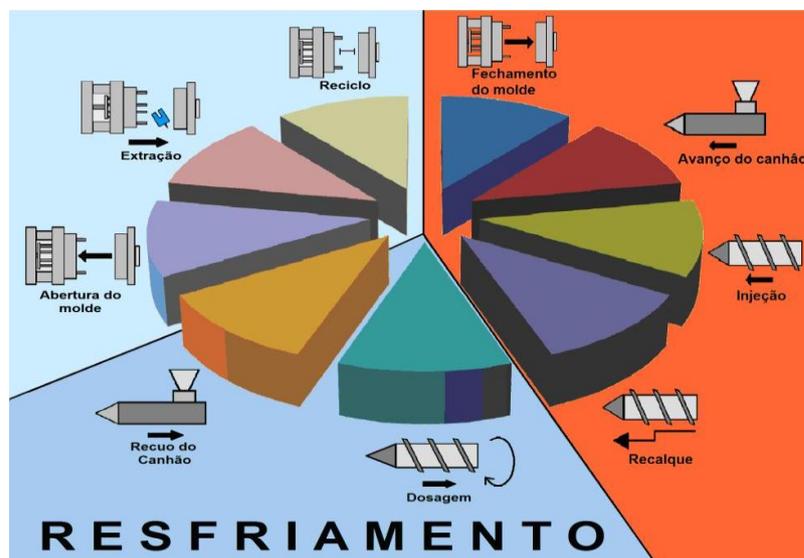
2.2.2 Ciclo de moldagem por injeção

Para Dubay et al. (2014, p. 21449, E1 of E8), por ser um processo de

fabricação que trabalha em ciclos, os parâmetros são ajustados e fixados no painel da máquina injetora. Portanto, é essencial adequar e ajustar o ciclo para cada produto específico, a fim de se obter resultados satisfatórios de qualidade e produtividade. (CHEN et al., 2008, p. 846).

Um ciclo de moldagem por injeção consiste no intervalo de tempo entre o início do fechamento do molde e o período correspondente a sua abertura e a ejeção das peças. (HARADA, 2004, P.52). A Figura 4 mostra as etapas de um ciclo de moldagem por injeção, destacando os seus principais constituintes e abaixo segue a descrição de cada etapa do ciclo.

Figura 4 - Representação de um ciclo de moldagem por injeção.



Fonte: Adaptado de Harada (2004, p. 53).

- Fechamento do molde: é o movimento de fechar o molde e mantê-lo desta forma, pois o polímero fundido é injetado com pressão elevada e tende a abri-lo, devido à alta pressão na cavidade. (HUANG, 2004, p. 148).
- Avanço do canhão: Quando se faz o encosto do bico na bucha de injeção, necessita-se de uma determinada pressão que tem como objetivo evitar o vazamento de material polimérico, entre o bico e a bucha injetora do molde, durante a injeção.
- Injeção: ocorre devido à pressão exercida pelo pistão sobre o material polimérico durante o preenchimento da cavidade. A pressão de injeção é um parâmetro importante onde em peças com paredes finas faz-se

necessário utilizar uma pressão de injeção maior para concluir o preenchimento da cavidade. (NIAN; WU; HUANG, 2014, p. 102).

- Recalque: é a pressão exercida pelo pistão após o preenchimento da cavidade, o recalque possui a finalidade de compensar a contração da peça moldada durante seu resfriamento.
- Dosagem: é a quantidade de material plastificado armazenado à frente da rosca, a ser injetado na cavidade em cada ciclo.
- Resfriamento: é o tempo de solidificação do polímero na cavidade do molde, até atingir a temperatura adequada de desmoldagem.
- Recuo do canhão: em casos específicos o bico deve ser afastado da bucha de injeção, após a dosagem para evitar que ocorra a perda de temperatura do mesmo.
- Abertura do molde: é o movimento que a máquina injetora faz com uma posição, programada de modo que o produto seja extraído sem bater na placa fixa do molde.
- Extração: ocorre o acionamento do sistema extrator da máquina injetora que está conectado mecanicamente a placa extratora do molde fazendo com que o produto seja desmoldado.
- Reciclo: tempo determinado entre o final do ciclo e início do ciclo seguinte.

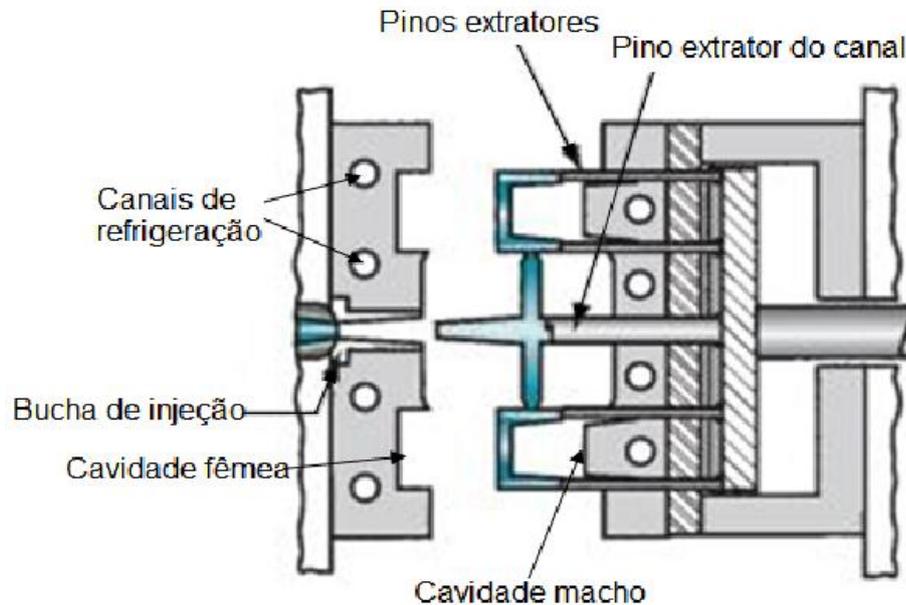
2.3 MOLDE DE INJEÇÃO

A indústria de moldes de injeção se beneficia da crescente utilização de peças injetadas em material polimérico para obter um crescimento exponencial. (RECHA; CALVEZ; DESSOLY, 2004, p. 66).

O molde de injeção de termoplásticos consiste em uma unidade completa, feito em materiais metálicos comumente em aço, os quais devem oferecer condições de produzir peças moldadas. Suas cavidades possuem as formas e dimensões referentes à peça desejada. O molde é adaptado na máquina injetora, e recebe em sua cavidade, o material polimérico fundido, o qual é introduzido por meio de pressão e velocidade, onde em seguida será refrigerado até atingir a temperatura de desmoldagem. (HARADA, 2004, p. 91-92).

A Figura 5 apresenta um molde de injeção aberto, onde é possível visualizar as cavidades macho e fêmea, a bucha de injeção, os pinos extratores, o extrator do canal e os canais de refrigeração, que controlam sua temperatura de trabalho.

Figura 5 - Molde de injeção e seus respectivos componentes.



Fonte: Da Rocha (2017, p. 5).

O controle da temperatura do molde no processo de injeção tem influência direta, na qualidade do produto. Este controle fornece estabilidade dimensional, um baixo índice de deformação e uma aparência visual atraente ao produto injetado, onde para cada polímero é indicada uma temperatura ideal de trabalho, que são especificações e características técnicas, fornecidas por fabricantes via catálogo técnico. (DA CRUZ, 2002, p. 42). Após a injeção das peças poliméricas as mesmas podem sofrer diversas aplicações e processos posteriores entre eles pode-se citar o processo de metalização que geralmente, tem o objetivo estético e agrega valor ao produto final.

2.4 METALIZAÇÃO EM POLÍMEROS

Devido a demanda por peças com aspecto visual atraente e com a necessidade de agregar valor ao mix de produtos, tem ocorrido um grande interesse pela aplicação de camadas decorativas metalizadas em superfícies de peças poliméricas, mas destaca-se que, para ocorrer a deposição de uma camada metálica

sobre superfícies desta natureza é necessário previamente ativá-la de um modo uniforme. A peça injetada não-ativada tem uma superfície espelhada, que não entra em contato com nenhuma solução, repelindo qualquer líquido, da mesma forma que uma peça metálica suja de óleos ou gorduras repele a água antes de ser convenientemente desengordurada. (Rodrigues, 2010, p. 3).

Segundo Ibanez (2014, p. 5266) a aplicação da metalização a vácuo sobre um substrato polimérico, muitas vezes necessita da introdução de um agente de acoplamento, entre o polímero e a fina camada metálica. Para tal pode se utilizar um tratamento superficial ou um verniz, o qual seja compatível com o polímero e a fina camada do metal a ser aplicada.

2.4.1 Tratamento Superficial

Chamamos de tratamento superficial o conjunto de processos ou métodos físico-químicos, com o objetivo de decorar ou melhorar as propriedades superficiais de uma peça metálica ou não metálica, tais como: durabilidade, resistência, proteção, estética dentre outras. (Rodrigues, 2010, p. 5).

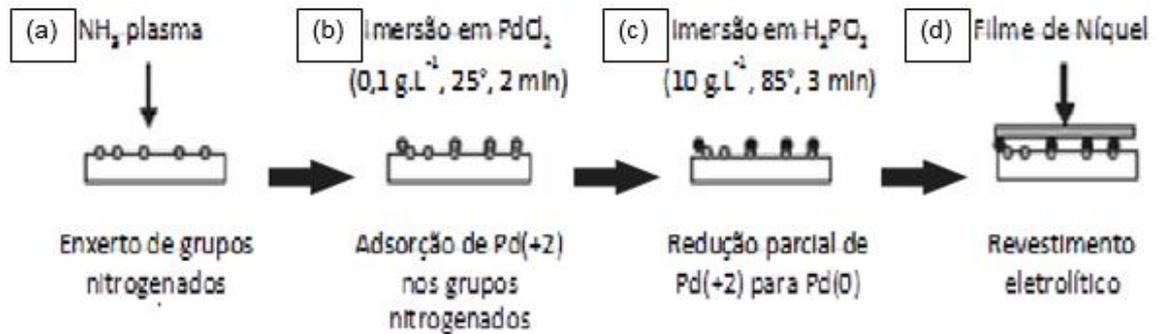
Quando pensamos em tratamento de superfície para um polímero devemos priorizar a qualidade, se tomarmos como exemplo a metalização, ela não depende apenas do processo de deposição em si, mas também da tecnologia e condições de pré-tratamento, incluindo desengorduramento, ativação da superfície e pôr fim a metalização, onde a preparação do substrato polimérico é de extrema importância para que haja interação entre o filme metálico e o polímero, (LI et al. 2015, p. 48 e CHARBONNIER, ROMAND, GOEPFERT, 2006).

A coesão entre camadas no polímero ABS por exemplo, pode ser determinada, por meio de um pré-tratamento químico, no qual a fração de butadieno sobre a superfície da peça é destacada por meio de oxidação, e a superfície é ativada pela nucleação do paládio, por exemplo. (PLÁSTICO INDUSTRIAL, 2017, p. 33).

A Figura 6 apresenta as etapas de um tratamento superficial em um substrato polimérico, para posterior revestimento eletrolítico, onde na etapa (a) ocorre uma nitretação com plasma, na etapa (b) ocorre a fixação do elemento paládio ao nitrogênio, na etapa (c) ocorre a redução do paládio e por fim na etapa (d)

o revestimento eletrolítico, com filme de níquel. (LI et al. 2015, p. 48; CHARBONNIER, ROMAND, GOEPFERT, 2006).

Figura 6 - Etapas de um tratamento superficial em um substrato polimérico.



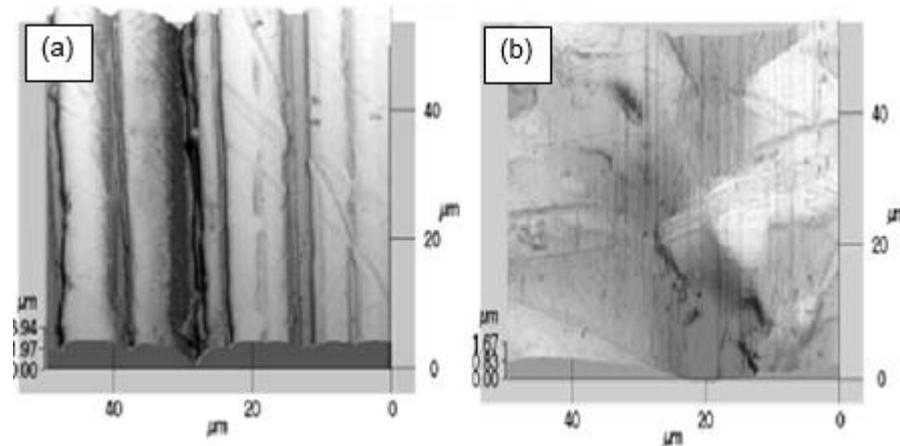
Fonte: Charbonnier, Romand, Goepfert, (2006, p. 5029).

Cada polímero apresenta uma composição química diferente, sendo necessária uma preparação específica para receber uma camada decorativa, podendo ser realizadas por ataque químico, com ácido crômico, pré-condicionamento iônico ou ataque por plasma. (KUPFER; WOLF, 2000, p. 723).

Para De Bruyn et al. (2003, p. 711) o pré-tratamento na superfície dos substratos poliméricos podem ser: por jato de areia, flambagem, descarga corona e ativação por plasma, os quais tem como finalidade aumentar a área disponível, e a interação do polímero com o material de revestimento. As modificações são introduzidas na superfície do substrato polimérico com o objetivo de que os átomos dos metais vaporizados penetram proporcionando uma melhor aderência do efeito decorativo.

A Figura 7 a seguir apresenta a superfície de um substrato polimérico, onde em (a) antes de um ataque químico com ácido crômico, é possível visualizar uma superfície irregular o que dificulta a ancoragem da camada decorativa e em (b) após o ataque químico a superfície se mantém mais regular, aumentando a área disponível, fazendo com que a ancoragem da camada decorativa seja facilitada. (DE BRUYN et al., 2003, p. 710).

Figura 7 - Superfície de um substrato polimérico antes e após um ataque químico.



Fonte: De Bruyn et al. (2003, p. 712).

Segundo os estudos de Horn et al. (1999, p. 281) a mudança na estrutura química da superfície do polímero pode ser provocada também se utilizando radiação ultravioleta (UV). Estudos sobre funcionalização fotoquímica de superfícies poliméricas admitem que a metalização com grupos funcionais polares aumenta a adesão de camadas metálicas, mesmo em superfícies plásticas lisas, mas uma rugosidade mínima é necessária e de extrema importância para a distribuição das forças que surgem durante os testes. O tratamento UV permite também um aumento das propriedades de adesão entre a interface polímero/metal no caso de efeitos decorativos. (BEIL et al., 1999, p. 1202).

A alteração química na estrutura dos substratos pode ser confirmada pela espectroscopia de infravermelho, onde este método de caracterização fornece informações sobre mudanças na estrutura química do polímero e especificamente sobre a agregação de novos grupos funcionais na superfície do substrato, (MICHALJANI et al., 2016, p. 138).

2.4.2 Metalização à vácuo

O processo de metalização a vácuo consiste na deposição de uma fina camada de alumínio ou de um óxido metálico que é aplicada a um substrato. É um processo oneroso pois necessita de várias etapas até que o produto esteja metalizado e em condições de uso, é necessário que o produto seja fixado em um dispositivo (gancheiras), onde para cada produto é necessário desenvolver um dispositivo específico de acordo com a forma de fixação, área a ser metalizada e

com as necessidades de fixação específicas para cada produto. (SISTEVAC, 2018).

Além da dificuldade encontrada na fixação o processo requer a demanda por mão de obra para efetuar a fixação das peças nas gancheiras, e após a metalização ocorre a retirada dos produtos das gancheiras. A Figura 8 apresenta uma metalizadora com os produtos já encaixados nos dispositivos de fixação (gancheiras), juntamente com a câmara de vácuo, pronto para iniciar o processo de metalização.

Figura 8 - Metalizadora e os produtos fixados nos dispositivos de fixação (gancheiras).



Fonte: Sistevac (2018).

A metalização à vácuo tornou-se interessante por utilizar como insumo principal um gás a baixa pressão e alvos metálicos para obtenção do material a ser depositado. (MARTINS GOMES, 2016, p. 20). O processo de metalização à vácuo apresenta algumas vantagens em relação aos outros métodos de deposição. Dentre as mais importantes pode-se destacar:

- A capacidade de se obter inúmeros revestimentos utilizando qualquer material como substrato;
- Boas propriedades mecânicas;
- É um processo com baixo grau de agressão ao meio ambiente,
- Possibilidade de se obter cores diferentes com o uso de sais misturados ao próprio alumínio ou até mesmo o verniz que pode colaborar nesse sentido.

- O alumínio também propicia bons resultados devido ao seu baixo ponto de fusão, produz superfícies brilhantes e com relativa aderência ao substrato. (DEYNA, 2015, p. 22; KÜCHLER, 2006, P. 2).

Como principais desvantagens do processo de metalização a vácuo podemos citar:

- Baixa razão de deposição se comparada com outros processos;
- Altos custos de investimento inicial os quais se justificam em grandes lotes de produção;
- Processo é oneroso pois necessita de várias etapas até que aconteça a metalização propriamente dita;
- Aquecimento dos substratos devido ao bombardeamento eletrônico e a cura de vernizes pré e pós processo, o que restringe o tipo de material a ser utilizado;
- Desenvolvimento de um sistema para fixar os produtos;
- Demanda de mão-de-obra devido as várias etapas do processo;

Além da metalização a vácuo, a necessidade por produtos poliméricos com efeito decorativo metálico desencadeou o desenvolvimento de outras técnicas de metalizar ou decorar um polímero de forma mais eficiente e sem a necessidade de tratamentos superficiais, tornando o processo decorativo menos oneroso e minimizando custos de produção, onde pode-se destacar o processo de *hot stamping* e o processo de *in mold label*.

2.5 PROCESSO DE HOT STAMPING

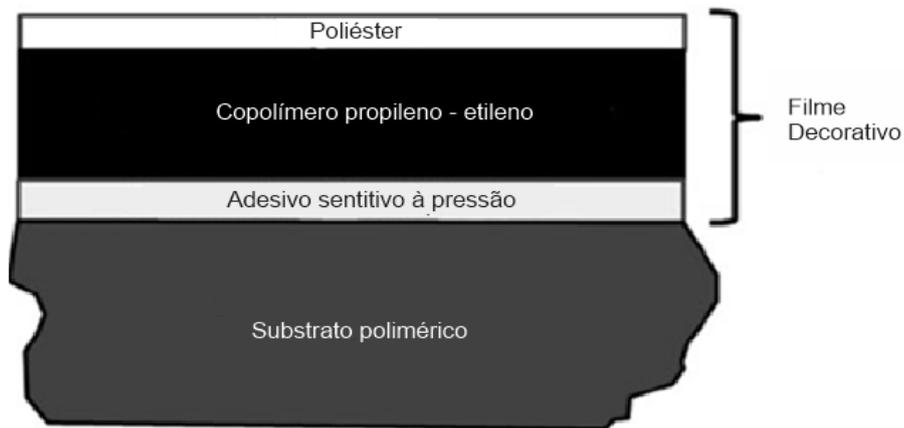
O processo de *hot stamping* oferece a possibilidade de transferir pintura e metalização em peças com geometrias complexas. Tem como demanda aplicações em produtos que exigem altos níveis de brilho e aparência exclusiva. A indústria automobilística é adepta deste processo de decoração, pois ele proporciona um custo atraente para decorar peças poliméricas, além da busca por um processo ambientalmente correto. (KURZ DO BRASIL, 2017).

