

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE POLIOLEFINA CLORADA (CPO) NA ADESÃO DE ESMALTES BASE SOLVENTE SOBRE SUBSTRATO DE POLIPROPILENO (PP)

FONSECA, Luiza Maria B.P. da; OLIVEIRA, Marcos Fernandes de
luizabarsotti@hotmail.com; marcosfernandes3003@gmail.com

Centro de Pós-Graduação e Pesquisa Oswaldo Cruz

Resumo: A finalidade desta pesquisa foi estudar a influência da poliolefina clorada (CPO ou Chlorinated Polyolefin), na aderência de um esmalte preto fosco sobre um substrato de polipropileno (PP). Este polímero é muito utilizado em diversas partes plásticas automotivas, sendo neste caso, usado como painel de instrumentos para veículos de passeio. De modo a atender à exigência de algumas montadoras, a pintura de um esmalte fosco torna-se necessária sobre este substrato. Como a maioria dos plásticos, a baixa energia de superfície do PP torna a tarefa de pintura complexa. Tal questão baseia-se no fato da tensão superficial das tintas serem normalmente maiores do que esta energia de superfície, o que causa uma repelência e fragilização da aderência da tinta. A CPO por suas características, tem-se mostrado historicamente, um bom promotor de aderência. No presente trabalho foram realizados testes com a inclusão da CPO diretamente na formulação do esmalte e também diluída, na forma de um “primer promotor”, antes da aplicação do esmalte, este isento de CPO. Os testes demonstraram melhores níveis de aderência com a CPO incorporada no esmalte com uma concentração de 4% (100% aderência) contra 2% (96-98% aderência) e também em amostras de esmalte sem CPO, porém com aplicação prévia do primer promotor, este com 5% de CPO em sua composição (100% aderência). Boa parte da ação da CPO baseia-se no fato da presença da baixa eletronegatividade do íon Cl⁻ que promove uma forte atração sobre os poucos grupos polares existentes na superfície dos plásticos.

Palavras-chave: poliolefina clorada, esmalte, automotivo, polipropileno, aderência

Abstract: The purpose of this research was to study the influence of chlorinated polyolefin (CPO) on the adhesion of a low gloss black enamel on a polypropylene (PP) substrate. This polymer is widely used in various automotive plastic parts, and in this case, used as instruments panel for passenger vehicles. In order to meet the requirement of some car manufactures, a low gloss enamel application becomes necessary on this substrate. Like most plastics, PP's low surface energy makes the coating process a complex task. This issue is based on the fact that the surface tension of coatings is usually higher than this surface energy, which causes repellency and weakening of coating adhesion. The CPO, due to its characteristics, has historically shown itself to be a good adhesion promoter. In the present work, tests were carried out with the inclusion of CPO directly in the enamel formulation and also diluted, in the form of a “promoter primer”, before the application of the enamel, this last CPO-free. The tests showed better adhesion levels with CPO incorporated in the enamel at a concentration of 4% (100% adhesion) against 2% (96-98% adhesion) and also in enamel samples without CPO, but with prior application of the promoter primer, this one with 5% CPO in its composition (100% adhesion). Much of the action of CPO is based on the fact that the presence of the low electronegativity of the Cl⁻ ion promotes a strong attraction on the few polar groups that exist on the surface of plastics.

Keywords: Chlorinated Polyolefin, enamel, automotive, polypropylene, adhesion

1 INTRODUÇÃO

Antigamente, os plásticos integravam pequena ou quase nenhuma parte dos automóveis, porém desde os anos de 1970, os carros vêm passando por alterações em sua carroceria e interior. Desde os anos 2000, cerca de 10-12% do peso total do veículo tem sido composto por plásticos (STREITBERGER; DOSSEL, 2008).