Segundo Balamurugan et al. (2017, p. 291-292) filmes decorativos aplicados em peças poliméricas são encontrados no interior de veículos afim de proporcionar

aspectos texturizados, padronizados ou acabamentos metálicos para painéis e console do automóvel. Essas aplicações se estendem para o módulo da frente do veículo e para-choques, podendo ser coloridos e/ou metálicos, com diferentes acabamentos e atendendo as necessidades da indústria automobilística. Ao mesmo tempo em que proporciona uma resistência melhorada ao risco, evita as preocupações ambientais associadas com pinturas e revestimentos.

A Figura 9 exemplifica um revestimento sobre um substrato polimérico, onde pode ser visualizado o filme decorado composto por três camadas, um poliéster, um copolímero propileno-etileno, um adesivo sensível à pressão, e o substrato polimérico que receberá o efeito decorativo.

Figura 9 - Revestimento através do processo de *hot stamping*.



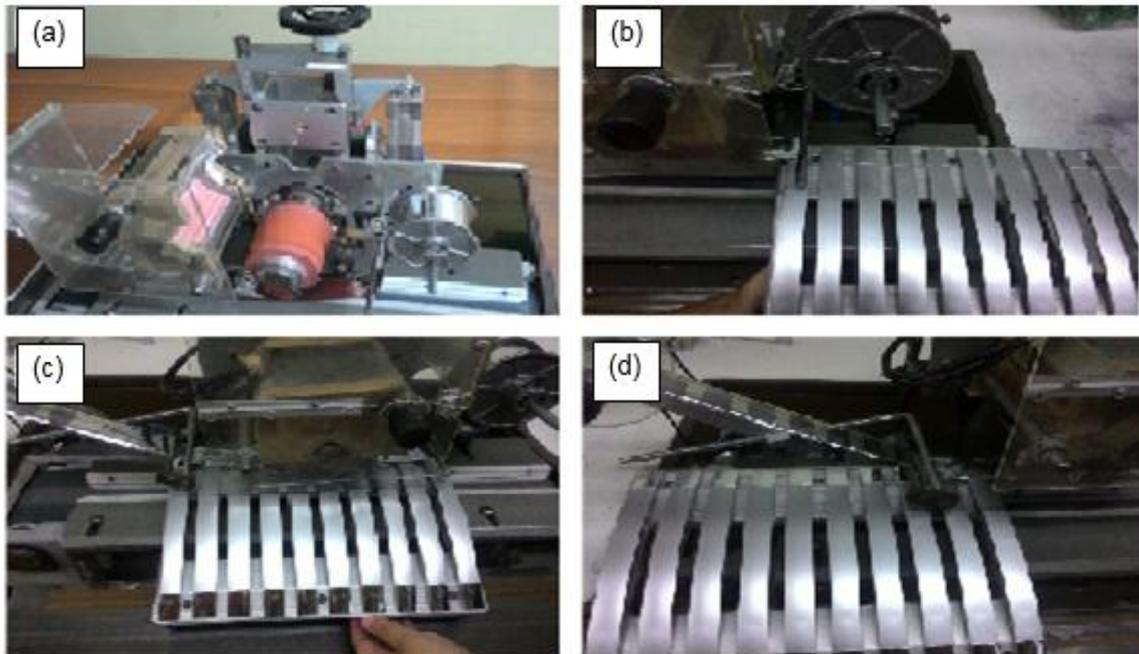
Fonte: Adaptado de Balamurugan et al. (2017, p. 293).

O processo de *hot stamping* é ideal para realçar a aparência de superfícies de peças poliméricas. Permite decoração sofisticada combinada com uma superior definição das bordas, resulta em uma aparência de classe e alta qualidade. É um processo de decoração em embalagens preferido, pela indústria de cosméticos há muitos anos com cores diversificadas e adequadas a este mercado. O *hot stamping* é um processo de decoração, impressão, personalização e codificação por calor, com uma fita impressora, que pressionada por um clichê sobre um substrato polimérico, transfere sua textura ou tinta para o substrato. (WUTZL, 2017).

A Figura 10 apresenta um dispositivo utilizado para a transferência de uma camada metalizada utilizando o processo de *hot stamping*, em um substrato polimérico. No primeiro momento em (a) pode ser visualizado o dispositivo utilizado para aplicação da camada metálica, as resistências elétricas e o clichê de silicone

responsável pela transferência do metal para o substrato polimérico, no momento (b) apresenta o início da aplicação da camada metálica, em (c) o instante em que está ocorrendo a aplicação da camada metálica, e finalmente em (d) pode-se visualizar a conclusão da aplicação.

Figura 10 - Dispositivo e aplicação da metalização utilizando o processo de *hot stamping*.



Fonte: O Autor (2018).

Outro processo utilizado para promover aspectos decorativos em um substrato polimérico é o processo de *in mold label*, que é utilizado simultaneamente com o processo de moldagem por injeção.

2.6 PROCESSO DE *IN MOLD LABEL*

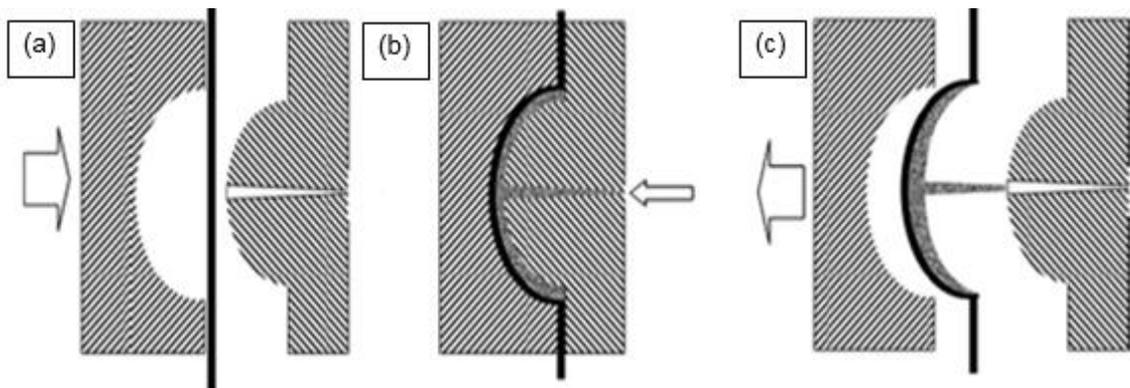
Há alguns anos o processo de *in mold label*, já vem sendo aplicado nos Estados unidos, na Europa e em alguns países asiáticos, na aplicação de camadas decorativas sobre polímeros polares. Esta técnica especial é chamada também de *in mold Coating*. Esse processo possibilita muitas vantagens, como perfeita imitação de couro ou texturização. O processo elimina a necessidade de enganche das peças e desengraxe, reduz a mão de obra e apresenta como desvantagem a linha de emenda, que permanece visível e o aumento do tempo de molde aberto no processo de injeção. (FAZENDA, 2009, p. 794).

O processo de *in mold label* pode ser considerado uma tecnologia moderna na área de embalagens, onde pelo processo de moldagem por injeção um rótulo é colocado no molde enquanto aberto, o mesmo é mantido na posição correta com o auxílio de vácuo, atração eletrostática ou outros meios apropriados de fixação. Enfim após a fixação do *label* na cavidade, que é considerado o grande desafio do processo, o ciclo prossegue, a resina polimérica é injetada, incorpora o rótulo dando origem a um produto único já decorado. (LARPSURIYAKUL; FRITZ, 2011, p. 412).

Wong e Liang (1997, p. 511) entendem que esta técnica de decorar basicamente se configura em colocar um filme pré-impresso e/ou decorado no molde de injeção. Este filme é colocado de tal maneira que o lado não impresso ou decorado fique voltado para as paredes do metal enquanto que o lado impresso fica exposto em direção ao fluxo do polímero fundido, após o molde ser fechado o polímero fundido é injetado na cavidade, o filme é esticado pelo fluxo do polímero, e a camada decorativa contida no filme se transfere ao produto.

A Figura 11 mostra um processo de aplicação do filme no molde de injeção, dividido em três etapas distintas, na etapa (a), o filme é inserido entre as cavidades do molde, na etapa (b) ocorre o fechamento do molde e a injeção do polímero sobre o filme, acompanhado do resfriamento do produto e, enfim, na etapa (c), chega o momento da abertura do molde e a ejeção do produto com o filme decorativo já aplicado, onde o filme e o polímero formam um produto único.

Figura 11 - Processo de aplicação do filme no molde de injeção.



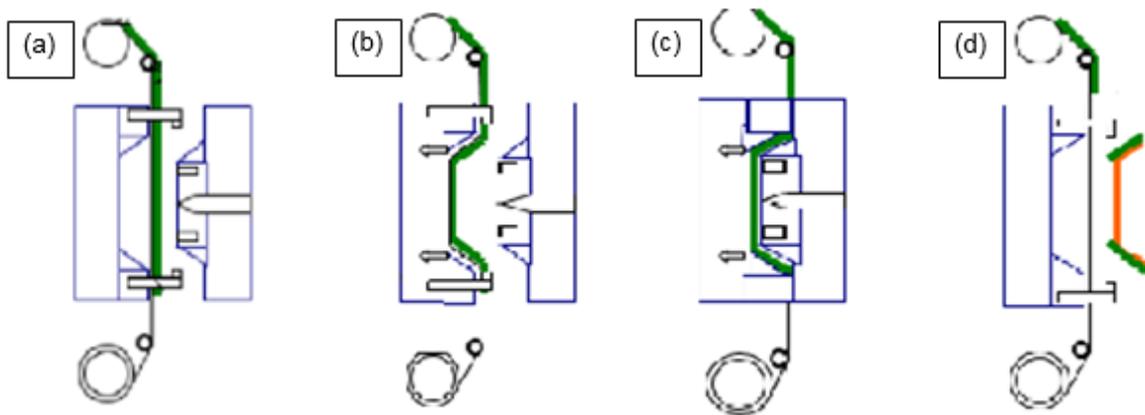
Fonte: Martinez; Castany; Mercado (2011, p. 1807).

Para Kotobuki Seihan Printing Co., LTDA (2018), o processo de *in mold label* deve ser acompanhado por um mecanismo para posicionar a película decorativa na cavidade do molde de acordo com a necessidade do produto, dentre as formas utilizadas comumente estão sistemas a vácuo que fazem com que a película fique

posicionada na placa do molde de interesse, ou dispositivos mecânicos que posicionam a fita, de acordo com a necessidade.

Como pode ser visualizado na Figura 12, onde em (a) tem um dispositivo que possibilita a descida da fita e a posiciona próximo a cavidade do molde, em (b) ocorre o acionamento do vácuo (em caso de necessidade), em (c) ocorre o fechamento do molde, a injeção do polímero, a transferência da camada decorativa e o resfriamento do moldado e em (d) é o momento da abertura do molde, ejeção das peças moldadas já decoradas, e ocorre a tração da fita para o ciclo seguinte de moldagem.

Figura 12 - Mecanismo que posiciona a fita na posição correta de aplicação na cavidade do molde.



Fonte: Kotobuki Seihan Printing Co., LTDA (2018).

O processo de *in mold label* apresenta inúmeras vantagens sobre outros métodos de decoração convencionais, onde uma vez injetada, uma embalagem não precisa sofrer operações posteriores, como colagem de etiquetas, gravações feitas em serigrafia ou qualquer outro efeito decorativo. A qualidade da impressão obtida é muito superior à dos outros métodos de decoração, e os produtos se destacam nas lojas e supermercados, fato hoje em dia muito valorizado em razão da elevada competitividade entre as indústrias nos mais diversos ramos de atividades. (FUGANTI, 2009, p. 18).

A transferência de uma camada decorativa utilizando uma fita decorada proporciona ao processo algumas vantagens significativas como:

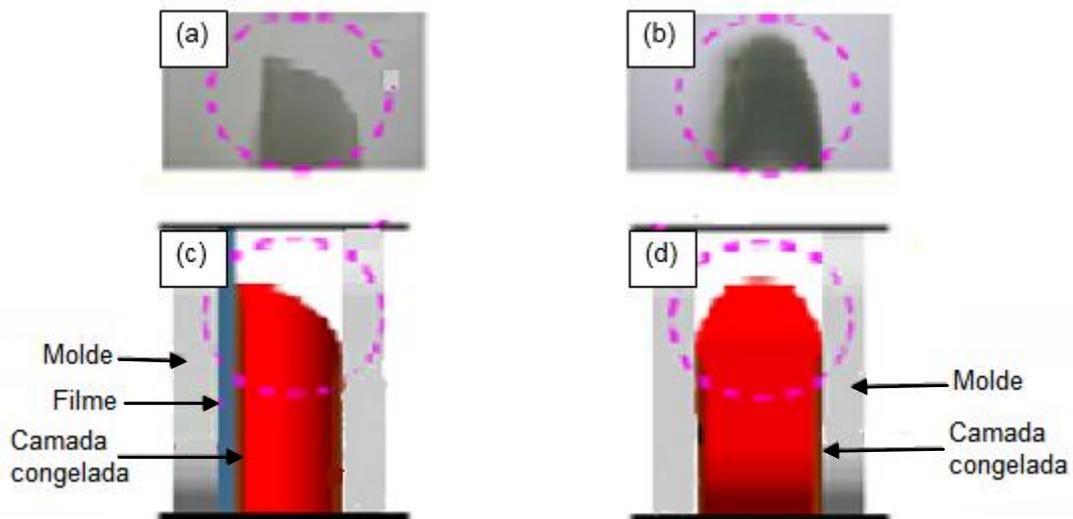
1. Redução de custo através da economia de espaço, tempo, mão de obra e energia;
2. Reproduz exatamente a cavidade do molde e tonalidade desejada;
3. Permite decorar superfícies em relevo;

4. Diferentemente do processo de metalização a vácuo, trata-se de um método seco e ecologicamente correto que não utiliza solvente;
5. Não há distorção nem empenamento do produto por reaquecimento;
6. Permite acrescentar funcionalidade ao processo decorativo;
7. O ciclo de moldagem por injeção pode proporcionar a mesma velocidade de um ciclo convencional;
8. Possibilita instalar o sistema em qualquer máquina de moldagem por injeção; (KOTOBUKI SEIHAN PRINTING CO., LTDA, 2018).

Embora existam diversas vantagens no processamento por *in mold label*, o desafio maior do processo é superar a dificuldade do posicionamento do filme na cavidade do molde, onde durante o preenchimento da cavidade, existem riscos com relação a qualidade do moldado se a posição do filme não for correta e sobre toda a área de aplicação do produto. (CHEN et al., 2013, p. 34).

A Figura 13 apresenta em (a) uma imagem real do comportamento da frente de fluxo, em um preenchimento do polímero com o filme aplicado na cavidade do molde, em (b) um preenchimento tradicional (frente de fluxo) do polímero na cavidade sem a presença do filme, em (c) é possível visualizar o molde, o filme e a camada congelada proporcionada com a utilização do filme aplicado, e em (d) o preenchimento tradicional do molde sem o filme, e também a camada congelada proporcionada no momento da injeção sem a utilização de um filme na cavidade.

Figura 13 - Imagem real do comportamento das frentes de fluxo e da camada congelada em um preenchimento com e sem filme na cavidade.



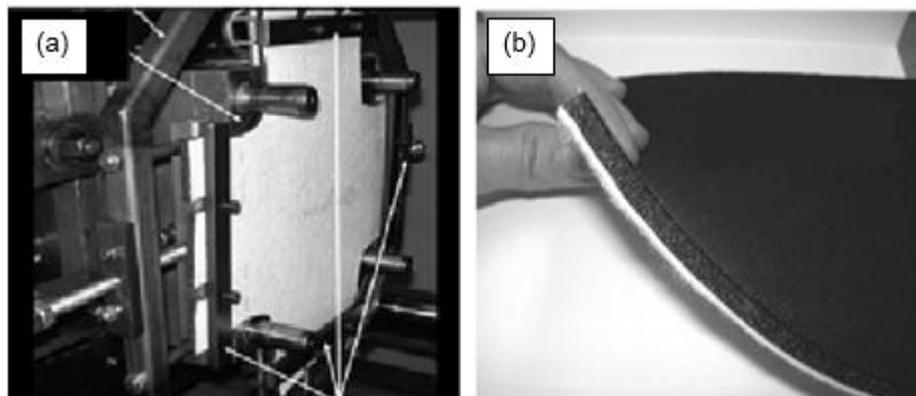
Fonte: Chen et al. (2013, p. 35).

Analisando a Figura 13 é possível entender que a frente de fluxo no preenchimento tradicional (sem filme), é igual em ambos os lados, devido a uniformidade de transferência de temperatura do molde para o polímero fundido, enquanto que no preenchimento com o filme no processo por *in mold label*, não há uniformidade, onde há um fluxo mais rápido no lado do molde que contém o filme, por ele ser um isolante e não permitir a transferência de temperatura para “congelar” e obstruir o fluxo do polímero (em casos de molde frio). Ao analisar a camada congelada com o filme no molde percebe-se que ela é menos espessa com relação ao lado do molde sem o filme, e a frente de fluxo no lado do molde que contém o filme avança mais rápido comparado com a frente de fluxo tradicional (sem filme), isso comprova a teoria de que o filme age como um isolante entre o polímero e a cavidade do molde.

Mesmo com problemas, o processo de *in mold label* está se tornando muito importante devido ao aumento da necessidade de produtos ou filmes decorados com estética atraente, bem como materiais de toque suave. O acabamento superficial pode ter funções estéticas ou de proteção, e também ocultar defeitos superficiais e modificar propriedades de superfície, visto que uma das maiores dificuldades do processo também se dá por conta da fixação do filme na posição correta na cavidade do molde. (MARTINEZ; CASTANY; MERCADO, 2011, p. 180).

A Figura 14 mostra o momento da aplicação de um tecido com toque suave na cavidade, utilizando um método semelhante ao citado anteriormente mas com um método diferente de fixação, onde em (a) ocorre a aplicação de um tecido na cavidade e em (b) após a injeção do polímero sobre este material, tem-se o produto final já com o tecido incorporado ao polímero, dando origem a um único produto.

Figura 14 - Aplicação e fixação de um material com toque suave na cavidade do molde.



Fonte: Martinez; Castany; Mercado (2011, p. 1810).

A grande vantagem desta técnica é que o produto pode ser extraído do processo de injeção pronto para ser usado de acordo com sua finalidade, é o caso, por exemplo, de peças para indústria automobilística, eletrodomésticos e confecção de acessórios para a indústria moveleira, cadeiras e mesas promocionais muito encontradas em bares pelo Brasil afora, decoradas com marcas de bebidas, entre outras aplicações. (FUGANTI, 2009, P. 18).

Porém para que um processo de decoração qualquer seja validado, as peças devem ser submetidas a diversos ensaios e testes de qualidade, a fim de verificar seu desempenho em uso. Portanto no capítulo seguinte serão abordados alguns ensaios comuns e importantes a serem realizados na camada decorativa a fim de se obter resultados capazes de garantir qualidade superficial e desempenho adequado ao produto final, durante sua vida útil.

2.7 ENSAIOS PARA ANÁLISE DA CAMADA METÁLICA

Ao metalizar um produto polimérico é de extrema importância que o mesmo tenha um aspecto visual adequado, isso pode ser analisado através de equipamentos capazes de comparar a diferença de cor e brilho entre um produto e outro, uma maneira de se observar tal alteração é através da técnica de espectrofotometria, (CALLISTER, 2002, p. 410). Além disso a resistência desta camada decorativa também precisa ser avaliada com relação a exposição em situações adversas de uso.

Quando os produtos se encontrarem em um ambiente doméstico, tem-se como necessidade realizar alguns testes não convencionais para determinar a resistência da camada decorativa. Podemos citar ensaios de exposição a agentes químicos, utilizados para a limpeza dos utensílios domésticos, tais como: sabão, álcool, água sanitária, dentre outros. Com a utilização desses produtos é indispensável adaptar alguns ensaios a uma norma existente.