A opção por utilizar esse tipo de material em um bem de consumo tão requisitado nos dias de hoje, se tem por diversas razões, como a facilidade de injeção e molde em uma infinidade de opções de design; diminuição de peso total do veículo em virtude da baixa densidade do material plástico, gerando consequente economia de combustível e menor geração de dióxido de carbono; baixo custo quando se comparado ao metal, tanto por causa do preço da matéria-prima como por causa da alta produtividade de peças. Em contraponto, muitos materiais plásticos não são estáveis a luz ultravioleta a longo prazo, mesmo se aditivos absorvedores UV forem utilizados em sua composição. Sua resistência à abrasão mecânica e a produtos químicos também é limitada, além de que podem conter marcas de fluxo de injeção. Por esse motivo, revestimentos são necessários em forma de pintura, que não só age corrigindo esses problemas como também em embelezamento da peça de acordo com o design requerido. No presente trabalho, é estudado mais profundamente a relação do substrato em polipropileno (PP) com a tinta base solvente. O PP sendo um substrato com baixa energia de superfície, dificulta a aderência da tinta, podendo ser utilizados vários métodos para alcançá-la. São alguns deles:

- Tratamento com plasma
- Tratamento com chama ou flambagem
- Descarga de corona
- Poliolefina clorada (CPO)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Plásticos em geral no Mercado Automotivo

São cerca de 40 tipos de plásticos utilizados em automóveis (OLIVEIRA, 2009), sendo alguns deles: acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC), acrilonitrila-estireno-acrilato (ASA), polipropileno (PP), poliamidas (PA), polimetacrilato de metila (PMMA), borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM). É muito comum também se utilizar blendas dos polímeros, assim é possível unir características desejáveis sejam elas mecânicas, econômicas e/ou físicas, como ABS+PC, PC+ASA, PP+EPDM. Exteriormente, encontramos para-choques, retrovisores, aerofólios, lentes de farol, calotas e maçanetas feitas de substrato plástico. No interior, encontramos grande parte do painel, moldura da multimídia, capa do airbag, moldura do câmbio, descanso de braço, detalhes na porta, etc. As especificações das tintas variam de acordo com a montadora e com o lugar onde se está localizada a peça, como por exemplo teste *car wash* para peças exteriores da Volkswagen. Tal avaliação atesta que nenhum dano será causado quando o carro for lavado em máquinas automáticas, que geralmente são mais agressivas se comparadas a lavagem manual. Outra avaliação é o teste *Five Finger*, para peças interiores da FIAT, que atesta a resistência ao risco à uma certa força. Embora existam especificações diferentes, dependendo do lugar onde a peça será instalada, a aderência da tinta ao substrato é item primordial em todas as normas, para todas as aplicações. Pois o que não se espera quando se compra um carro, item de alto valor agregado, é que a

tinta sofra deslocamento, seja por uma lavagem, exposição ao sol, umidade, lavagem com pressão, ou sob agentes químicos, como gasolina, protetores solares, cremes hidratantes, etc.

2.2. Conceitos de Tensão Superficial

A molhabilidade do substrato pelos líquidos é vista pelo ângulo de contato entre a fase sólida (substrato) e a fase líquida (tinta), conforme Streitberger; Dossel (2008). Tem-se boa molhabilidade quando o ângulo de contato é muito pequeno, fazendo com que o líquido assente sobre a superfície sem dificuldades. A Figura 1 mostra um caso de baixa molhabilidade e um de boa molhabilidade (OLIVEIRA, 2009):

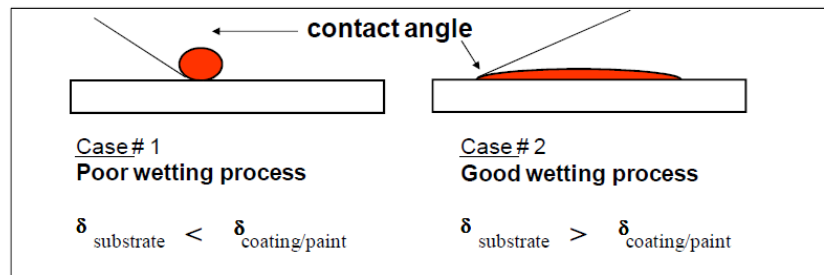


Figura 1 Diferentes casos de molhabilidade. Fonte: Oliveira (2009).

Plásticos em geral têm baixa energia superficial se comparados ao metal, por isso os sistemas de pinturas precisam ser diferentes, não só pelo aspecto final, mas como também para o alcance das propriedades físicas, como a aderência. Para a maioria dos substratos plásticos, consegue-se boa molhabilidade com tintas base solvente utilizando uma formulação adequada, porém em aplicações sobre polietileno, polipropileno e poliolefina termoplástica, isso não é o suficiente. É necessário um pré-tratamento na superfície ou aplicação de aditivos para que se modifique a superfície e se tenha uma melhor interação entre o substrato e a tinta aplicada.

2.3. Formas de promover adesão em plásticos

Existem várias formas de se promover a aderência em plásticos, aumentando a energia de superfície do substrato. Uma delas é o método de flambagem, um dos mais utilizados na Europa. Este processo consiste em passar uma chama sobre a superfície do substrato, produzindo grupos funcionais reativos que contenham oxigênio (STREITBERGER; DOSSEL, 2008).

Já o método corona, consiste na aplicação de uma descarga elétrica de alta voltagem e alta frequência (CORONAFIX, 2021). O plasma que é considerado um estado da matéria é denominado também como gás ionizado (LOPES, 2015). O tratamento de plasma é outra aplicação utilizando um processo de oxidação, sendo aplicado sobre a superfície com o auxílio de uma pistola. A partir daí, radicais similares ao processo de flambagem são formados, aumentando a energia da superfície, dependendo do tipo do gás utilizado, como por exemplo: argônio, oxigênio, nitrogênio ou gás carbônico (OLIVEIRA, 2009). Tanto o tratamento de plasma como o método corona, promovem a aderência, porém por um curto espaço de tempo, sendo necessária a aplicação da tinta dentro de no máximo uma hora (STREITBERGER; DOSSEL, 2008).

Outra técnica também muito utilizada, é o uso de poliolefinas cloradas, diferentemente das outras técnicas, esta é um tratamento químico, onde há interação entre a molécula de

poliolefina e o substrato plástico, alterando sua superfície e promovendo assim a adesão (OLIVEIRA, 2009).

2.4. Poliolefina Clorada

Outra opção para promoção da aderência é a utilização de promotores, sendo a poliolefina clorada (CPO ou *Chlorinated Polyolefin*) uma das mais utilizadas. O bom desempenho da CPO pode ser explicado pelas propriedades do cloro. Sendo o cloro um elemento químico localizado na família 7A ou 17 e 3º período, possui baixo raio atômico e alta eletronegatividade. Estas características favorecem a interação com superfícies de baixa polaridade, como os plásticos em geral. Desta forma, o cloro fica responsável pela ligação com os grupos polares da superfície do plástico, enquanto que a parte orgânica da molécula se liga com a tinta, parte também orgânica. Abaixo, na Figura 2, segue uma imagem de uma típica fórmula estrutural de CPO (OLIVEIRA, 2009).

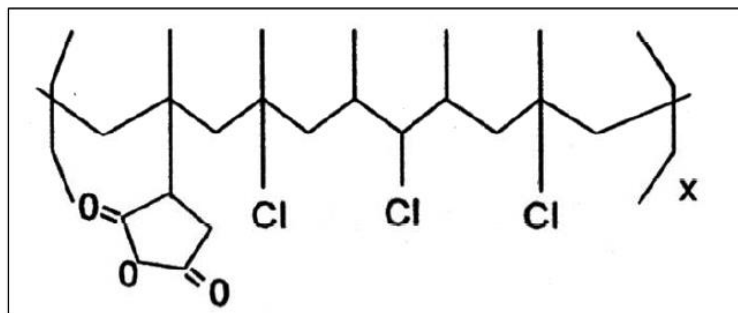


Figura 2 Fórmula estrutural típica da poliolefina clorada (CPO). Fonte: Oliveira (2009).

2.5. Composição básica de tintas

São diversas as tecnologias hoje disponíveis para tintas, tanto para a aplicação quanto para a formulação das mesmas. Elas são compostas basicamente de resinas, pigmentos e aditivos, podem ou não usar solventes, que podem ser orgânicos ou base água. Os pigmentos podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos, o último, podendo ser metálico como alumínio ou zinco, por exemplo. Os aditivos, apesar de serem porção pequena dentro de uma fórmula de tinta, oferecem grande impacto, podendo oferecer características de superfície, como alastramento, *slip*, efeito contra sedimentação e até de aderência, como nos casos das poliolefinas cloradas. As resinas são responsáveis pela formação do filme, sendo usadas normalmente dois tipos na maioria dos sistemas de pintura. A primeira, ou resina principal em maior quantidade, concede nome ao sistema, por exemplo: poliéster, acrílico, alquídico, etc. A segunda resina, chamada de agente de reticulação é responsável por promover em conjunto com a principal, a polimerização e reticulação ou endurecimento do filme final. Existem diversos mecanismos que promovem a reticulação. Dentre estes mecanismos, destacam-se os realizados, por meio de resinas amínicas, indicadas para curas em estufa, onde normalmente a temperatura utilizada é $\geq 120^{\circ}\text{C}$. Para objetos que não podem ser colocados em temperaturas como a mencionada, como a grande maioria das peças plásticas, o sistema mais indicado é aquele cujo agente de reticulação é um endurecedor à base de isocianato. Estes sistemas de pintura, conhecidos no mercado como poliuretanos (PU), em função do tipo de ligação química formada, podem curar em temperaturas menores ($60 - 80^{\circ}\text{C}$) e até mesmo em