Muitos produtos constituídos em materiais poliméricos são aplicados em ambientes que exigem sua exposição às condições de um ambiente externo, onde algumas degradações são conhecidas por intemperismo, que podem na realidade ser uma combinação de várias ações diferentes, com relação ao meio em que a peça está inserida. Essas condições podem ser consideradas resultantes de reações

de oxidação, as quais podem ser iniciadas pela radiação ultravioleta, agredindo a camada decorativa da peça, e isso pode ser avaliado através do ensaio de névoa salina (*salt spray*) e da exposição ao envelhecimento acelerado (envelhecimento UV).

2.7.1 Análise de Espectrofotometria

A refletância de uma superfície varia em função do comprimento de onda da radiação incidente. Por isso, o método considerado mais preciso para identificar a refletância solar de determinada amostra é realizar o monitoramento dessa propriedade através de uma análise espectral (espectrofotometria), ou seja, verificar a refletância da amostra ao longo do espectro solar. Para isso, podem ser usados equipamentos chamados espectrofotômetros, que lançam feixes de radiação sobre a amostra nos mesmos comprimentos de onda abrangidos pelo espectro solar. (PEREIRA et al. 2015, p. 6).

A energia refletida é medida por detectores e a refletância é calculada pela razão entre a energia refletida e a incidente. Os detectores podem medir a energia em cada comprimento de onda, e dessa forma a informação da refletância é espectral, ou seja, para cada comprimento de onda. Estão disponíveis no mercado, diferentes marcas e modelos de espectrofotômetros. Eles podem apresentar diferentes tamanhos e tipos de detectores, mas possuem as mesmas características básicas de funcionamento. A Figura 15 apresenta um espectrofotômetro da marca Lambda 1050 – PerkinElmer. (PEREIRA et al. 2015, p. 6).

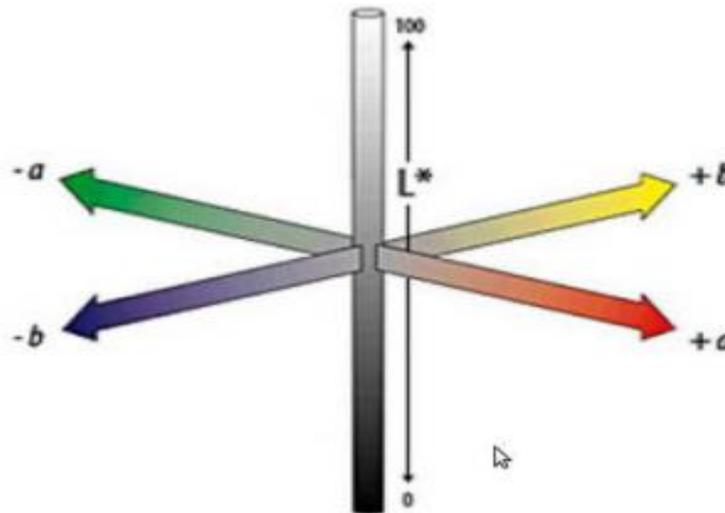
Figura 15 - Espectrofotômetro Lambda 1050 – PerkinElmer.



Fonte: Pereira, C. D. (2014, p. 61).

As leituras das cores podem ser interpretadas de acordo com o modelo de cor CIE LAB, que foi criado pela CIE para aumentar a uniformidade das cores percebidas pelo sistema visual humano. O (L^*) representa o valor de luminosidade da cor, enquanto que (a) pode variar do verde para o vermelho e (b) do amarelo para o azul. A Figura 16 a seguir apresenta esquematicamente a forma de leitura de cores pelo sistema CIE LAB.

Figura 16 - Esquema que representa a leitura de cores do sistema CIE LAB.



Fonte: Bertolini (2010, p.33).

Analisando a Figura 16 é possível entender que o sistema CIE LAB de cores obtidas através de um aparelho de espectrofotômetro pode ser entendido da seguinte maneira:

L^* = Luminância, quanto mais próximo de 0, mais Preto (escuro absoluto), quanto mais próximo de 100, mais Branco (luz máxima).

a = Eixo que demonstra do verde ao vermelho com valores, que variam de: - 128 (Verde Limão) à + 120 (Magenta).

b = Eixo que demonstra do azul ao amarelo com valores, que vão de: - 128 (Azul) à + 127 (Amarelo).

DH = Tonalidade no sistema CIE LAB, saturação corresponde a tonalidade + ou - próxima, do centro da Cor (eixo da Luminância).

DL = Onde L é Lightness, ou seja, Luminosidade. Ao apresentar DL (+) a amostra é (+) clara e DL (-) a amostra é (+) escura.

DC = Onde C é a definição de cor ou a distância do eixo neutro (saturação).

DE = É o valor que representa a “distância” entre duas cores, é a medição final ou resultado de uma formulação matemática de todas as outras diferenças, demonstra a igualdade total da cor, (BERTOLINE, 2010, p.33).

2.7.2 Ensaio de exposição a agentes químicos

Em um de seus estudos Kùchler (2006, p. 18), analisou a resistência química de revestimentos metálicos utilizando produtos de limpeza de uso cotidiano no meio doméstico. A escolha dos produtos foi motivada tanto pelo baixo custo dos ensaios como pela objetividade do teste, uma vez que produtos metalizados são encontrados com muita frequência no ambiente doméstico, principalmente em peças utilizadas em ambientes sanitários. Desta forma, os resultados dos ensaios podem fornecer rapidamente informações valiosas para quem deseja empregar metalização em produtos que venham a ter contato frequente com materiais de limpeza. Alguns testes seguem uma norma específica já outros também podem ser adaptados de acordo com a necessidade de uso e requisitos que o produto deve atender em sua aplicação.

A norma NBR 11003:2009 regulamenta a aderência de filmes metálicos ou tintas em substratos diversos. É frequentemente empregada nas indústrias, em virtude da facilidade, bem como por fornecer resposta imediata de qualidade da camada metálica, podendo ser associada e adaptada a ensaios com a exposição a agentes químicos, (MARTINS GOMES, 2016, p. 36).

2.7.3 Ensaio de névoa salina (*salt spray*) simulando intemperismo

Câmaras de névoa salina são projetadas para reproduzir os resultados que ocorrem nas condições reais de intemperismo. Entretanto, o leque enorme de fatores atmosféricos que contribuem com a corrosão não permite uma reprodução precisa da exposição natural, e pequenas variações na calibração do equipamento podem mascarar os resultados dos ensaios. (NBR 8094, 1983)

A NBR 8094, proveniente da norma ASTM B117, expressa uma avaliação comparativa da porcentagem de corrosão da peça em função da quantidade de horas exposta à nevoa salina.

O ensaio é realizado através de uma câmara que submete os corpos de prova à névoa salina. A Figura 17, a seguir apresenta um equipamento de névoa salina (Salt Spray), utilizada para estes ensaios.

Figura 17 - Equipamento de névoa Salina (*salt spray*).



Fonte: Martins Gomes (2016, p. 41).

2.7.4 Ensaio de envelhecimento acelerado ultravioleta e condensação

É amplamente conhecido que a radiação ultravioleta, presente no espectro solar, afeta diretamente as propriedades físico-químicas dos revestimentos orgânicos, especialmente os obtidos por pintura, em maior ou menor grau, dependendo da natureza química do polímero utilizado.

As mudanças climáticas, devido às alterações na camada de ozônio da estratosfera, causam um aumento da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. Esses elementos têm comprovadamente, a capacidade de acelerar a velocidade de fotodegradação dos revestimentos, limitando, assim, sua durabilidade. (FRAGATA, AMORIM, ORDINE. 2010, p. 92).

No envelhecimento acelerado, procura-se simular condições ambientais adversas através dos componentes elementares: luz ultravioleta, calor, umidade e oxigênio, os quais atuam sobre os materiais, em uma câmara, acelerando a sua degradação. A partir dessas simulações, é possível avaliar e entender melhor o comportamento e desempenho dos materiais ao longo do tempo, sendo uma valiosa ferramenta que aferirá, entre outras características, a qualidade do material colocado

no mercado. (MATHEUS, 2002, p. 12).

A temperatura de exposição dos corpos de prova é automaticamente controlada, de acordo com os programas estabelecidos para ciclos UV/Condensação. Em poucos dias ou semanas a câmara de envelhecimento acelerado pode proporcionar a degradação que ocorreria em meses ou anos. A câmara de envelhecimento simula os efeitos da luz solar e reproduz os efeitos fotoquímicos nos materiais sujeitos ao intemperismo. (COMEXIM, 2018). A Figura 18 apresenta uma câmara utilizada para ensaios de envelhecimento ultravioleta (UV).

Figura 18 - Câmara utilizada para ensaios de envelhecimento (uv).



Fonte: Comexin (2018).

A chuva e o orvalho são simulados na câmara de envelhecimento acelerado por um sistema de condensação. O reservatório de água é aquecido produzindo vapor de forma a manter a câmara de teste com uma umidade de 100% e uma temperatura controlada.

As montagens dos corpos de prova formam as paredes laterais da câmara de envelhecimento acelerado. A degradação sob radiação UV é acelerada pelo aumento da temperatura e o mesmo ocorre no ciclo de condensação. A água condensada sobre os corpos de prova está saturada pelo oxigênio, sendo por isso muito agressiva. Como ocorre na natureza, os ciclos de radiação UV e condensação também são independentes. (COMEXIM, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta sessão estão descritos os materiais e os métodos utilizados para a realização do trabalho, bem como a preparação dos corpos de prova e finalmente uma breve descrição dos ensaios realizados para validação das amostras e do processo estudado.

3.1 MATERIAIS

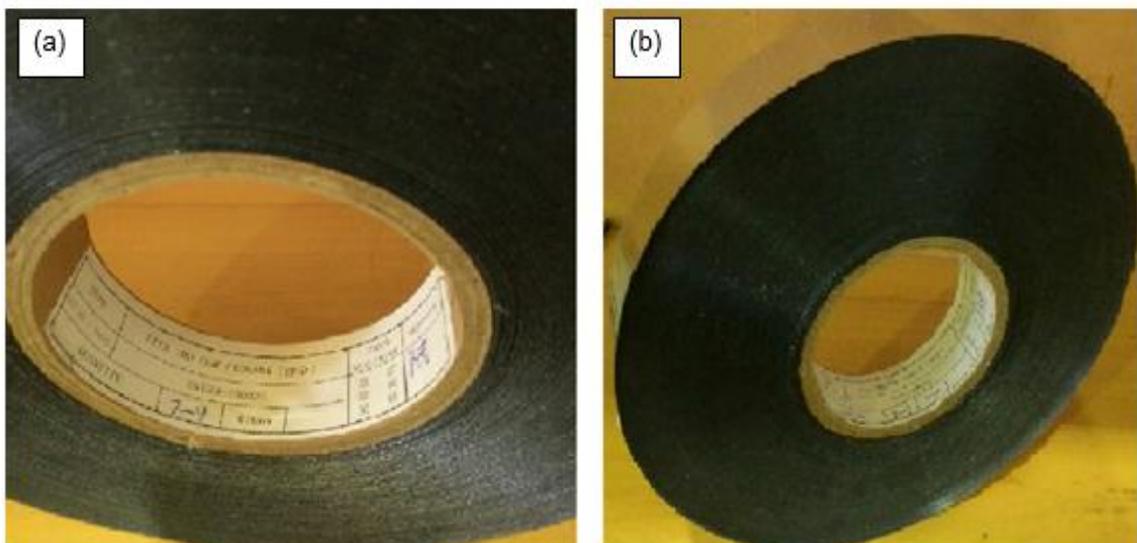
Para a injeção dos corpos de prova, utilizou-se os seguintes materiais:

- Polímero ABS LG Chen Grade HI 121 H;
- Fita *Heat Transfer Film IMD* metálica, base PET;

3.1.1 Fita *Heat Transfer Film IMD* metálica

A Figura 19 apresenta a fita que contém a camada metálica a ser transferida, em duas vistas diferentes, em (a) é possível visualizar a bobina que é utilizada para sua armazenagem, transporte e fixação no dispositivo de aplicação, e em (b) apresenta uma bobina completa contendo 610 m de comprimento, 25 mm de largura que pode variar de acordo com a necessidade de aplicação no produto.

Figura 19 - Fita *heat transfer film IMD* metálica.



Fonte: O Autor (2018).

3.2 MÉTODOS

Os procedimentos de preparação dos corpos de prova bem como as técnicas de ensaios serão listados neste capítulo. Será avaliada a aderência e a resistência da camada metálica que foi transferida pelo processo de metalização a vácuo, e comparada com a camada metálica transferida pelo processo de metalização por *in mold label*, no substrato ABS, com objetivo de verificar o desempenho dos dois processos estudados, em situações adversas de aplicação.

Os Métodos foram divididos em:

- Injetar os corpos de prova e metalizar através do processo de metalização à vácuo;
- Injetar os corpos de prova metalizados através do processo de *in mold label*;
- Comparar através de ensaios específicos os resultados, entre os dois métodos de metalização, (metalização a vácuo e metalização por *in mold label*);

3.2.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para a obtenção dos corpos de prova são os seguintes:

- Termômetro infravermelho digital Minipa MT – 350;
- Termo Higrômetro Digital Hikari HK-T240;
- Máquina injetora Euromap 612 / 150 Sandretto série OTTO 150 Ton, com capacidade de plastificação de 34,3 g/s (PS), diâmetro da rosca de 50 mm, relação L/D 21;
- Estufa Shini plastics Technologies, modelo SHD – 50 TM, capacidade de estufagem de 25 kg/h;
- Molde de injeção da peça (Terminal para perfil visália), código 10851-26, conforme Anexo 1;
- Controlador de temperatura para molde de injeção, Soft Control Modelo MP150 / N Mapre, utilizando água como fluido de refrigeração;

- Dispositivo para aplicação da fita desenvolvido e construído na empresa;
- Comando com CLP Unitronics para aplicar a fita em sincronia com os movimentos da injetora;

3.2.2 Injeção dos corpos de prova

A injeção dos corpos de prova foi realizada utilizando-se os parâmetros de processo que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de injeção utilizados para a obtenção dos corpos de prova.

Parâmetros do processo de injeção		
PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR
Tempo de injeção	s	2
Tempo de recalque	s	4
Pressão de injeção	Bar	63
Pressão de recalque	Bar	54
Contrapressão	Bar	10
Tempo de resfriamento	s	8
Velocidade da rosca	rpm	200
Umidade relativa do ar	%	52
Temperatura ambiente	°C	20,4
Temperatura de estufagem do ABS	°C	75
Tempo de estufagem do ABS	h	4
Temperatura do molde	°C	30
Temperatura do bico	°C	225
Temperatura zona 1	°C	220
Temperatura zona 2	°C	215
Temperatura zona 3	°C	200

Fonte: O Autor (2018).

3.2.3 Aplicação da *Fita Heat Transfer Film IMD* metálica

Para a aplicação da fita no processo de injeção utilizando o sistema de *in mold label*, foi desenvolvido um molde de acordo com a necessidade do processo, como citado na literatura por, Martinez; Castany; Mercado (2011, p. 1810) e Kotobuki Seihan Printing Co., LTDA (2018), onde entende-se a necessidade de inserir dispositivos, com a função de manter a fita, na posição correta de aplicação, para que o filme contendo a camada decorativa preencha toda a cavidade do molde, e o produto obtenha toda a sua superfície de interesse decorada.

A Figura 20 apresenta a cavidade fêmea (placa fixa) do molde, desenvolvido com a adaptação para o processo de *in mold label*. É possível visualizar alguns componentes do molde como: coluna guia, os canais de refrigeração e o alojamento que foi realizado na placa cavidade para que a fita não seja esmagada com o fechamento da máquina injetora, as cavidades fêmea do molde e os guias para posicionar a fita na condição adequada de trabalho.

Figura 20 - Molde de injeção adaptado ao processo de *in mold label* e seus respectivos componentes.



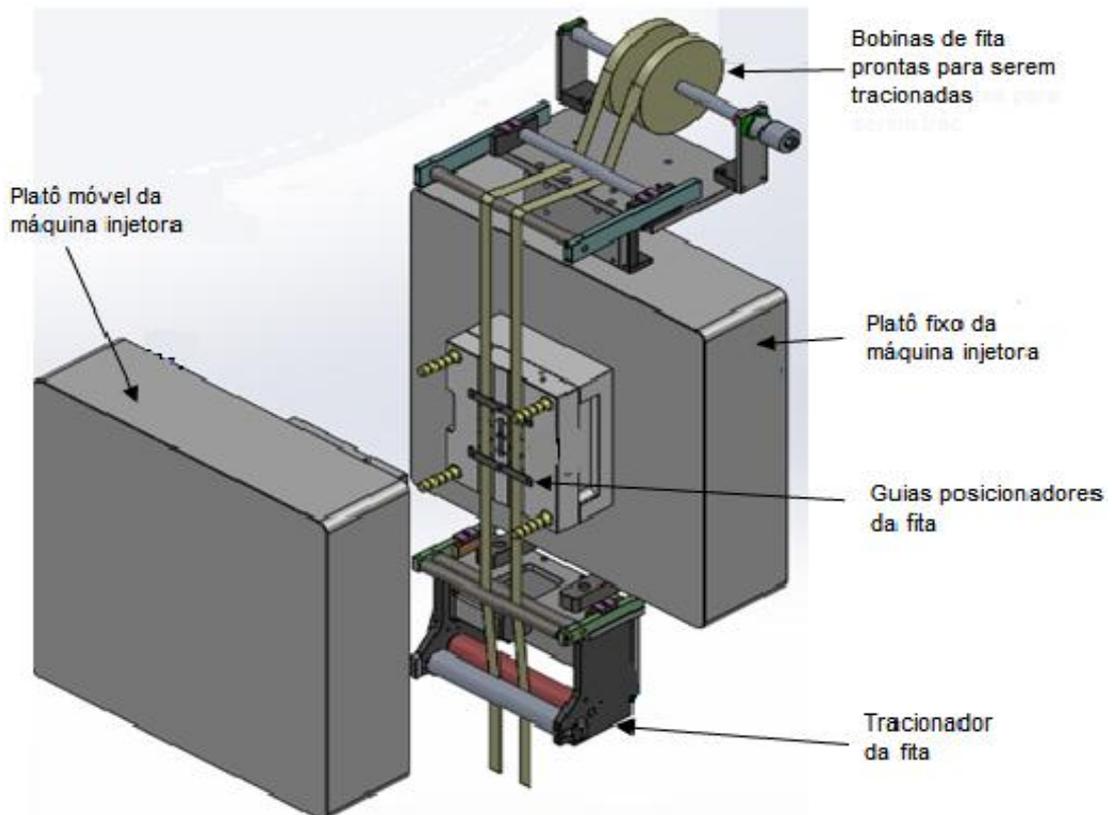
Fonte: O Autor (2018).

A literatura também menciona através de Kotobuki Seihan Printing Co., LTDA (2018), que um sistema para efetuar a aplicação da fita (*label*) na cavidade do molde pode ser desenvolvido e adaptado em qualquer máquina injetora. Então sendo assim, neste projeto foi desenvolvido e adaptado um dispositivo semelhante

ao da Figura 12, para fazer a aplicação da fita entre as cavidades do molde.

A Figura 21 apresenta o desenho do dispositivo desenvolvido para a aplicação da fita metalizada na cavidade do molde, onde é possível visualizar o local de acondicionamento das bobinas de fita prontas para serem tracionadas, o platô fixo da máquina injetora, os guias posicionadores da fita que tem a função de direcioná-la sobre as cavidades na posição correta de aplicação e abaixo do molde um dispositivo que faz a tração da fita, retirando das cavidades a fita já utilizada e colocando uma nova fita na região correta de trabalho, para então receber o polímero fundido do ciclo seguinte e o platô móvel da máquina, tudo isso interligado com a injetora, trabalhando em um ciclo automático.