temperatura ambiente, porém mais lentamente. Em função do mecanismo de cura, o sistema PU precisa ser preparado com o isocianato apenas no momento da pintura, pois uma vez combinados, tem-se início o processo de polimerização.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram preparadas em laboratório três amostras de esmalte PU acrílico (com e sem CPO) e uma solução de CPO em uma mistura de xilol e solvesso 100. Esta solução de CPO foi designada como “primer promotor” e sua composição, bem como dos esmaltes, encontram-se a seguir, na Tabela 1.

Tabela 1 Composição em % massa (gramas) dos esmaltes A, B, C e da solução de CPO, designada como primer promotor. Fonte: autores (2021).

Matéria-prima	Esmalte A	Esmalte B	Esmalte C	Solução CPO
	% (g)	% (g)	%(g)	% (g)
Resina acrílica	30,00	27,27	25,00	
Resina poliéster	3,80	3,45	3,17	
CAB	1,98	1,80	1,65	
CPO (25% em solvente orgânico)	-	9,09	16,67	20,00
Aditivo Slip	0,02	0,02	0,02	
Aditivo anti-sedimentante	0,50	0,45	0,41	
Absorvedor UV	0,60	0,54	0,50	
Cera	2,48	2,26	2,07	
Agente Fosqueante	5,96	5,42	4,97	
Concentrado Preto	24,85	22,59	20,70	
Acetato de Butila	29,82	27,10	24,85	
Xilol				50,00
Solvesso 100				30,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

O esmalte tem como resina principal uma acrílica e uma pequena fração de poliéster e CAB (acetato butirato de celulose) para complementar algumas propriedades do filme. Demais aditivos foram usados para proporcionar outras qualidades importantes para o desempenho final do filme (absorvedor UV, agente fosqueante, etc.). Conforme mostrado na Tabela 1, o esmalte A foi preparado sem promotor, servindo como referencial. O esmalte B recebeu 9,09% da solução CPO e a C recebeu 16,67% da mesma solução CPO. Desta forma, as amostras B e C ficaram respectivamente com 2,28% e 4,17% de promotor puro ativo em

suas formulações. Estas condições tiveram como objetivo, verificar se a concentração deste promotor incorporado diretamente nos esmaltes, teria impacto significativo no resultado final. As fórmulas foram feitas de modo a manter ajustada as proporções entre todas as demais matérias-primas, conservando sempre a fórmula em 100% de composição em massa, mesmo com a adição da solução de CPO. A solução de CPO, chamada de primer promotor, como o nome sugere, foi usada sobre o substrato de polipropileno (PP) antes da aplicação do esmalte a ser avaliado. Neste primer promotor, a concentração de CPO ativa foi de 5%. Uma vez preparadas, as amostras de esmalte A, B e C receberam uma quantidade estequiométrica de isocianato, em função da quantidade de hidroxilas presentes nas resinas poliéster e acrílica, pois o CAB não apresenta hidroxilas que possam reagir com o isocianato. Depois de receberem o isocianato, as amostras A, B e C foram diluídas com thinner de fabricação própria, cuja composição não será aqui mencionada, por sigilo industrial. Em seguida, as amostras foram aplicadas sobre os painéis de PP, sendo depois curadas em estufa. Os parâmetros de aplicação e cura, bem como os resultados finais de camada e brilho, podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros de aplicação, cura e resultados de camada e brilho dos painéis de prova.
Fonte: autores (2021)

Preparação/parâmetros	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Isocianato (massa)	40%	40%	40%	40%
Diluição (massa)	40%	40%	40%	40%
Viscosidade de aplicação: segundos (s) no CF4 @25°C	14,28	14,61	14,77	14,32
Primer Promotor sobre PP	Não	Não	Não	Sim
Pressão	3,5 Bar	3,5 Bar	3,5 Bar	3,5 Bar
Vazão ml/min	190	190	190	190
Nº passadas	6	6	6	6
Flash-off	15 min	15 min	15 min	15 min
Cura @ 80°C	30 min	30 min	30 min	30 min
Camada (média)	33 µm	34 µm	37 µm	37,6 µm
Brilho 60° (3 – 5)	5,1	4,5	3,1	4,6

De modo a garantir a reprodutibilidade dos testes, todos os painéis foram aplicados em triplicata. Desta forma, as combinações obtidas foram as seguintes:

- Painéis Grupo 1: Esmalte A (tal qual/sem promotor) sobre PP sem primer promotor
- Painéis Grupo 2: Esmalte B (2,28% CPO ativo) sobre PP sem primer promotor
- Painéis Grupo 3: Esmalte C (4,17% CPO ativo) sobre PP sem primer promotor

Painéis Grupo 4: Esmalte A (tal qual/sem promotor) sobre PP com primer promotor (5% CPO ativo)

Após a aplicação e cura, os painéis foram deixados em repouso por 72 horas e depois conduzidos testes de aderência, baseados na norma ASTM D3359. A norma ASTM D3359 é utilizada para substratos metálicos, mas o princípio é mesmo, onde é realizado inicialmente um corte em grade com uma ferramenta cortante, como um estilete ou similar. Após esta etapa, uma fita adesiva é firmemente colocada em contato com a região cortada e em seguida, também firmemente puxada. Em função do nível de fragmentação e remoção da camada de tinta, é dada uma nota, que pode ser, dependendo da norma do cliente como 0% de remoção ou 100% de aderência. Para cada painel de teste foram feitos cinco cortes na horizontal e cinco na vertical, com uma distância de 2 mm entre os mesmos. Ao final, o resultado foi uma região quadriculada com um total de 25 pequenos quadrados. Na Figura 3 podem ser vistos o estilete, o gabarito utilizado e a fita do teste de adesão, da marca Nichiban®, *celulose tape* 405 com 24 mm de largura.

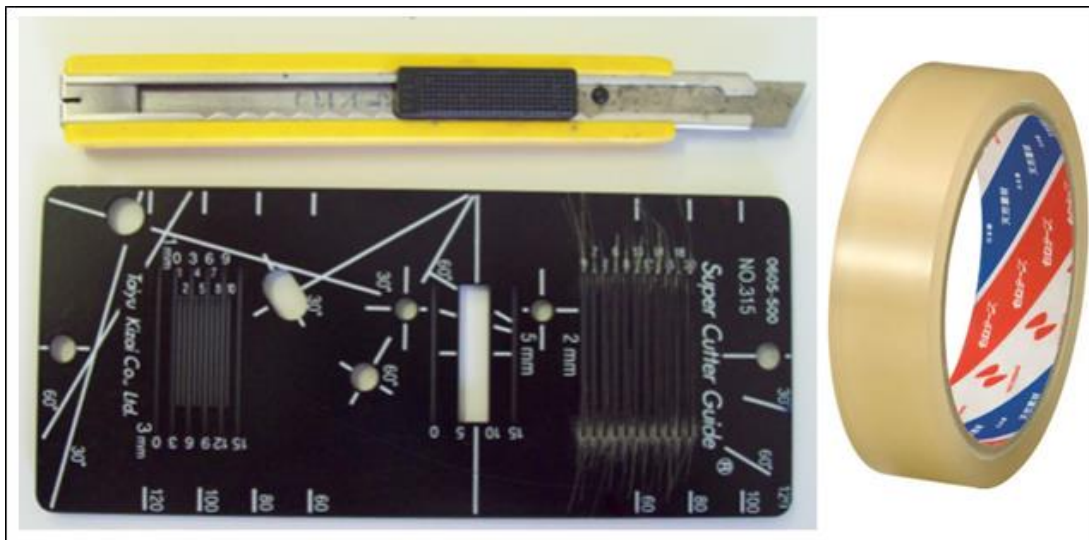


Figura 3 Estilete e gabarito para teste de aderência, juntamente com imagem ilustrativa da fita Nichiban® utilizada. Fontes: autores (2021) e https://www.nichiban.com/industry/light_packaging/cellotape_405/, acesso em 10/08/2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, nas Figuras de 4 a 7 são mostradas as fotos dos testes em triplicata, com os respectivos resultados dos testes de aderência.