Figura 21 - Dispositivo desenvolvido para a aplicação da fita na cavidade do molde.



Fonte: O autor (2018).

3.2.4 Análise inicial do corpo de prova injetado

No momento em que os corpos de prova foram injetados, foi realizada uma avaliação visual, com relação a transferência da camada metálica e em seguida uma

avaliação da espessura desta camada decorativa.

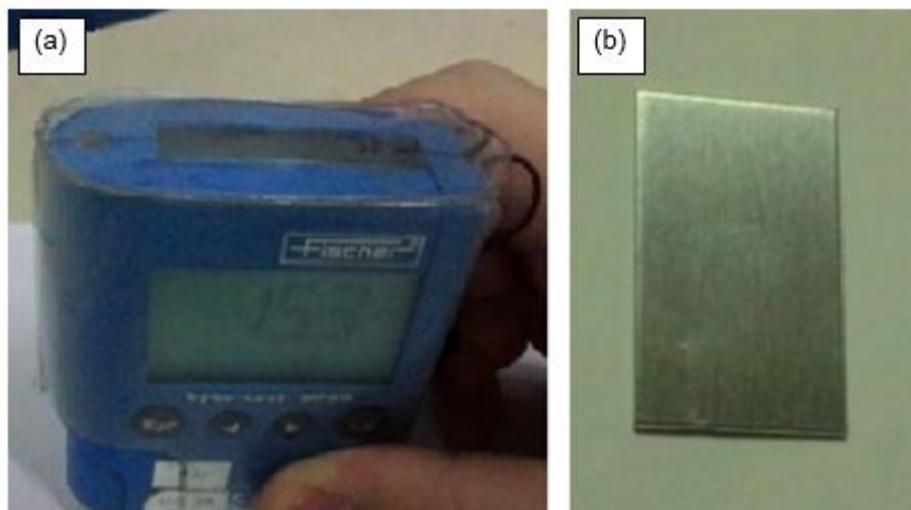
3.2.5 Medida da espessura da camada decorativa

Nesta etapa do projeto foram realizadas as medidas de espessura da camada decorativa obtida pelo processo de metalização a vácuo, e da espessura da camada decorativa obtida pelo processo de metalização por *in mold label*, para fins de comparação entre os dois métodos de processamento.

3.2.5.1 Espessura da camada obtida por metalização à vácuo

A medida da espessura da camada para o processo de metalização a vácuo, foi realizada no laboratório da empresa Akeo Industrial, localizada em Bento Gonçalves (RS), através de um instrumento de medição de camada da marca Fischer, conforme a norma ABNT NBR 10443 / 2008, e com um instrumento de medição, micrômetro digital da marca Digimess, de 0 – 25 mm, calibração controlada e válida até abril de 2018, conforme controle interno de calibração (ME 13). A Figura 22 apresenta em (a) o aparelho de medição de camada Fischer e em (b) a chapa metálica padronizada que recebe o revestimento para posterior medição da espessura sobre ela, de acordo com a norma.

Figura 22 - Aparelho de medição e chapa metálica padronizada para medição.



Fonte: O Autor (2018).

O procedimento de medição da espessura da camada decorativa foi realizado em três etapas:

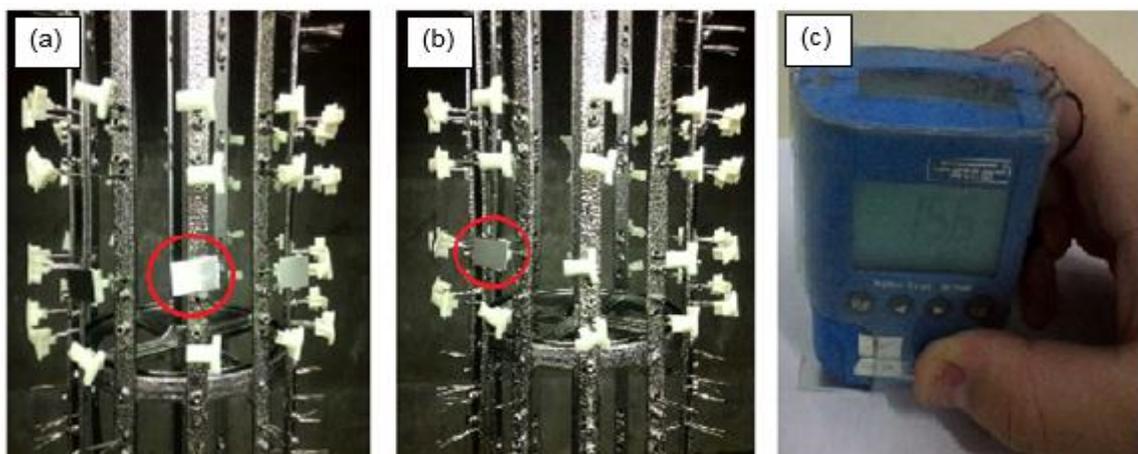
Etapa 1: aplicação do verniz pré sobre a chapa metálica, onde após a cura do verniz com o auxílio de um medidor de espessura de camada, Figura 22 (a), realizou-se a medida em cinco pontos diferentes da chapa metálica, para obter-se um valor médio da medida da espessura do verniz pré.

Etapa 2: aplicação do substrato metálico, com o auxílio da metalizadora a vácuo, onde obteve-se um recobrimento da chapa metálica, o qual foi medido sua espessura em três pontos diferentes. Estas medidas foram obtidas com o auxílio de um micrômetro conforme Figura 24.

Etapa 3: aplicação do verniz pós sobre a chapa metálica, onde após a cura do verniz com o auxílio de um medidor de espessura de camada, Figura 22 (a), realizou-se a medida em cinco pontos diferentes da chapa metálica, para obter-se um valor médio da medida da espessura, do verniz pós.

As Figuras 23, 24 e 25, apresentam a forma como ocorreram as medições. Na Figura 23 em (a) ocorre a fixação da chapa metálica sobre os corpos de prova para a aplicação e posterior medição da camada apenas do verniz pré, em (b) já ocorreu a aplicação e a cura do verniz, em um forno de aquecimento controlado à 60°C, por um tempo determinado e em (c) ocorre a medição da espessura da camada apenas do verniz pré que está depositado sobre a chapa metálica, e conseqüentemente sobre a peça.

Figura 23 - Aplicação das chapas metálica sobre os corpos de prova para medir da espessura da camada de verniz pré.

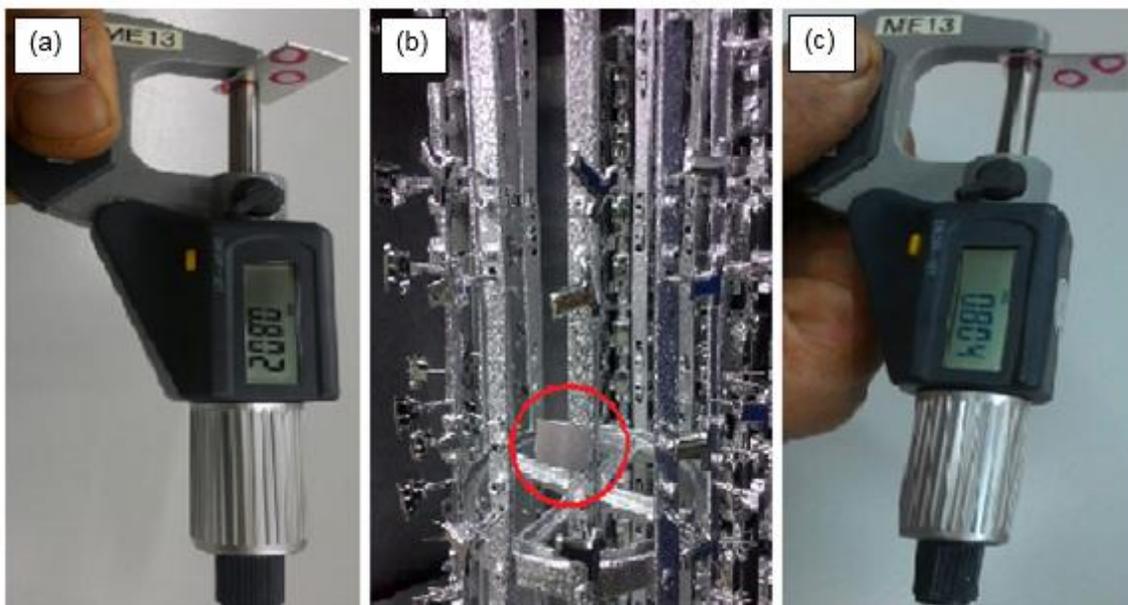


Fonte: O Autor (2018).

Posteriormente a medição do verniz pré, foi medido apenas a fina camada

metálica aplicada sobre a superfície do corpo de prova, utilizando-se uma nova chapa metálica. A medida foi realizada através de um micrômetro, pois o instrumento de medição normatizado da marca Fischer, mede apenas uma camada que está sobre o metal, portanto não é possível medir a camada metálica sobre uma chapa metálica (dois metais), então foi medido a chapa metálica sem a camada de metalização em três pontos diferentes e demarcados, e após a aplicação da camada metálica, foi medido novamente nos mesmos pontos para minimizar a margem de erro. A figura 24 apresenta o procedimento utilizado para medir a espessura apenas da camada metálica onde em (a) ocorre a medição da espessura apenas da chapa metálica, em (b) a chapa metálica sobre o corpo de prova após ter recebido a camada de metalização, e em (c) a medição da chapa já com a camada metálica.

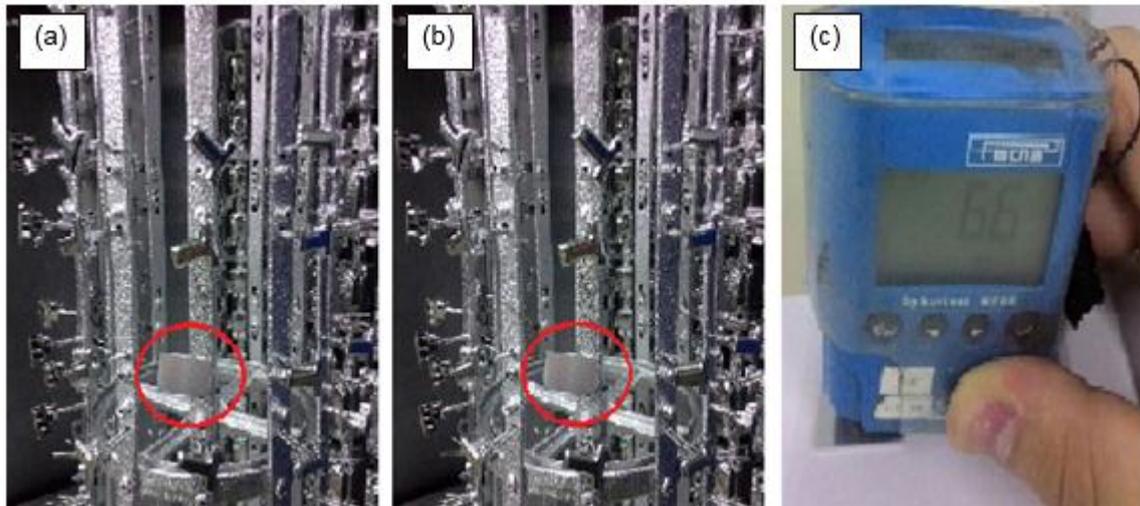
Figura 24 – Procedimento utilizado para medir a espessura da camada metálica.



Fonte: O Autor (2018).

O mesmo procedimento de medição utilizado anteriormente para medir a camada do verniz pré, ocorre para medir a camada de verniz pós que é aplicada sobre a camada de metalização, em uma nova chapa metálica. A Figura 25 apresenta a aplicação da chapa no corpo de prova para medir a camada de verniz pós, em (a) ocorre a fixação da chapa na gancheira, em (b) o momento em que o verniz pós já está aplicado e curado, e em (c) a medição da camada do verniz pós que está depositada sobre a camada de metalização e tem a finalidade de proteger a mesma.

Figura 25 - Aplicação das chapas sobre os corpos de prova para a medição da espessura da camada de verniz pós.



Fonte: O Autor (2018).

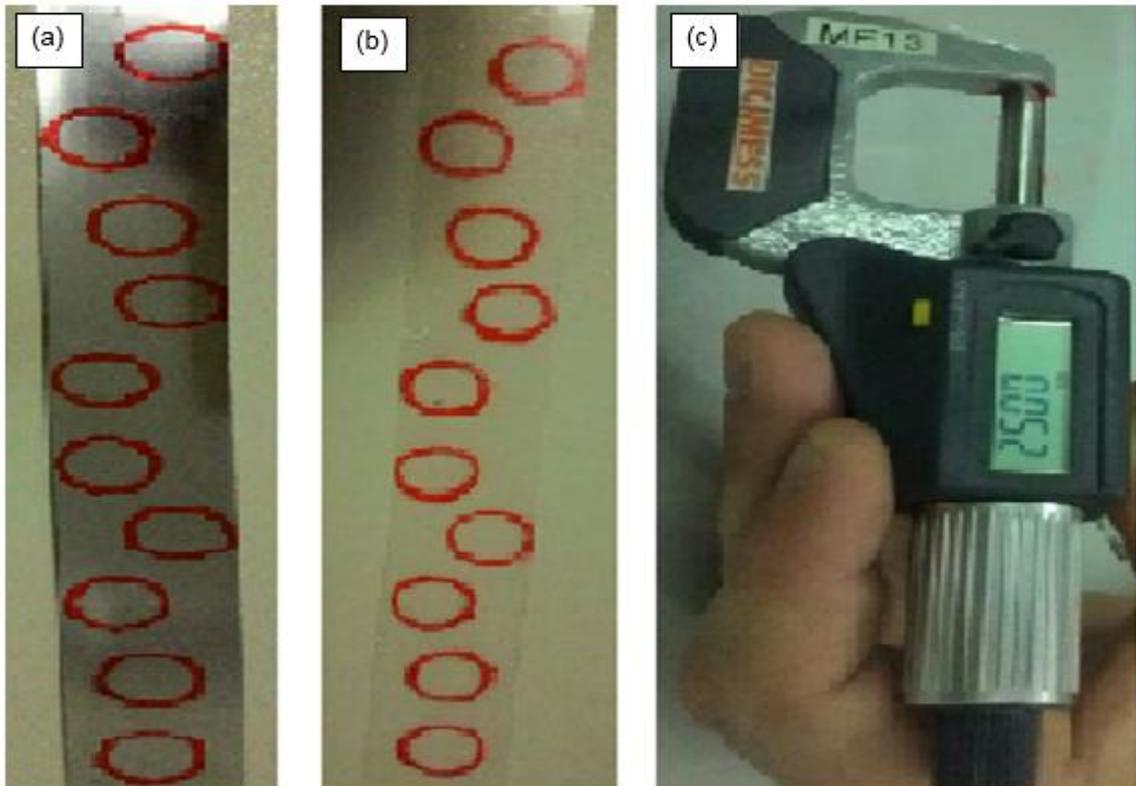
3.2.5.2 Espessura da camada obtida na metalização por in mold label

Para medir a espessura da camada decorativa metálica sobre a superfície do substrato polimérico pelo processo de injeção por *in mold label*, não se seguiu uma norma específica, portanto partiu-se do princípio de que a transferência da camada decorativa metálica da fita para a superfície do substrato polimérico foi total.

A medição foi realizada no laboratório da empresa Akeo industrial, localizada em Bento Gonçalves (RS) com um instrumento de medição, micrômetro digital da marca Digimess, de 0 – 25 mm, calibração controlada e válida até abril de 2018, conforme controle interno de calibração (ME 13), da empresa Akeo Industrial.

Foi medida a espessura da fita ainda com a camada metálica em 10 pontos diferentes que foram demarcados sobre a fita, após a transferência da camada foi medida apenas a fita de Pet transparente, nos mesmos 10 pontos, com o objetivo de minimizar a margem de erros. A Figura 26 apresenta em (a) a fita ainda com a camada metálica e com os pontos de referência a serem medidos demarcados, em (b) a fita de Pet, sem a camada metálica e com os mesmos pontos de referência demarcados, e em (c) o instrumento utilizado para efetuar as medições.

Figura 26 - Fita com os pontos de referência a serem medidos e o instrumento de medição.



Fonte: O Autor (2018).

Para validação do processo de *in mold label* é importante que o mesmo não tenha diferença significativa de cor e/ou brilho com relação ao processo de metalização a vácuo, portanto para avaliar este parâmetro foi realizado uma análise com espectrofotômetro.

3.2.6 Análise de Espectrofotometria

O ensaio foi realizado no laboratório da empresa Akeo Industrial, localizada em Bento Gonçalves (RS), com um equipamento espectrofotômetro da marca Datacolor, número de série C31238, onde o ensaio consiste em efetuar medições em três pontos diferentes do corpo de prova. O equipamento faz uma média entre os pontos e fornece o resultado comparando o corpo de prova obtido através do processo de metalização a vácuo com relação ao corpo de prova obtido pelo processo de metalização por *in mold label*. Para este ensaio foram utilizados três corpos de prova de cada método de metalização estudado. A Figura 27 apresenta o equipamento espectrofotômetro utilizado para leitura e comparação de cor dos

corpos de prova avaliados.

Figura 27 – Espectrofotômetro utilizado para comparação de cor dos corpos de prova.



Fonte: O Autor (2018).

Além de avaliar a tonalidade da camada metálica entre os dois processos abordados, alguns corpos de prova também foram submetidos a ensaios de exposição a agentes químicos, simulando condições de uso no meio doméstico, para verificar possíveis alterações na camada decorativa com relação a: manchas, enrugamento, brilho e alteração na tonalidade após exposição ao uso, comparando a resistência entre os dois processos estudados, tendo em vista que a aplicação final das peças metalizadas será na indústria moveleira, mais precisamente como acessórios para móveis, onde a exposição a produtos de limpeza é constante.

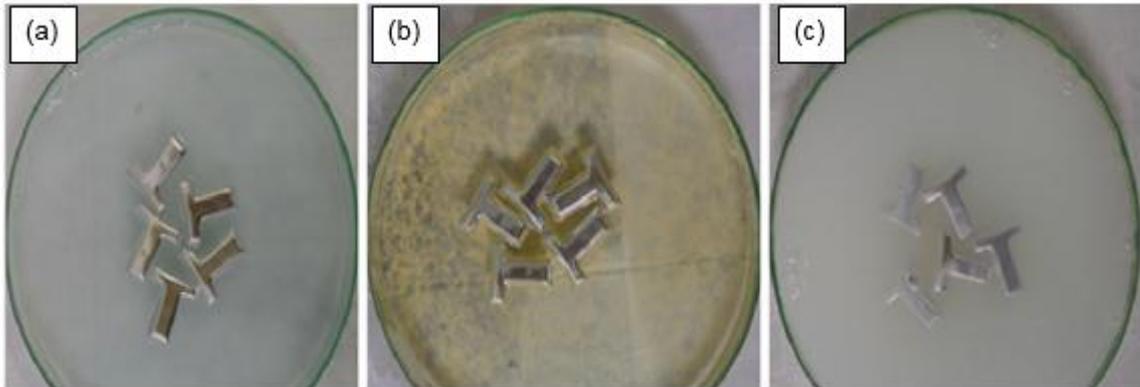
3.2.7 Ensaio de exposição à agentes químicos

Os ensaios de exposição a agentes químicos foram realizados no laboratório da empresa Akeo Industrial, localizada em Bento Gonçalves (RS), e obedeceram os critérios de avaliação da empresa de acordo com a norma interna, ensaios para validação de produtos acabados ILAB 03, revisão 23, de 21/08/2017, atendendo as necessidades e exigências requeridas pelos clientes da indústria moveleira, esta norma tem como base a limpeza doméstica, a qual utiliza diferentes agentes químicos tais como: alvejantes com cloro, limpadores a base de amônia, álcool etílico, detergentes de louça dentre outros. Esta norma foi criada com o objetivo de atender as necessidades dos consumidores. Portanto os corpos de prova foram

imersos por 24 horas nas soluções, Figura 28:

- hipoclorito alvejante de uso doméstico (água sanitária), em (a)
- Agente de limpeza da marca (Veja) em (b);
- Agente de limpeza da marca (Ajax) em (c);

Figura 28 - Imersão em agentes de limpeza para posterior avaliação.