Figura 4 Painéis Grupo 1: Esmalte A (tal qual/sem promotor) sobre PP sem primer promotor. Fonte: autores (2021).

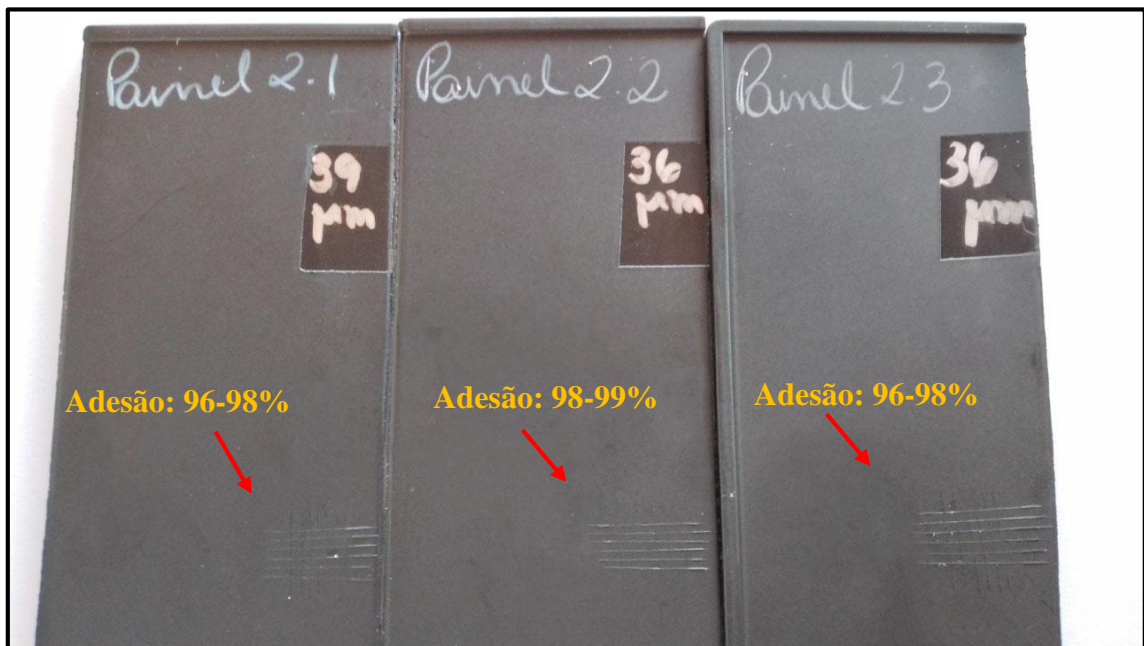


Figura 5 Painéis Grupo 2: Esmalte B (2,28% CPO ativo) sobre PP sem primer promotor. Fonte: autores (2021).

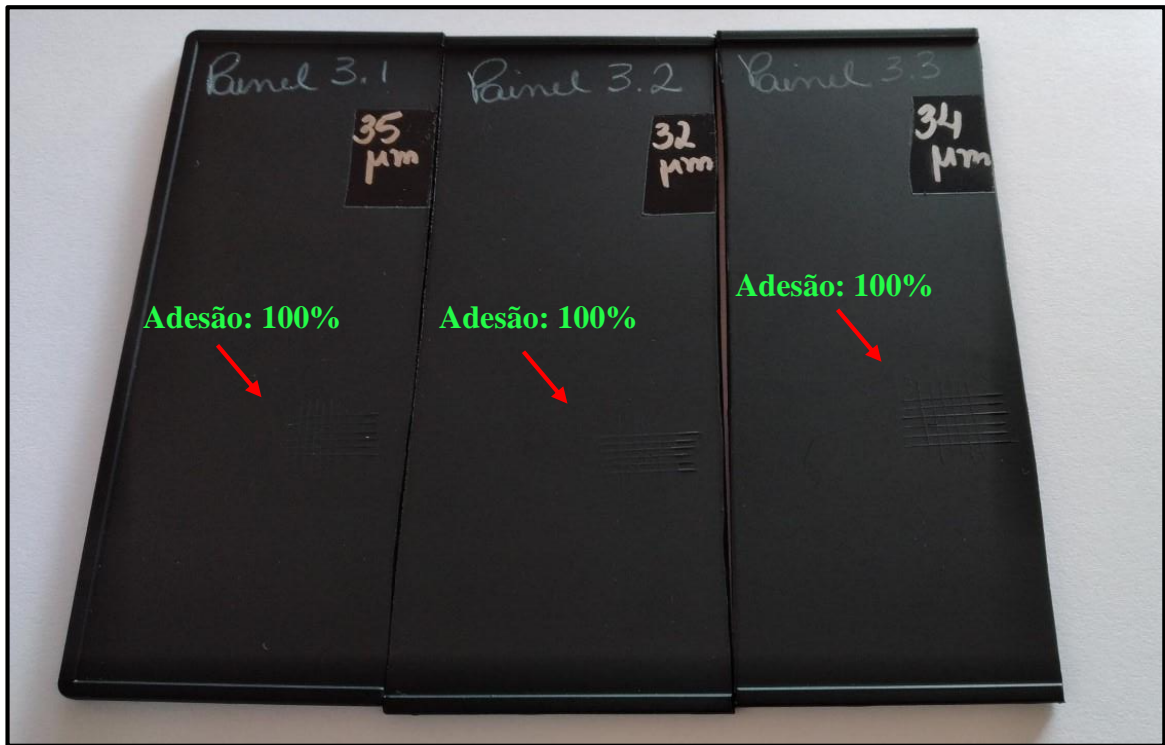


Figura 6 Painéis Grupo 3: Esmalte C (4,17% CPO ativo) sobre PP sem primer promotor. Fonte: autores (2021).

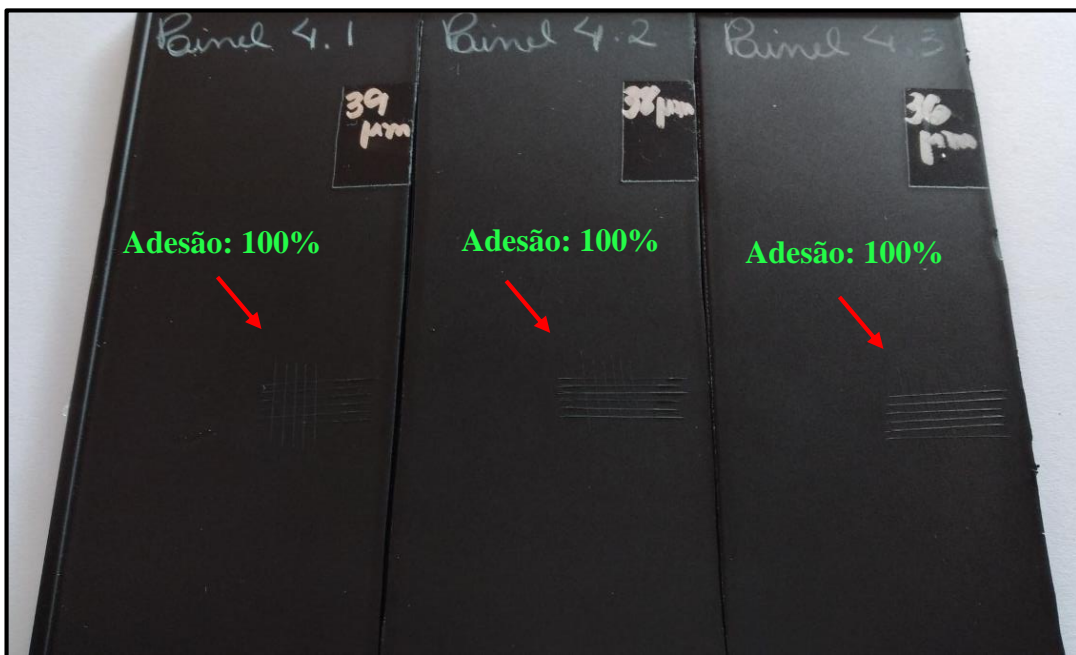


Figura 7 Painéis Grupo 4: Esmalte A (tal qual/sem promotor) sobre PP com primer promotor (5% CPO ativo). Fonte: autores (2021).