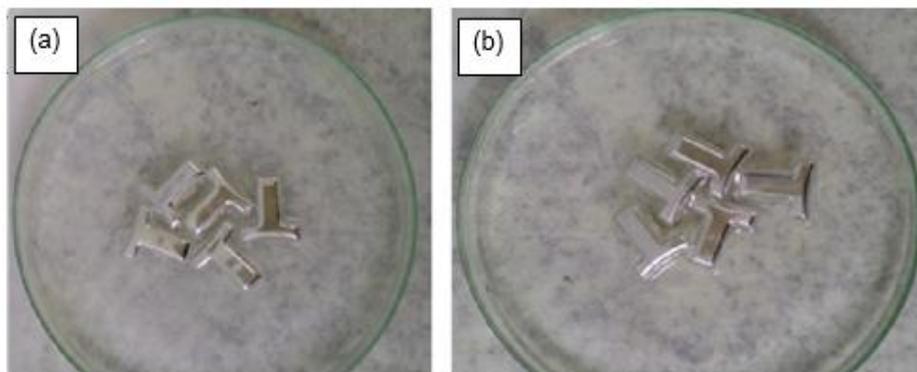
Fonte: O autor (2018).

Os corpos de prova, cinco para cada solução, permaneceram imersos por um período de 24 horas, após decorrido este tempo foram lavados em água corrente, permanecendo em repouso por mais 24 horas.

A avaliação dos corpos de prova será visual, observando-se a ocorrência de agressões ou deslocamento na camada metálica. Também realiza-se o teste de aderência conforme norma ABNT NBR 11003, Figura 29.

A Figura 29 representa os corpos de prova imersos em solução de álcool etílico 96° GL em (a), e solução de detergente neutro em (b).

Figura 29 - Ensaio de imersão ao álcool e detergente neutro.



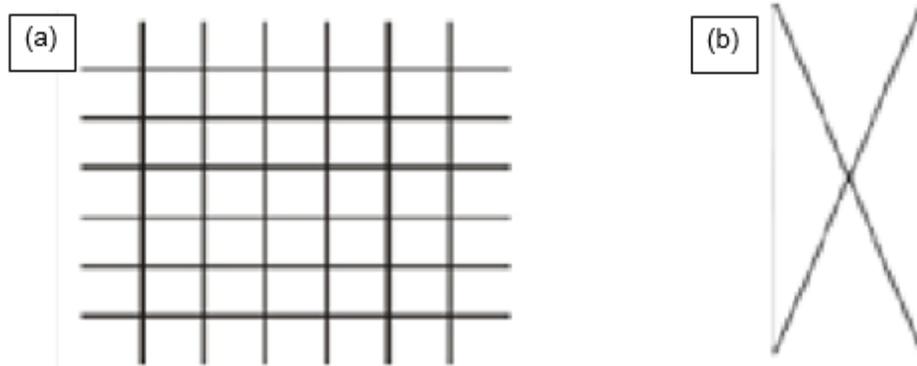
Fonte: O autor (2018).

Em um de seus estudos Deyna (2015, p. 59) também realizou o teste em álcool com o objetivo de analisar se a peça sofreria escamações, esfoliações ou perderia o brilho na situação de limpeza. O procedimento realizado foi aplicar álcool em um pedaço de algodão e friccionar a peça. Após isso, verifica-se como a superfície da peça reagiu ao teste. Este procedimento trata-se de uma técnica simples, mas usual na indústria para avaliação de superfícies metalizadas.

O teste exigido pelos clientes da empresa é semelhante ao citado anteriormente na literatura, porém com maior agressividade, onde além da exposição ao álcool por 24 horas, fez-se adaptação a norma ABNT NBR 11003:2009 utilizando os métodos de cortes em “grade” e em “X”. Para que seja reprovado no teste deve haver deslocamento na região ensaiada conforme as figuras da norma.

Os dois tipos de corte que são abordados pela norma, corte em “grade” e em “X”, e a forma com que eles são realizados será descrito a seguir. A Figura 30 apresenta em (a) um corte em grade e em (b) um corte em X para testes de aderência normatizados.

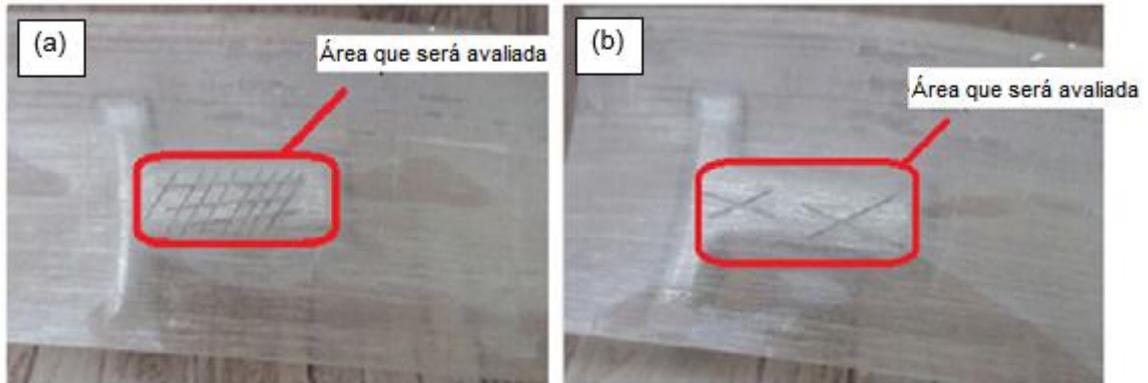
Figura 30 - Representação do corte em grade e corte em X para testes de aderência.



Fonte: ABNT NBR 11003 (2009).

Para cada condição de processamento e ensaio de aderência foi utilizado cinco corpos de prova, a região do corte foi coberta com uma fita adesiva scotch, 3M filamentosa, com 25 mm de largura e espessura de 0,2 mm, normatizada para este tipo de ensaio conforme apresentado na Figura 31, em (a) o corte em grade coberto com a fita e em (b) o corte em X, para logo após efetuar o arrancamento manual da fita fixada sobre os corpos de prova, afim de verificar se houve destacamento da camada metalizada contida no corpo de prova de acordo com as figuras da norma ABNT NBR 11003:2009, que serão apresentadas a seguir.

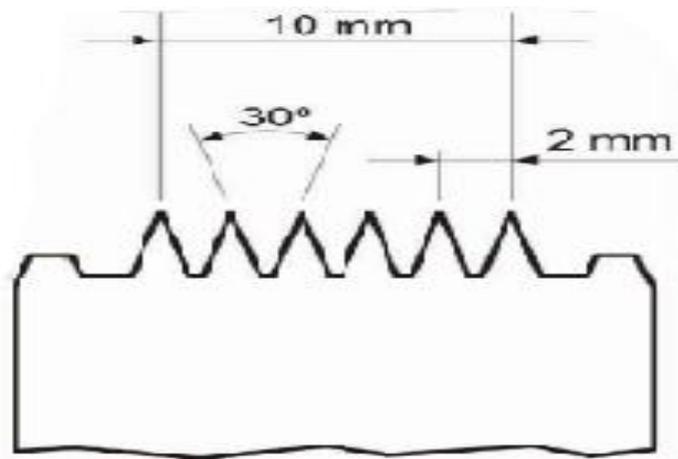
Figura 31 - Fita adesiva aplicada sobre o corte em grade e corte em x.



Fonte: O Autor (2018).

Para realizar o corte em grade deve-se observar o formato, o ângulo e a distância entre os cortes, conforme a Figura 32.

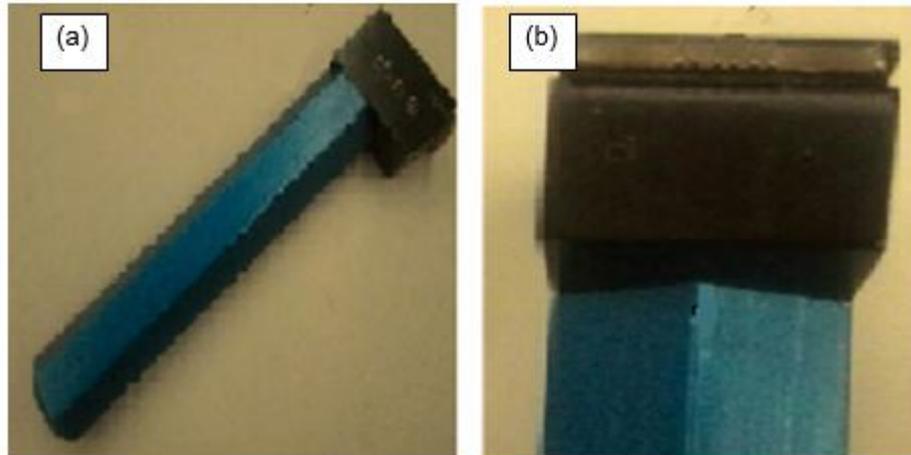
Figura 32 - Formato dos cortes para o teste em grade, com ângulo e distância entre eles.



Fonte: ABNT NBR 11003 (2009).

O corte em grade foi realizado com um instrumento de corte da marca TKB Erichsen conforme Figura 33, que apresenta em (a) o equipamento utilizado para o corte em grade e em (b) as lâminas responsáveis pela execução dos cortes, os cortes devem ser executados com dois movimentos em sentidos contrários em uma região plana do corpo de prova de modo que se forme sobre a superfície a ser avaliada uma grade, a profundidade dos cortes deve ultrapassar a camada metálica e atingir o substrato polimérico de acordo com os limites de corte existentes no dispositivo, para que não haja arrancamento do substrato polimérico.

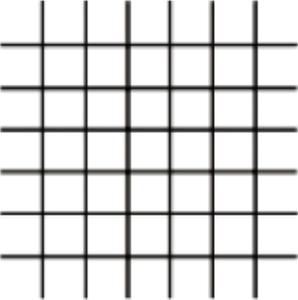
Figura 33 - Equipamento utilizado para o corte em grade e lâminas responsáveis pelo corte.

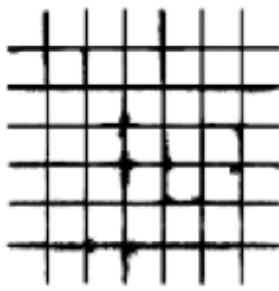
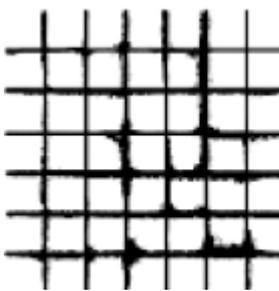
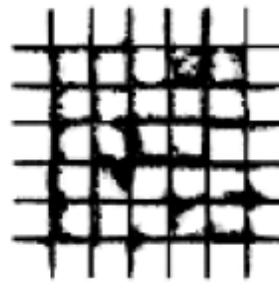
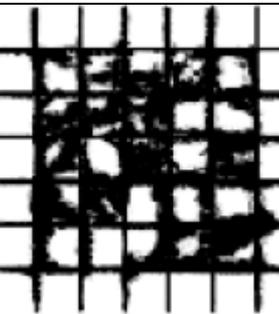


Fonte: O Autor (2018).

A aprovação ou reprovação no teste em grade se dá através de análise comparativa de acordo com o grau de aderência que consta na norma, conforme a Tabela 2 que regulamenta a admissão de deslocamento na região ensaiada de acordo com a norma ABNT NBR 11003:2009, onde em casos de situações intermediárias deve-se considerar o maior valor encontrado. Por exemplo, para resultados entre Gr1 e Gr2, deve ser adotado o maior valor, ou seja Gr2. O limite ideal para aprovação do ensaio é o GR0, onde para aprovação do teste nenhuma área de tinta é destacada do produto.

Tabela 2 - Grau de aderência ilustrado conforme norma, para o teste de corte em grade.

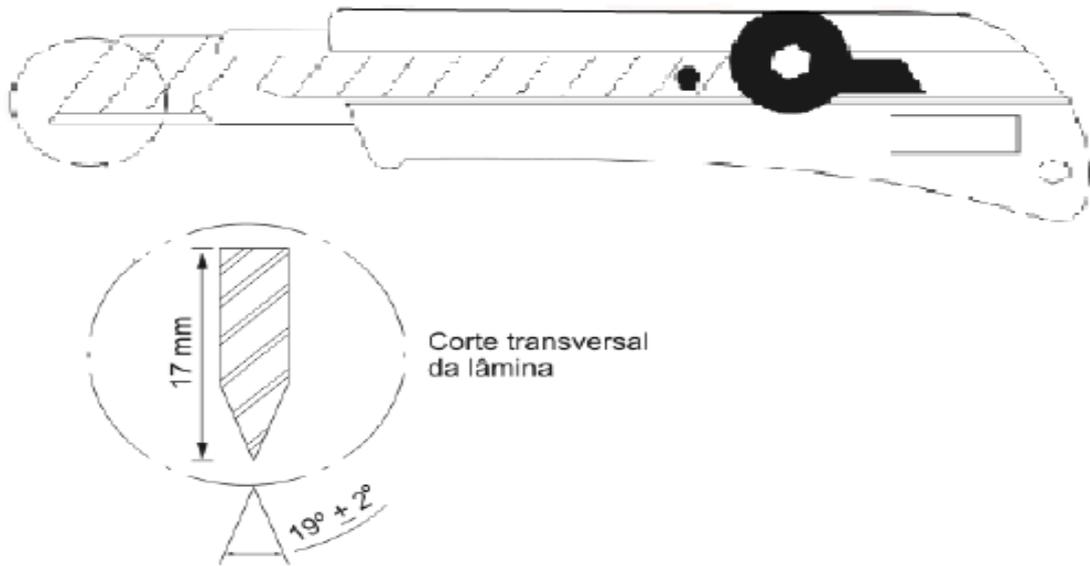
Código	Figura
GR0 - Nenhuma área de película destacada	

<p>GR1 – área de película destacada, cerca de 5 % da área quadriculada</p>	
<p>GR2 – área de película destacada, cerca de 15 % da área quadriculada</p>	
<p>GR3 – área de película destacada, cerca de 35 % da área quadriculada</p>	
<p>GR4 – área de película destacada, cerca de 65 % da área quadriculada</p>	

Fonte: ABNT NBR 11003 (2009).

Já para o corte em X de acordo com a norma deve-se utilizar um dispositivo de corte (estilete) com lâmina de aço de aproximadamente 17 mm de altura e ângulo de corte de $19^\circ \pm 2^\circ$, conforme Figura 34. É importante manter sempre afiadas as bordas cortantes do dispositivo. A força de corte depende da força exercida pela pessoa que irá efetuar o ensaio, e a mesma deve forçar até que a lâmina ultrapasse a camada metálica e atinja o substrato polimérico sem que haja arrancamento de pedaços do polímero, (apenas uma agressão superficial).

Figura 34 - Dispositivo utilizado para o método de corte em X.



Fonte: ABNT NBR 11003 (2009).

Pra este teste da mesma forma que no teste em grade foram ensaiados cinco corpos de prova e a aprovação ou reprovação do teste em X, se dá da mesma forma através de análise comparativo, de acordo com o grau de aderência que consta na norma, conforme a Tabela 3, que regulamenta a admissão de deslocamento na região ensaiada, de acordo com a norma onde o nível de aceitação ideal para aprovação do ensaio é o X_0 , nenhuma área de tinta é destacada do produto.

Tabela 3 - Grau de aceitação da aderência conforme norma, para o teste de corte em X.

Código	Figura
X_0 - Nenhum destacamento ao longo das incisões	
X_1 - Destacamento de até 1mm ao longo das incisões	

<p>X₂ – Destacamento acima de 1 mm até 2 mm ao longo das incisões</p>	
<p>X₃ - Destacamento acima de 2 mm até 3 mm ao longo das incisões</p>	
<p>X₄ – Destacamento acima de 3 mm ao longo das incisões</p>	

Fonte: ABNT NBR 11003 (2009).

Além dos ensaios mencionados até então, também serão realizados ensaios de *salt spray*, simulando intemperismo e envelhecimento por (UV), simulando a exposição a radiação ultravioleta, com o mesmo objetivo de comparar a resistência da camada metálica, obtida pelos dois processos estudados.

3.2.8 Ensaios de névoa salina (*Salt Spray*)

O ensaio acelerado de exposição a névoa salina foi realizado no laboratório da empresa Akeo Industrial localizada em Bento Gonçalves (RS), baseado na norma NBR 8094:1983, este ensaio é utilizado para verificar a resistência à corrosão de materiais revestidos e não revestidos. Avalia-se o comportamento do revestimento e sua resistência a corrosão, que é um processo que pode ser influenciado por vários fatores externos, como a exposição à água e as intempéries. (ABNT NBR 8094:1983, 1983).

Os corpos de prova foram submetidos à corrosão acelerada, sendo pulverizada sobre eles uma névoa de solução salina de NaCl 5%. O procedimento foi realizado segundo as normas NBR 8094 e ASTM B 117. O grau de oxidação na superfície metalizada é dado através da comparação com exemplos visuais, e sua

classificação vai de F0 até F5, que seria o grau mínimo e máximo de enferrujamento, respectivamente. As condições do ensaio estão apresentadas na Tabela 4.

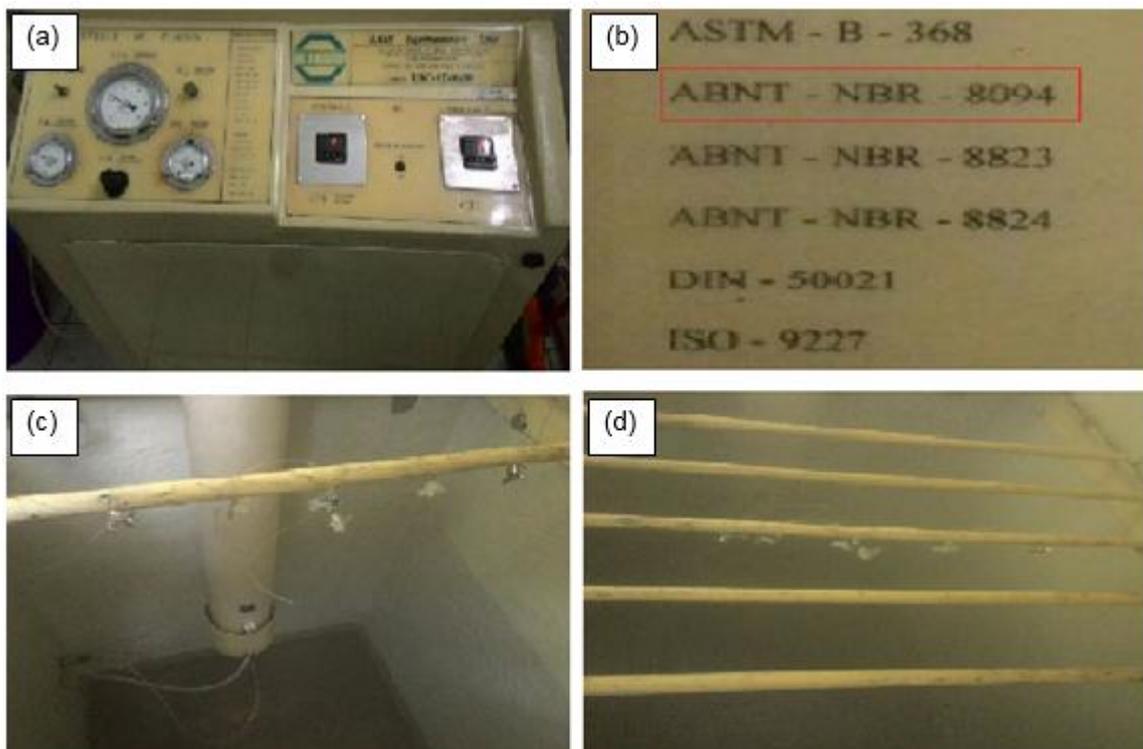
Tabela 4 - Condições do ensaio de névoa salina (salt spray), conforme normas NBR 8094 e ASTM B 117.

Condições do ensaio	
Volume da câmara	500 l
Temperatura	35 ± 2 °C
Concentração de NaCl	25 ± 5 g/l
pH da solução	6,5 - 7,2
Pressão do ar	0,7 - 1,4 kgf/cm ²
Volume condensado para 80 cm ²	$1,5 \pm 0,5$ ml/h

Fonte: O Autor (2018).

A Figura 35 apresenta em (a) o equipamento utilizado para o ensaio de névoa salina, em (b) a norma utilizada para o ensaio, em (c) a disposição das peças na câmara de ensaio e em (d), os corpos de prova recebendo a névoa salina.

Figura 35 - Equipamento de névoa salina e disposição dos corpos de prova na câmara de ensaio.



Fonte: O Autor (2018).

Tanto as peças obtidas pelo processo de metalização a vácuo, como as obtidas pelo processo de metalização por *in mold label*, podem ser utilizadas em

situações de intemperismo, portanto para avaliar esta resistência da camada decorativa foi realizado um ensaio de envelhecimento por ultravioleta (UV), com o objetivo de comparar a resistência aos dois processos estudados simulando condições de intemperismo.

3.2.9 Ensaio de envelhecimento por ultravioleta (UV) simulando intemperismo

O ensaio foi realizado no laboratório de caracterização de Polímeros do Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), sala 313, campus Farroupilha, utilizando-se uma câmara de envelhecimento acelerado C-UV/360 marcas comexim.

Os métodos utilizados seguem a norma:

ASTM G 154 Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials;

BS ISO 4592:2017 Plastics – Determination of Changes in colour and Variation in properties After Exposure to Glass-filtered Solar Radiation, Natural Weathering and Laboratory Radiations Sources;

Para este ensaio foram submetidos quatro corpos de prova. O ensaio foi realizado por um período de 216 horas, com 54 ciclos alternados, de exposição à radiação com lâmpadas UVA/UVB 12 horas por dia e de 12 horas por dia em ciclos de condensação no escuro a uma temperatura de 50°C, e exposição a umidade extrema (80%) com uma temperatura de 40°C, cada ciclo corresponde a 4 horas. Os tempos de exposição e os ciclos dependem do tipo de aplicação para cada material.

As lâmpadas UVA e UVB causam danos aos polímeros e atingem a superfície da terra com certa facilidade, embora a UVB pode ser filtrada pelo vidro das janelas, por exemplo. Para simular a exposição solar na câmara acelerada, lâmpadas (UVA e UVB) podem ser utilizadas, porém o espectro da radiação UVA simula a realidade do espectro da luz solar. As lâmpadas UVB proporcionam maior energia devido ao menor comprimento de onda, enquanto que as lâmpadas UVA proporcionam menor energia devido ao maior comprimento de onda. (FAZENDA, 2005).

As câmaras de intemperismo funcionam associando a luz UV a condições de umidade. Desta forma é possível simular a luz do sol e o orvalho, com variação de

temperatura, pois é sabido que estes agentes naturais provocam alterações significativas nas propriedades químicas e mecânicas dos materiais. A Figura 36 apresenta o equipamento utilizado para o ensaio de envelhecimento UV.

Figura 36 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de envelhecimento Ultravioleta.



Fonte: O Autor (2018).

A Figura 37 apresenta os corpos de prova fixados na câmara de envelhecimento UV, com as 8 lâmpadas (4 de cada lado) responsáveis por emitir (irradiar) a luz UV.

Figura 37 - Corpo de prova na câmara de ensaio UV, e lâmpadas ultravioleta.



Fonte: O Autor (2018).

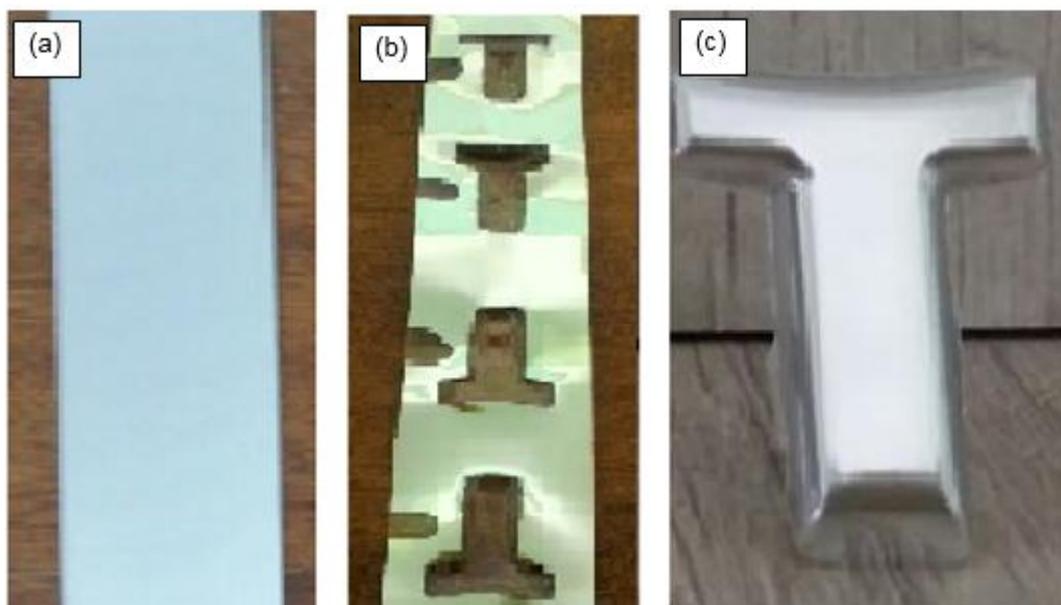
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta sessão serão apresentados os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova injetados com o polímero ABS, que receberam metalização a vácuo, comparando com os corpos de prova que receberam a camada metálica pelo processo de injeção por *in mold label*, com o objetivo de avaliar a resistência entre os dois processos, para então validar a substituição do método de metalização proposto.

4.1 ANÁLISE VISUAL DO CORPO DE PROVA INJETADO

Após a injeção dos corpos de prova já metalizados utilizando-se o processo *de in mold label*, percebe-se que toda a metalização contida na fita se transferiu para a superfície do produto, não deixando deposição metálica alguma sobre a fita, obtendo-se desta forma uma transferência total da camada metálica para a superfície do produto. Na Figura 38 é possível visualizar em (a), a fita metalizada antes da injeção, em (b), a fita após o ciclo de injeção onde já ocorreu a transferência da camada decorativa metálica, e em (c) o corpo de prova com a camada metálica aderida sobre sua superfície.

Figura 38 – Imagem da fita antes e após a injeção do polímero e a peça com a metalização aplicada.



Fonte: O Autor (2018).

4.2 MEDIDA DA ESPESSURA DA CAMADA DECORATIVA

Os resultados da medida de espessura da camada decorativa metálica em ambos os processos, pode ser visualizada neste capítulo, através da Tabela 6, que apresenta o resultado final da espessura da camada metálica em microns (μm) obtida nos dois métodos de metalização estudados.

4.2.1 Medida da espessura metalização a vácuo X espessura metalização por *in mold label*

A espessura da camada do filme decorativo metálico obtido sobre a superfície do substrato polimérico para o processo de metalização a vácuo é a soma da camada de verniz pré mais a camada do verniz pós, obtida através da medição em 5 pontos sobre a chapa metálica, com o instrumento de medida de camada da marca Fischer, onde o mesmo fornece o valor da espessura média destas camadas, conforme a norma ABNT NBR 10443 / 2008, mais a espessura da camada metálica que é obtida através da diferença das médias das 3 medidas, da chapa com a camada metálica em relação a chapa sem a camada de metalização. Estas medidas estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2 no ANEXO 2.

A espessura da camada metálica transferida para a superfície do substrato polimérico (peça), pelo processo de metalização por *in mold label*, é a diferença da média das 10 medidas da espessura da fita contendo a camada metálica, com relação a média das 10 medidas da fita transparente, sem a camada metálica medidos com um micrômetro nos mesmos pontos de referência e na mesma bobina de fita, em que foi realizado todos os ensaios para minimizar a margem de erro. A Tabela 3 no ANEXO 2 apresenta o resultado das medidas obtidos nos 10 pontos.

A Tabela 5 apresenta o resultado das médias e desvio padrão obtidos através das medidas da espessura apenas da camada metálica para o processo de metalização a vácuo e para o processo de metalização por *in mold label*, desta forma é possível evidenciar que as medidas obtidas são confiáveis uma vez que o desvio obtido nas medidas é igual a zero, porém insignificantes para esta análise.

Tabela 5 - Média e desvio padrão da espessura da camada metálica para os dois processos estudados.

Média e desvio padrão das medidas da espessura da camada metálica para os processos de metalização a vácuo e <i>in mold label</i>.					
Processo de Metalização a vácuo	Média das 3 medidas	Desvio padrão	Processo de metalização por <i>in mold label</i>	Média das 10 medidas	Desvio padrão
Chapa com a camada metálica (mm) (A)	0,802	0,001	Fita com a camada metálica (mm) (A)	0,058	0,000
Chapa Sem a camada metálica (mm) (B)	0,800	0,001	Fita sem a camada metálica (mm) (B)	0,051	0,000
Espessura da camada metálica (mm) (A – B)	0,002	–	Espessura da camada metálica (mm) (A – B)	0,007	–

Fonte: O Autor (2018).

A Tabela 6 apresenta o resultado final da espessura da camada decorativa metálica para o processo de metalização a vácuo e metalização e por *in mold label*, para fins comparativo. Desta forma é possível visualizar que a camada obtida pelo processo decorativo *in mold label* é 3,5 vezes menor que a camada obtida pelo processo de metalização a vácuo. Para Fazenda (2005) a espessura é um parâmetro importantíssimo para se iniciar qualquer trabalho com análise de superfícies decoradas, pois afeta a maioria dos ensaios que serão realizados.

Tabela 6 - Resultado final da espessura para os dois processos estudados.

Resultado final da espessura da camada metálica				
Processos Avaliados	Espessura da camada			
	Camada de verniz pré (μm)	Camada de metalização (μm)	Camada de verniz pós (μm)	Total da camada (μm)
Metalização à vácuo	15,6	2,0	6,6	24,2
Metalização por <i>in mol label</i>	Média da espessura da fita cromada (μm)	Média da espessura da fita transparente (μm)	–	7,0
	58,2	51,2		

Fonte: O Autor (2018).

Segundo Mattox (2003) em seu livro fundamentos do recobrimento a vácuo no capítulo referente ao processo de deposição, destaca a importância de se obter uma camada uniforme e com uma espessura superior a 500 nm, ao observarmos a

Tabela 6 percebe-se que ambos os processos atendem as exigências mínimas estuda por este pesquisador, garantindo assim um ótimo aspecto visual, com um bom brilho metálico e provavelmente com resistências físicas e químicas adequadas.

Por se tratar de um substrato polimérico, foi aplicada uma pré camada de verniz antes da metalização a vácuo, com o objetivo de garantir que a camada metalizada tivesse uma melhor aderência como destaca a empresa KJ Springs em seus estudos. Também para melhorar o aspecto visual, e com objetivo de proteção da camada decorativa metálica, foi aplicado uma camada de verniz após a camada metálica, como apresenta Pascoal (2016, p. 56) em seus estudos.

4.3 ANÁLISE DE ESPECTROFOTOMETRIA

Para analisar a variação de cor entre os processos de metalização a vácuo e metalização por *in mold label*, foi utilizado o sistema CIE LAB, através da leitura com espectrofotômetro. Conforme mencionado por Bertolini (2010) na literatura, e apresentado através da Figura 16 onde o (L^*) representa o valor de luminosidade enquanto que (a^*) pode variar do verde para o vermelho e (b^*) do amarelo para o azul, já os resultados de (C^* e H^*) saturação e tonalidade respectivamente não são levados em consideração por este sistema de análise. Os resultados obtidos através desta análise para os corpos de prova, dos dois processos de metalização estudados, são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para os corpos de prova no processo de metalização a vácuo.

Tabela 7 - Resultado das leituras obtidas para o processo de metalização a vácuo.

Processo de metalização a vácuo (STANDARD)					
III/Obs	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*
1	93,70	-0,48	-0,64	0,80	233,49
2	93,59	-0,68	-0,81	1,06	230,21
3	93,65	-0,31	-0,75	0,81	247,40

Fonte: O Autor (2018).

A leitura obtida pelo espectrofotômetro para o processo de metalização a vácuo, apresenta os resultados de luminosidade, (L^*) para cor clara, tonalidade

esverdeada (- a*) e azulada (- b*), nos 3 corpos de prova analisados. A Tabela 8 apresenta os resultados das leituras obtidas para os corpos de prova no processo de metalização por *in mold label*.

Tabela 8 - Resultado das leituras obtidas para o processo de metalização por *in mold label*.

Processo de metalização por <i>in mold label</i>					
III/Obs	\underline{L}^*	\underline{a}^*	\underline{b}^*	\underline{C}^*	\underline{h}
1	89,95	-0,49	-0,46	0,68	223,16
2	89,85	-0,64	-0,63	0,90	224,56
3	89,98	-0,42	-0,49	0,64	229,71

Fonte: O Autor (2018).

A leitura obtida pelo espectrofotômetro para os corpos de prova metalizados pelo processo de *in mold label*, evidencia uma tonalidade semelhante a leitura anterior obtida para os corpos de prova padrão (Metalização a vácuo), onde: (L^*) luminosidade apresentou uma cor clara, a tonalidade esverdeada (- a*) manteve-se semelhante, a tonalidade azulada (- b*) também manteve-se, nos 3 corpos de prova analisados. A Tabela 9 apresenta a variação da cor através do delta obtido na comparação dos corpos de prova do processo de *in mold label* em relação ao padrão metalização a vácuo.

Tabela 9 - Resultado da leitura de variação de cor apresentada pelos dois processos estudados.

Valores obtido para o Delta dos dois processos estudados						
III/OBS	\underline{DL}^*	\underline{Da}^*	\underline{Db}^*	\underline{DC}^*	\underline{DH}^*	\underline{DE}^*
D65 10 Deg (Luz do Dia)	-3,75	-0,02	0,18	-0,13	-0,13	3,76
A10 Deg (Luz Incandescente)	-3,74	0,04	0,18	-0,16	-0,10	3,75
F02 10 Deg (Luz Fluorescente)	-3,68	-0,11	0,26	-0,17	-0,22	3,69

Fonte: O Autor (2018).

Através da análise espectrofotométrica analisada sobre o luminante D65 Deg (Luz do dia), podemos afirmar que a metalização obtida através do processo de *in mold label*, apresenta a cor da camada decorativa metálica mais escura (\underline{DL}^* - 3,75), tonalidade esverdeada migrando para o vermelho (\underline{Da}^* -0,02), e para o

amarelo ($Db^* 0,18$), cores mais quentes.

Sobre o luminante A10 Deg (Luz incandescente), a camada metálica obtida pelo processo de *in mold label*, mantêve-se também mais escura ($DL^* -3,74$) tonalidade esverdeada migrando para o vermelho ($Da^* 0,04$), e a tonalidade do amarelo ($Db^* 0,18$), mantêve-se, cores mais quentes.

Sobre o luminante F02 Deg (Luz fluorescente), a camada decorativa metálica continua mais escura ($DL^* -3,68$), a tonalidade se mantém esverdeada ($Da^* -0,11$), e para o amarelo ($Db^* 0,26$), cores mais quentes.

Concluindo os resultados obtidos entende-se que a luminosidade para o processo de metalização por *in mold label*, obteve um valor mais baixo (com tendência mais ao escuro) portanto isso é algo compreensível devido a camada decorativa metálica para este processo ter menor espessura, já por outro lado os resultados em (Da^*) e (Db^*), não são relevantes tendo em vista que quando o Delta for menor que 1 o olho humano não consegue visualizar tal diferença.

De acordo com os valores apresentados para o DE^* entende-se que o processo de *in mold label*, apresenta uma diferença que pode ser visualizado pelo olho humano, o fator que contribuiu para este resultado está relacionado com o valor de (L^*) luminosidade onde existe uma tendencia ao escuro. Mas para a aplicação desejada não é um fator que irá inviabilizar o projeto, tendo em vista que a substituição do processo de metalização trará benefícios significativos referentes a custos. O resultado completo obtido pela análise consta no laudo do ANEXO 3.

4.4 ENSAIOS DE EXPOSIÇÃO À AGENTES QUÍMICOS

Os resultados dos ensaios de imersão em solução de hipoclorito de sódio e em imersão à agentes de limpeza da marca “Veja” e “Ajax” estão representados na Tabela 10. Que apresenta a avaliação da resistência da camada metálica em exposição a agentes químicos, onde “A” significa que o ensaio está “Aprovado” e “R” significa que o ensaio está “Reprovado”.

Tabela 10 - Avaliação da resistência da camada metálica em exposição a agentes químicos.

Avaliação da resistência em exposição a agentes químicos						
Processos avaliados	Transferência da metalização	Espessura da camada (μm)	Exposição a agentes químicos			
			Manchas	Enrugamento	Brilho	Tonalidade
Metalização à Vácuo	Total	24,2	A	A	A	A
Metalização por <i>in mold label</i>	Total	7,0	A	A	A	A

Fonte: O Autor (2018).

Segundo Bellincanta et al. (2011, p. 230) a determinação da resistência química é muito importante pois os substratos passam por condições de uso e limpeza, que podem ser realizados por produtos químicos tais como: água sanitária, álcool, detergentes, etc., estes produtos podem danificar a superfície decorada do substrato causando má aparência, com o passar do tempo e frequência de exposição.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos, para ambos os processos, metalização a vácuo e injeção por *in mold label*, após a exposição a agentes químicos. Os resultados demonstram que não ocorreram perdas significativas no efeito decorativo das amostras, o fator que auxilia para este desempenho pode estar relacionado com os resultados de espessura da camada que possivelmente contribuíram de forma positiva com a resistência a estes agentes químicos, fato já mencionado por Mattox (2003), quando cita a importância mínima da espessura da camada metálica, para tal resistência fato que neste trabalho atende a exigência requerida pelo pesquisador, em ambos os processos abordados.

No Quadro 1 é possível observar que independente do processo utilizado para decoração, não ocorreu um ataque significativo na aparência do substrato, e quando comparados entre si não se observa variação no aspecto visual dos corpos de prova.

Quadro 1 - Resultados da exposição em agentes de limpeza após 24 horas.

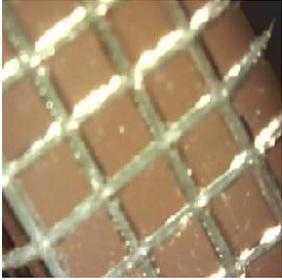
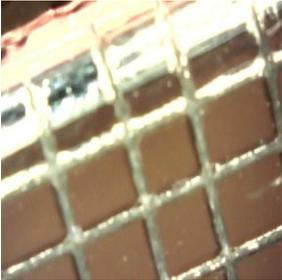
Solução de imersão	Resultado metalização à vacuo	Resultado metalização <i>in mold label</i>
Solução de hipoclorito		
Agente de limpeza marca Veja		
Agente de limpeza marca Ajax		

Fonte: O Autor (2018).

4.5 EXPOSIÇÃO A AGENTES QUÍMICOS ASSOCIADOS AO TESTE DE ADERÊNCIA

Os resultados apresentados nos Quadros 2 e 3 referem-se ao desempenho dos corpos de prova, através da norma ABNT NBR 11003. As amostras antes de serem submetidas ao teste de aderência permaneceram imersas em uma solução de álcool etílico e detergente neutro por 24 horas. Em cada uma das soluções foi colocado 5 corpos, onde 2 deles foram submetidos aos cortes em “grade” e corte em X. Este ensaio também foi realizado por Deyna (2015, p. 78 e 79), que também avaliou a adesão da camada metálica ao substrato ABS através da norma ABNT NBR 11003. Os resultados indicam a aderência, e a adesão superficial da camada metálica ao substrato ABS. O Quadro 2 apresenta os resultados do ensaio de aderência para o processo de metalização a vácuo.

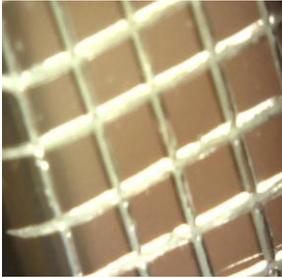
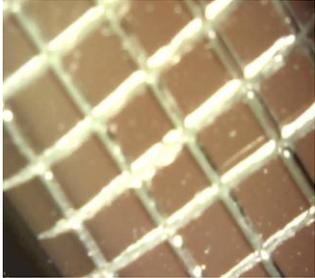
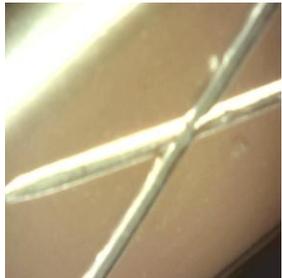
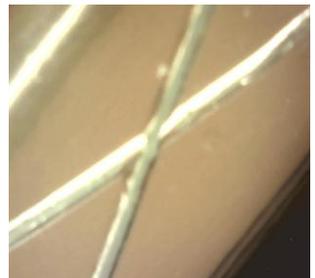
Quadro 2 - Resultado dos ensaios em imersão ao álcool etílico e solução de detergente neutro, associados ao teste de aderência antes e após da aplicação da fita.

Ensaio de aderência associados a teste de deslocamento antes e após a aplicação da fita para o processode metalização a vácuo				
Solução de imersão	Espessura (µm)	Metalização a vácuo, antes do teste de aderência com a fita	Metalização a vácuo, após o teste de aderência com a fita	Avaliação final
Álcool etílico 96° GL P.A	24,2			GR₂
				X₂
Solução de detergente neutro	24,2			GR₃
				X₃

Fonte: O Autor (2018).

Os resultados observados no Quadro 2 mostram que o processo de metalização a vácuo, apresenta deficiência na adesão da camada metálica ao substrato ABS. Quando as amostras foram imersas em álcool em ambos os métodos de cortes utilizados, ocorreu deslocamento da camada metálica, o mesmo acontecendo quando se analisa os resultados dos corpos de prova imersos na solução de detergente neutro com resultados de deslocamento de GR₃ e X₃. Provavelmente, o deslocamento ocorreu devido ao ataque das soluções ao verniz pré, as quais assumiram o papel de solventes para o verniz, outra possibilidade é que pode ter ocorrido falha na preparação da superfície dos substratos, pois é sabido que em pintura sobre polímeros a preparação do substrato é fundamental para se obter sucesso no processo de aderência (LI et al. 2015, p. 48 e CHARBONNIER, ROMAND, GOEPFERT, 2006). O Quadro 3 apresenta os resultados do mesmo ensaio para o processo de metalização através da tecnologia proposta neste trabalho *in mold label*.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios de imersão em álcool etílico e solução de detergente neutro, associados ao teste de aderência antes e depois da aplicação da fita.

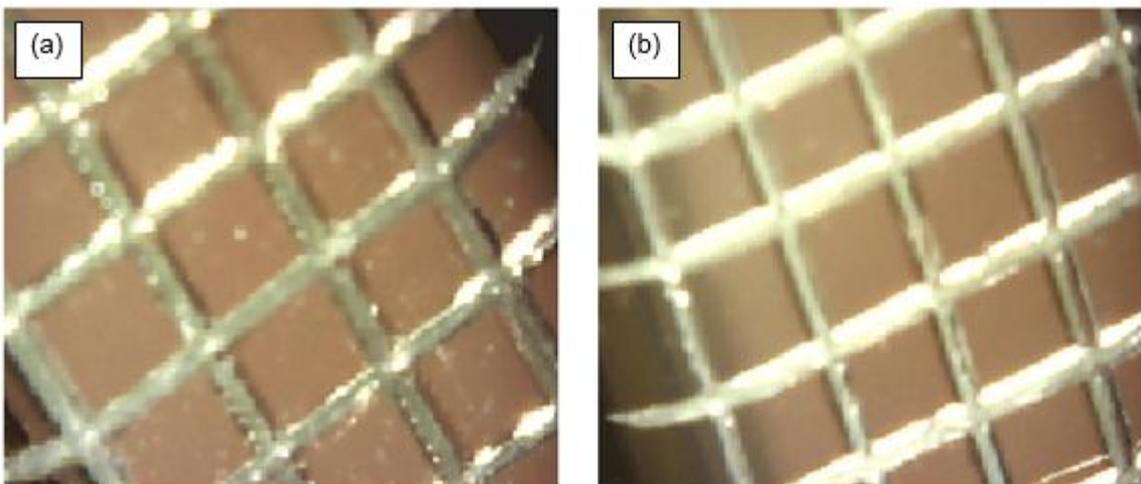
Ensaio de aderência associados a teste de deslocamento antes e após a aplicação da fita para o processo de metalização por in mold label				
Solução de imersão	Espessura (µm)	Metalização por <i>in mold label</i>, antes do teste de aderência com a fita	Metalização por <i>in mold label</i>, após o teste de aderência com a fita	Avaliação final
Álcool etílico 96° GL P.A	7,0			GR ₁
				X ₀
Solução de detergente e neutro	7,0			GR ₀
				X ₀

Fonte: O Autor (2018).

Ao se analisar os resultados obtidos nos testes de aderência após a imersão em soluções de álcool e de detergente neutro para as amostras que receberam o processo de metalização *in molde label* se observa no Quadro 3, que apesar da camada ser de menor espessura os resultados foram significativamente melhor que os obtidos nas amostras que receberam a metalização convencional (vácuo). Segundo (Larpsuriyakul; Fritz, 2011, p. 412) no processo de *in mold label* a resina polimérica, por estar no estado fundido quando entra na cavidade de injeção, e tem o contato com o substrato decorativo que se encontra também na cavidade do molde, formam uma peça única onde a adesão ocorre por contato de fusão entre os materiais. Sendo assim a aderência ocorre de forma física, e não ativação química como ocorre nos processos convencionais de adesão. De acordo com Murakami (2009, p. 14 e 15), a aderência de uma camada metálica sobre um substrato de ABS pós injeção, também está relacionada e dificultada pela tensão residual obtida na superfície do produto devido a pressão de injeção e/ou recalque, tempo de recalque e também geometria da peça.

Na figura 39 é possível ver com nitidez que ocorre uma diferença entre os cortes realizados, na camada metálica obtida pelo processo de metalização a vácuo onde os cortes apresentam-se mais salientes, enquanto que na camada metálica obtida pelo processo de *in mold label*, os cortes são menos evidentes, isso pode estar relacionado com a diferença da espessura, da camada metálica entre os dois processos estudados, onde a mesma já foi constatada em análises anteriores.

Figura 39 – Imagem da diferença de espessura dos cortes entre os dois processos estudados.



Fonte: O Autor (2018).

SALMORIA et al. (2007), realizaram teste de cortes sobre áreas decoradas, e evidenciaram que a espessura da camada decorativa pode influenciar as análises de aderência, como observado nos quadros 2 e 3, onde o processo de *in mold label* apresentou melhores resultados, possivelmente devido a sua camada de deposição ser 3,5 vezes menor que o processo de metalização a vácuo.

4.6 RESULTADO DO ENSAIO DE NÉVOA SALINA (*SALT SPRAY*)

O resultado do ensaio permitiu observar que após 192 horas de exposição em névoa salina, os corpos de prova obtidos pelo processo de metalização a vácuo e pelo processo de metalização por *in mold label*, não apresentaram nenhum tipo de corrosão ou degradação da camada metálica. Não houve enferrujamento e a classificação de ambos os corpos de prova não passou de (F0).

Martins Gomes (2016, p. 58 e 59) avaliou através do ensaio de névoa salina (*salt spray*), a funcionalidade de peças revestidas com filmes de alumínio em materiais poliméricos. O objetivo do ensaio foi avaliar de forma rápida o processo corrosivo, simulando a pior condição, (atmosfera marítima). Através do ensaio realizado pelo pesquisador, foi possível verificar que com 36 horas de exposição as amostras não apresentaram nenhum tipo de corrosão ou degradação do filme metálico, para esta situação estudada foi utilizado este tempo devido a necessidade de aplicação do produto e tempo disponível para o ensaio.

O resultado obtido neste trabalho é satisfatório, tendo em vista que a espessura da camada metálica obtida pelo processo de metalização por *in mold label* é 3,5 vezes menor. Mesmo assim a mesma não sofreu agressão, fato capaz de comprovar que sua resistência atende os requisitos para substituir o processo de metalização a vácuo, sem perdas de qualidade da camada metálica conforme laudo técnico de conformidade no ANEXO 4. A Tabela 12 apresenta o resultado do grau de enferrujamento seguindo as normas NBR 8094 e ASTM B 117, onde (F0 - Grau Mínimo e F5 - Grau Máximo) de enferrujamento no ensaio acelerado de *salt spray*.

Tabela 11 - Resultado do grau de enferrujamento onde (F0 - Grau Mínimo e F5 - máximo).

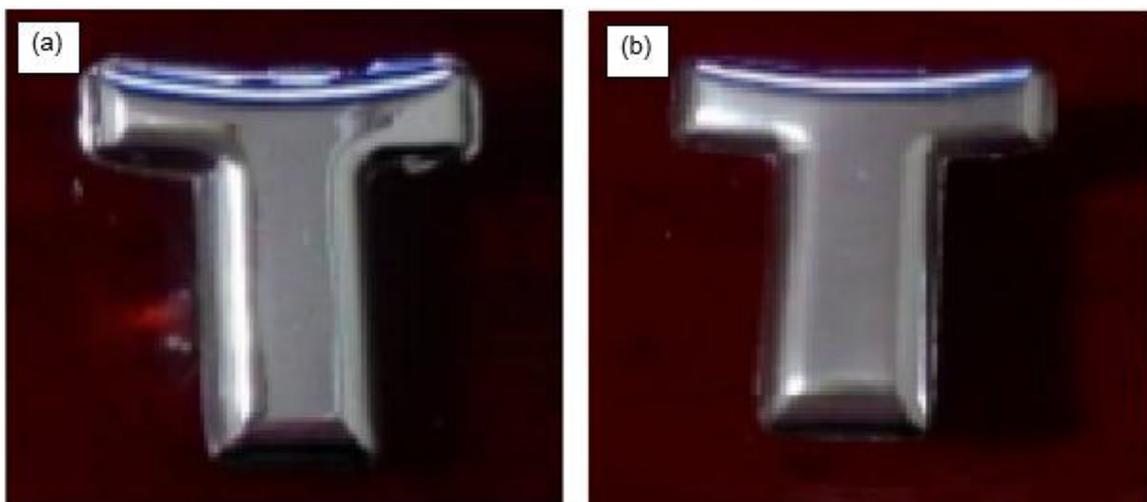
Névoa Salina (<i>salt spray</i>)									
Corpos de prova	Espessura Média (μm)	Grau de Enferrujamento							
		24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h	192 h
Metalização a Vácuo	24,2	F0	F0	F0	F0	F0	F0	F0	F0
Metalização por <i>in mold label</i>	7,0	F0	F0	F0	F0	F0	F0	F0	F0

Fonte: O Autor (2018).

4.7 RESULTADO DO ENSAIO DE ENVELHECIMENTO POR ULTRAVIOLETA (UV) SIMULANDO INTEMPERISMO

Os corpos de prova foram submetidos ao envelhecimento UV, segundo norma ASTM G154, por um período de 216 horas, a Figura 40 apresenta em (a) a peça padrão para o processo de metalização a vácuo e em (b) para o processo de *in mold label* que foram armazenados como padrão de cor para fins comparativo após o ensaio.

Figura 40 - Padrão de cor obtido para os dois métodos de metalização.



Fonte: O Autor (2018).

O Quadro 4 apresenta os resultados do envelhecimento UV, segundo norma ASTM G154, após 216 horas de exposição.

Quadro 4 - Resultado do envelhecimento UV nos dois processos estudados.

Tempo de exposição (horas)	Resultado metalização à vacuo	Resultado metalização <i>in mold label</i>
72		
144		
216		

Fonte: O Autor (2018).

Neste trabalho os corpos de prova foram submetidos a envelhecimento acelerado conforme a norma ASTM G 154 com lâmpadas UVA/UVB 12 horas por dia e de 12 horas por dia de ciclos condensação no escuro, até que se observasse alterações no substrato. Após 72 horas de exposição, observa-se uma pequena variação na tonalidade, um pequeno amarelamento do corpo de prova decorado pelo processo de *in mold label*, provavelmente devido a fina camada metálica, uma vez que a resina de ABS se caracteriza com esta tonalidade. Já na metalização a vácuo, não se observa alterações, provavelmente devido a espessura da camada metálica ser 3,5 vezes maior. Em seu estudo Bruno (2018, p. 94), conclui que a mudança de tonalidade não é facilmente relacionada com a degradação superficial. Embora seja uma análise complexa, pode-se afirmar que a radiação UVA tem uma grande influência nas variações de cor dos filmes poliméricos, pois mesmo sendo menos agressiva à superfície, ela causa uma maior mudança de cor.

Com 144 horas de exposição se observa um aumento no ton amarelado das

peças recobertas pelo processo de *in mold label*, e as peças do processo de metalização a vácuo apresentam pontos de oxidação. Após 216 horas expostas, as peças obtidas através do processo de *in mold label* não apresentam mais a camada metálica, predominando o tom amarelado, nas peças obtidas pelo processo de metalização a vácuo, se observou a evolução dos pontos de oxidação. Ambos os processos podem ser considerados resistentes ao envelhecimento acelerado se compararmos com o trabalho de Sanchez, Silva e Sánchez (2005, p. 721) que estudaram o envelhecimento UV em corpos de prova metalizados, e corpos de prova sem a camada metálica, segundo a norma ASTM G 53, com lâmpadas UV por 22 h/d e ciclos de condensação de 2 h/d no escuro, por diferentes tempos. Eles constataram que a camada de metalização protege a superfície do substrato polimérico conferindo-lhe maior resistência e estabilidade se comparado ao ABS sem metalização.

Observaram então que o material metalizado apresenta um aumento na resistência ao envelhecimento, enquanto que o ABS natural sem a camada metálica apresenta um acentuado aumento no índice de amarelecimento, com o passar do tempo em exposição. Isso explica o fato dos corpos de prova obtidos pelo processo de *in mold label* com uma camada metálica menor, ter menos resistência ao ensaio, mas não suficiente para reprovar a substituição do processo proposto.

5 CONCLUSÕES

O processo de *in molde label* proposto, atingiu o objetivo de substituir o processo de metalização a vácuo em peças pequenas, mesmo com a adaptação realizada no processo de injeção. Os resultados mostraram que as peças ensaiadas de ambos os processos estudados, se comportaram em quase todas as avaliações muito próximas, somente apresentando uma deficiência no brilho, mas quando avaliou-se a aderência dos substratos os valores obtidos para o processo proposto foram melhores.

Com relação a espessura da camada metálica ficou evidente nas caracterizações realizadas que o método de metalização proposto possui uma camada decorativa menor, causando uma pequena diferença na tonalidade da metalização, esta diferença foi detectada pela análise espectrofotométrica.

A camada metálica praticada pelo processo de *in mold label*, mostrou-se viável quando os corpos de prova foram submetidos a ensaios comparativos de resistência com relação a exposição a agentes de limpeza, aderência e situações adversas de uso no dia-dia, como *salt spray*, e envelhecimento UV, obtendo-se nestes ensaios um resultado satisfatório e até melhores que o processo de metalização a vácuo. Fato que nos dá segurança em substituir o método de metalização, sem perdas de resistência da camada metálica quando expostas em ambientes agressivos, e ainda com ganhos de produtividade onde eliminará várias etapas que o processo de metalização a vácuo exige.

REFERÊNCIAS

ABNT - ENSAIO DE CORROSÃO POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8094. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT NBR - TINTAS E VERNIZES DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE PELÍCULA SECA SOBRE SUPERFÍCIES. NBR 10443, Segunda Edição, 2008.

ABNT -: TINTAS - DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11003 Rio de Janeiro, 2009.

ASTM G 154 - STANDARD PRACTICE FOR OPERATING FLUORESCENT ULTRAVIOLET (UV) LAMP APPARATUS FOR EXPOSURE OF NONMETALIC MATERIALS.

BS ISO 4592:2017 Plastics – DETERMINATION OF CHANGES IN COLOUR AND VARIATION IN PROPERTIES AFTER EXPOSURE TO GLASS-FILTERED SOLAR RADIATION, Natural Weathering and Laboratory Radiations Sources

ALBUQUERQUE, J. **Planeta plástico, tudo o que você precisa saber sobre plástico**, Porto Alegre, Sagra Luzzato, 2000.

ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias. 2012, p. 7-15. Monografia(Especialização em construção civil)** - Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG: 2012.

AZAMAN, M. D. et al. Optimization and Numerical Simulation Analysis for Molded Thin-Walled Parts Fabricated Using Wood-Filled Polypropylene composites via Plastic Injection Molding. **Polymer engineering and Science**, p. 1083-1095, 2015.

BALAMURUGAN, G. P. et al. Thermal wrinkling behavior of formable decorative film laminates. **Journal of Plastic Film & Sheeting**, v. 33(3), p. 290–308, 2017.

BEIL, S. et al. Photochemical functionalization of polymer surfaces for subsequent metallization. **Surface and Coatings Technology**, v. 116–119, p. 1195–1203, 1999.

BELLINCANTA Tatiane; POLETTO Patrícia; THÜRMER Mônica B.; DUARTE Jocelei; TOSCAN Andréia; ZENI Mára, Preparação e Caracterização de Membranas Poliméricas a partir da Blenda Polissulfona/Poliuretano, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, UCS, **Polímeros**, vol. 21, nº 3, 2011.

BERTOLINE, Cristiano, **sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro**, Centro de ciências exatas e naturais, Universidade Regional de Blumenau, 2010

BIASOTO, H. M.; MENDES, L. C., **Introdução a polímeros**, São Paulo: Edgard Blücher LTD, 1999.

BRUNO, Giovanni Urruth, **Avaliação Da Degradação Natural e Acelerada de Revestimentos Orgânicos**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGE3M, Porto Alegre, 2018.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CANEVAROLO, S. V. J., **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2006.

CAVALHEIRO, A. Z. **Influência dos parâmetros de moldagem na estrutura e propriedades de peças de paredes espessas e finas de polipropileno isotático injetadas em moldes-protótipo fabricados por vazamento de resina epóxi**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2007.

CHARBONNIER, Marlene; ROMANDA, Maurice; GOEPFERTB, Yves, Ni direct electroless metallization of polymers by a new palladium-free process, **Surface And Coatings Technology**, v. 200, p. 5028-5036, 2006.

CHEN, H. L et al. Effects of insert film on asymmetric mold temperature and associated part Warpage during in-mold decoration injection molding of PP parts. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 41, p. 34-40, 2013.

CHEN, W. C. et al. A neural network-based approach for dynamic quality prediction in a plastic injection molding process. **Expert Systems with Applications**, v. 35, p. 843–849, 2008.

COMEXIM: Câmara de Envelhecimento Acelerado e Intemperismo para Não Metálicos: Disponível em: <http://www.adexim-comexim.com.br/camara-envelhecimento-acelerado>, acesso em 09/02/2018.

CTB. Plásticos. Disponível em: https://ctborracha.com/?page_id=877. Acesso em: 19 Dez. 2017.

DA CRUZ, S. **Moldes de injeção de termoplásticos, termofixos, zamak, alumínio e sopro**. Curitiba: Hemus AS, 2002.

DANG, X. P. General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 41 p. 15–27, 2013.

DA ROCHA, Rodrigo Cota, **Projeto de Moldes para Fabricação de Mancal de Deslizamento por Injeção De Polímero**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

DA SILVEIRA, Márcio R.S., **Propriedades da Mistura Polimérica de ABS/PVC expandida com Azodicarbonamida e sua combinação com bicarbonato de sódio e oxibis (benzeno-sulfonil-hidrazida)**, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, para a obtenção de grau de Mestre Profissional em

Tecnologia e Engenharia de Materiais, Farroupilha, 2017.

DE BRUYN, K. et al. Study of pretreatment methods for vacuum metallization of plastics. **Surface and Coatings Technology**, v. 164, p. 710 – 715, 2003.

DEYNA, Arthur, **Metalização de Polímeros Empregados no Setor Automotivo**, Curso de Graduação em Engenharia Automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DUBAY, R. et al. Controlling Process Parameters during Plastication in Plastic Injection Molding Using Model Predictive Control. **Advances in Polymer Technology**, v. 33, p. 21449 (E1 of E8), 2014.

EQUBAL, A.; KUMAR, A. S. Metallization on FDM Parts Using the Chemical Deposition Technique. **Coatings**, v. 4, p. 574-584, 2014

FARSHBAF, S. T.; BEHROUZI, M.; ASIABAN, S., Investigation of the Rheological Behavior of Titanium Dioxide Pigmented Acrylonitrile– utadiene–Styrene Polymer, **Journal of Applied Polymer Science**, v. 24, p. 2016-2021, 2011.

FAZENDA, J.M. R. **Tintas Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2009.

_____. **Tintas e Vernizes Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Abrafati, 1995.

FRAGATA, Fernando; AMORIM, Cristina C.; ORDINE, Alberto P., Desempenho de tintas de acabamento frente as radiações ultravioletas UVA e UVB e condensação de umidade, **Corros. Prot. Mater**, Vol. 29, Nº 3, 2010.

FUGANTI, Bruno Oliveira, **Relatório de Estágio Curricular II – Rineplast – Plásticos Rio Negrinho LTDA**, Departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

GRIEHL, S.; MULLER, T.; WINKLER, R. Thick metallization-layers on polymers through vacuum-technology. **Surface and Coatings Technology**, v. 170, p. 24-26 2003.

GROOVER, M. P., **Fundamentos of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. Wiley, 2010.

HARADA, J.; UEKI, M. M. **Injeção de termoplásticos: produtividade com qualidade**. São Paulo: Artiliber, 2012.

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos**. São Paulo: Artiliber, 2004.

HORN, H. et al. Excimer laser pretreatment and metallization of polymers. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 151, p. 279-284, 1999.

HUANG, S. S. Optimum topology design for the stationary platen of a plastic injection machine. **Computers in Industry**, v.55, p. 147–158, 2004.

IBANEZ, M., **Primer Coating for Metallized Gas Barrier Films**. Published Online, Patente, p. 5266, Maio, 2014.

KJ Springs and Plastics Technology Inc., **Machines & Equipments - Vacuum Metallizing**, Disponível em: <http://www.kjspti.com/machines/vacuum-metallizing/>. Acessado em: 12-Fev-2018.

KISIN, S. et. al. Chemical and structural changes at the ABS polymer copper metal interface. **Polymer Degradation and Stability**, v.92, p. 605-610, 2007.

KOTOBUKI SEIHAN PRINTING CO., LTDA, Industrial Material Section Transfer Sales Dept Transfer Div Toshihiko Tabata, Disponível em: <http://www.rex.co.jp>, Acessado em 10 de jul. 2017.

KREITZ, S. et. al. Patterned DBD treatment for area-selective metallization of polymers–plasma printing. **Surface & Coatings Technology**, v. 200, p. 676– 679, 2005. Disponível em: <<http://opac.vimaru.edu.vn/edata/E-Journal/2005/Surface%20and%20coatings%20technology/Vol200is1-4/bai%20151.pdf>>.

KÜCHLER, Michel Marino, **Avaliação Da Metalização de polímeros pelo Processo De Magnetron Sputtering: Um Estudo Preliminar**, Curso de Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2006.

KUKLA, R. et al., Sputter metallization of plastic parts in a just-in-time coater. **Surface and Coatings Technology**, v. 75, p. 648-653, 1995.

KUPFER, H.; WOLF, G. K.; Plasma and ion beam assisted etallization of polymers and their application, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, p.722-731, 2000.

KUREK, A. P. et al. Chemical surface treatment and metallization of ABS, PVC and PVC/ABS blends, **Polímeros**, v.25, n. 2, p. 212-218, 2015, Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282015000200212.

KUREK, A. P.; SELLIN, M., Reduction and replacement of chromic acid in step-conditioning of ABS for metallization, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, nº 3, p. 248-254, 2009.

KURZ DO BRASIL: Folhas e Máquinas para Estampagem a Quente. Disponível em:<www.kurz.com.br>. Acesso em 16 ago., 2017.

LARPSURIYAKUL, P.; FRITZ, H. G. Warpage and Countermeasure for Injection-Molded In-Mold Labeling Parts. **Polymer engineering and science**, p. 411-418, 2011.

LI, L. et al. Pretreatment and deposition process of electroless Ni plating on polyimide film for electronic field applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 477, p. 42-48, 2015. Disponível em:

<<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/5528792>>.

MARTINEZ, A.; CASTANY, J.; MERCADO, D., Characterization of viscous response of a polymer during fabric IMD injection process by means a spiral mold. **Measurement**, v. 44, p. 1806-1818, 2011.

MARTINS GOMES, Ana Paula, **Metalização em substratos poliméricos aplicados no setor de materiais sanitários**, Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

MATHEUS, Evaldo, **Efeitos do envelhecimento acelerado e do dano mecânico induzido no desempenho e durabilidade de alguns geossintéticos**, Universidade de Brasília, Departamento de engenharia civil e ambiental, Brasília, 2002.

MATTOX, D. M., **The foundations of vacuum coating technology**, Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-20410-7, 2003.

MICHALJANI C. L. et al. Regular pattern formation on surface of aromatic polymers and its cytocompatibility. **Applied Surface Science**, v. 370, p. 131-141, 2016.

Moldes e matrizes. Disponível em: <<http://moldesunisc.blogspot.com/2007/03/processo-de-injeo.html>>. Acesso em: 29 de ago., 2017.

MURAKAMI, Eric Hisao, **Influência dos Parâmetros de Processo sobre a Tensão Residual na Superfície de Peças Injetadas com ABS**. Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC, 2009.

NEVES, A. F. **Avaliação da morfologia da peça moldada em um molde híbrido com inserto macho fabricado pelo vazamento de resina epóxi-fibras curtas de aço e adição de nanoargila na injeção de polipropileno**, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2014.

NIAN, S. C.; WU, C. Y.; HUANG, M. S. Warpage control of thin-walled injection molding using local mold temperatures. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 61, p. 102–110, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193314002954>, Acessado em 20 de Nov. 2017.

PASQUAL, Eduardo Radaelli, **Deposição de filme metálico decorativo de Al, por evaporação térmica resistiva, em PVC plastificado com DEHP e modificado por plasma** - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2016.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PEREIRA, C.D., et al. **Guia de medição e cálculo para refletância e absorvância solar em superfícies opacas** (v.1), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Maio, 2015.

HEINZLER, Flix A.; LANGEHEGERMAM, Jan A., Aumentando a resistência ao intemperismo de componentes plásticos galvanizados, **Plástico Industrial**, nº 232, Dez, 2017.

RECHA, J.; LE CALVEZ, C.; DESSOLY, M., A new approach for the characterization of machinability—application to steels for plastic injection molds. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 152, p. 66–70, 2004.

RODRIGUES, H. J. P., **Tratamento diferenciado das águas residuais de uma Instalação de metalização de plásticos**, Tese de Mestrado, Departamento de engenharia química, Universidade do Porto FEUP, Agosto, 2010.

SALMORIA et. al, Deposição de filmes metálicos por magnetron sputtering em policarbonato: avaliação de ensaios para determinação e definição de qualidade, Congresso Brasileiro de Polímeros, 9, **Anais Eletrônicos**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis SC, 2007.

SANCHEZ, E. M. S.; SILVA, S. C.; SÁNCHEZ, C. G., Propriedades mecânicas do ABS metalizado frente ao envelhecimento acelerado, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8., São Paulo: **Anais Eletrônicos**, UNICAMP, p. 721-722, 2005.

SEE, T. S. et. al. A comparison of the characteristics of excimer and femtosecond laser ablation of acrylonitrile butadiene styrene (ABS). **Applied Surface Science**, v. 364, p. 467-476, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433215031785>.

SELLE PEREIRA, Carlos Henrique, **Um estudo sobre a dureza e os mecanismos de desgaste de materiais metálicos em altas temperaturas**, Curso de Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2010.

SIMIELLI, E. R. A.; DOS SANTOS, P. A. **Plásticos de engenharia: principais tipos e sua moldagem por injeção**. São Paulo, Artiliber, 2010.

SISTEVAC, Tecnologia de vácuo: Disponível em <http://www.sistevac.com.br/produtos.php>, Acessado em 10 Jan. 2018.

TOMASETTI, E. et al., Plastic deformation in polypropylene/ (ethylene–propylene) copolymer blend during paint debonding. **Polymer**, v. 41, p. 6597–6602, 2000.

TUDO SOBRE PLÁSTICOS. Disponível em: <http://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecao.asp>. Acesso em: 18 Dez. 2017.

WIEBCK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de engenharia: Tecnologia e**

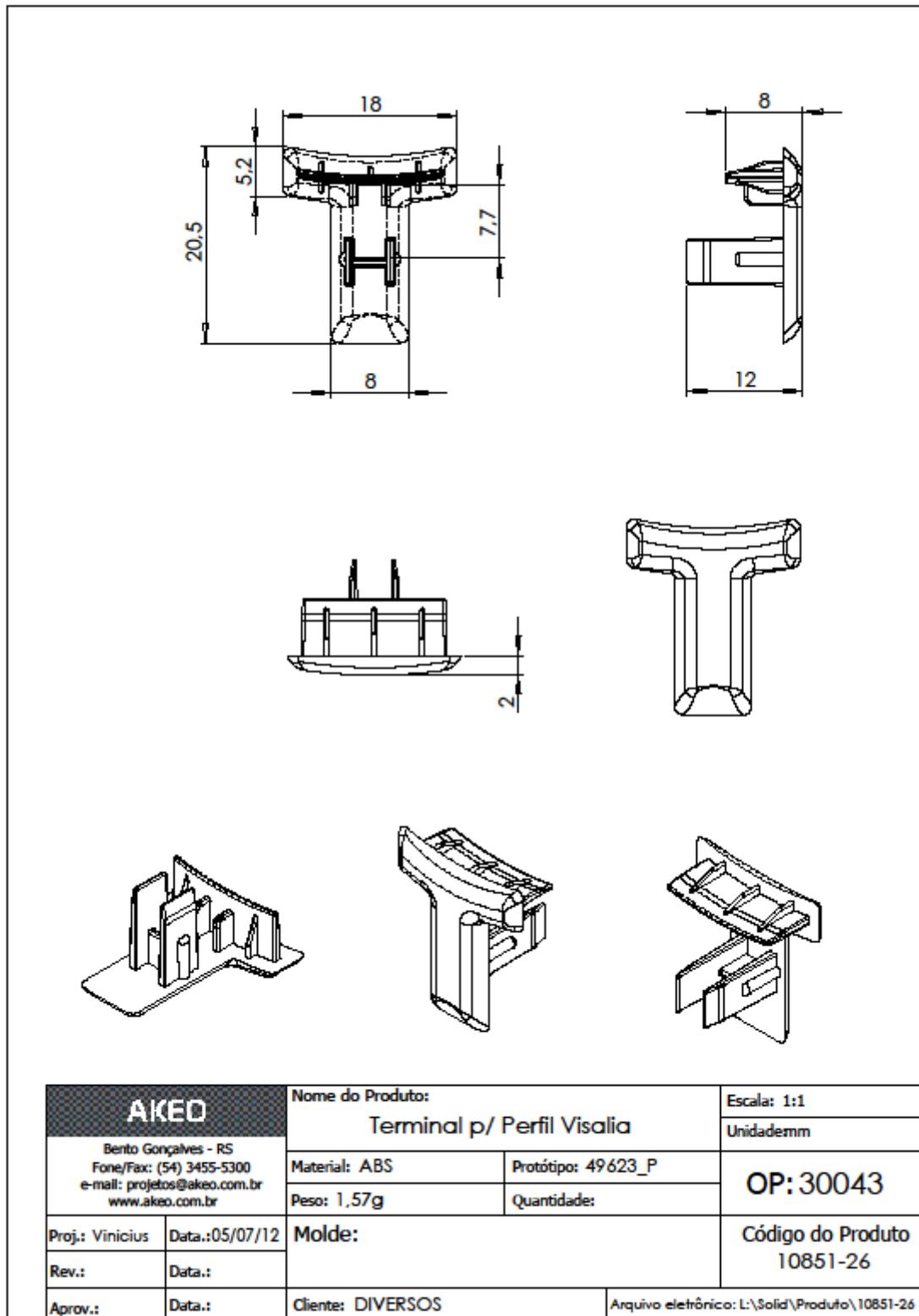
aplicações. São Paulo: Artliber, 2005.

WONG, A. C. Y.; LIANG, K. Z. Thermal effects on the behaviour of PET films used in the in-mould-decoration process involved in plastics injection moulding. **Journal of Materials Processing Technology**, v.63, p.510-513, 1997.

WUTZL: Sistemas de impressão. Disponível em: <<http://www.wutzl.com.br/hot-stamping/>>. Acesso em: 19 mar., 2017.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**, São Paulo: Edufscar, 2009.

ANEXO 1.



ANEXO 2

Tabela 1 - Espessura da camada de verniz pré, e pós no processo de metalização a vácuo.

Espessura de verniz obtido pelo processo de metalização a vácuo	
	Média das cinco medidas obtidas pelo aparelho de medição (μm)
Camada de verniz pré	15,6
Camada de verniz pós	6,6

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 2 – Medidas da espessura da camada metálica no processo de metalização a vácuo.

Medidas dos 3 pontos com e sem a camada metálica sobre a chapinha			
Chapinhas	Ponto 1 (mm)	Ponto 2 (mm)	Ponto 3 (mm)
Antes da aplicação da camada metálica	0,799	0,800	0,802
Após a aplicação da camada metálica	0,801	0,802	0,804

Fonte; O Autor (2018).

Tabela 3 - Espessura da fita com e sem acamada metálica no processo de *in mold label*.

Espessura da camada processo de metalização por <i>in mold label</i>										
Fitas	Pontos Medidos (mm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Com a camada metálica	0,058	0,058	0,059	0,058	0,058	0,059	0,057	0,058	0,058	0,059
Sem a camada metálica	0,051	0,050	0,052	0,051	0,052	0,052	0,050	0,051	0,052	0,051

Fonte: O Autor (2018).

ANEXO 3.

Diferença de cor CIE L*a*b*

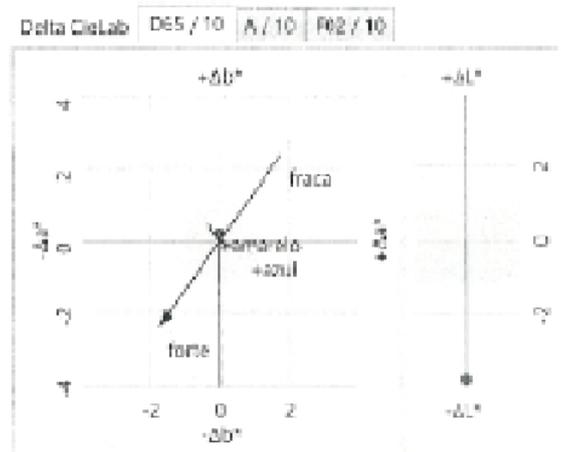
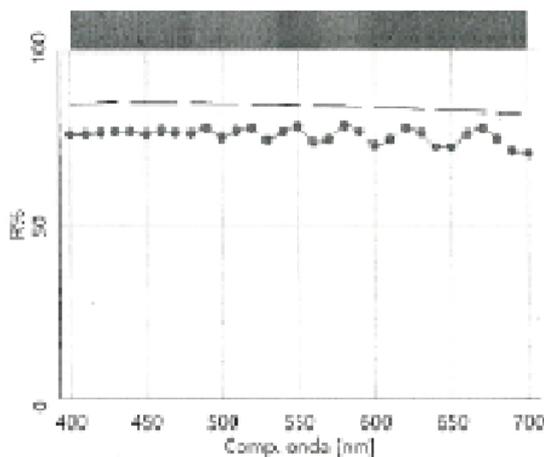
Data do relatório: 27-Feb-18
 Hora: 16:50
 Geometria med pad: %R USAV SCI UV Inc
 Geometria med part: %R USAV SCI UV Inc

Condições Iluminante/Observador
 1) D65 10 Deg
 2) A 10 Deg
 3) F02 10 Deg

Nome do padrão:	III/Obs	L*	a*	b*	C*	h
METALIZAÇÃO a vácuo	1	93,70	-0,48	-0,64	0,80	233,46
	2	93,59	-0,68	-0,81	1,06	230,21
	3	93,65	-0,31	-0,75	0,81	247,40

Nome da peça: Metalização	III/Obs	L*	a*	b*	C*	h
IN MOLD LABEL	1	89,95	-0,49	-0,46	0,68	223,16
	2	89,85	-0,64	-0,63	0,90	224,56
	3	89,98	-0,42	-0,49	0,64	229,71

III/Obs	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	DE*
D65 10 Deg	-3,75	-0,02	0,18	-0,13	-0,13	3,76
A 10 Deg	-3,74	0,04	0,18	-0,16	-0,10	3,75
F02 10 Deg	-3,68	-0,11	0,26	-0,17	-0,22	3,69



— METALIZAÇÃO — IN MOLD LABEL

ANEXO 4.



LAUDO TÉCNICO DE CONFORMIDADE

DATA DA EMISSÃO DO LAUDO: 02/03/2018

CLIENTE: EDIVALDO

CÓDIGO: -

DESCRIÇÃO: *IN MOLD LABEL*

LOTE: amostragem para comparativo

ENSAIOS

a) Resistência exposição à Névoa Salina (Salt Spray)

Este procedimento tem como referência NBR 8094

Aprovado – 192h sem alterações (35 ± 2°C)

RESULTADO DA ANÁLISE

Não se constatou 'não conformidade' em nenhum dos ensaios aplicados, razão pela qual, certifica-se que a empresa AKEO atende aos requisitos especificados pelo cliente.

Certificado emitido eletronicamente, é válido sem assinatura.

Francielem Carol Afonso
Laboratório AKEO

Código: RLAB 03
Revisão: 00
Data: 01/01/2017
Página: 1 de 1

54 3455.5300
www.akeo.com.br

AKEO INDUSTRIAL LTDA.
R. Giacomo Baccin, 800
Bairro Aparecida
Bento Gonçalves - RS
CEP 95.708-770