Conforme observado nos resultados apresentados nas Figura 4 a 7, existe uma influência importante da CPO no processo de aderência do esmalte sobre o substrato de PP. No grupo 1, onde temos total ausência de CPO, ocorre um deslocamento completo da tinta nos três painéis de prova, ou seja 0% de adesão. Neste caso, como esperado, não existe qualquer condição favorável à adesão, que é dificultada pela baixa energia de superfície do PP

em contato direto com a tinta isenta de CPO e o substrato sem qualquer tratamento prévio. No grupo 2, com 2,28% de CPO na formulação e ausência de primer promotor no PP, tem-se uma adesão parcial e muito próxima de 100% o que mostra que a CPO já demonstra uma influência importante no sistema de pintura. Porém, a quantidade indica ser insuficiente para promover um nível de adesão seguro para comercializar o esmalte desta forma. De modo a deixar mais clara a avaliação, na Figura 8 são mostrados em detalhes os resultados de adesão do grupo 2, bem como os respectivos resíduos removidos pela fita adesiva.

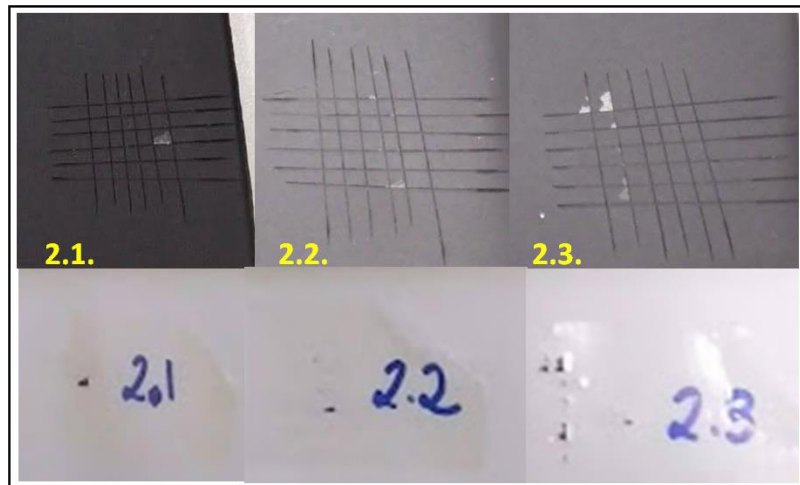


Figura 8 Painéis Grupo 2: Detalhes dos cortes, mostrando nível de aderência e remoção de esmalte preso na fita adesiva. Fonte: autores (2021).

No grupo 3, onde existe um aumento da CPO ativa para 4,17%, a aderência é bem nítida com 100% de adesão em todos os painéis. Tem-se aqui uma clara influência da ação da CPO, onde a quantidade deste aditivo na formulação parece atender ao esperado. No grupo 4 tem-se também um resultado com 100% de adesão em todos os painéis, similar ao grupo 3. No caso do grupo 4, a ausência de CPO na formulação é compensada pela aplicação prévia da solução promotora sobre o PP (5% de CPO ativa). A eficiência do uso na CPO na aderência, tanto na formulação direta, como na forma de primer promotor, pode ser explicada pela interação direta entre CPO/PP e a CPO/esmalte, como mostrado por Lawniczak et al (2005) na Figura 9. Conforme ilustrado pelo autor, o mecanismo de aderência se dá por duas interações básicas. As primeiras são as dipolo-dipolo, entre o promotor e os grupos químicos da tinta. A segunda interação é aquela proporcionada pela elevada eletronegatividade do grupo Cl^- presente na CPO. Esta elevada eletronegatividade do cloro compensa a baixa polaridade do substrato, criando um mecanismo de atração e consequentemente aderência favorável para o sistema de pintura. Além disso, o cloro também combina um baixo raio atômico, diminuindo ainda mais a distância entre o substrato e o promotor (PAUL, 2002). Outro ponto importante foi que a adição da CPO não impactou na viscosidade de aplicação, mas nota-se uma queda gradativa no brilho final do filme, porém ainda mantendo-se dentro da especificação (3 a 5 no *glossmeter* de 60°).

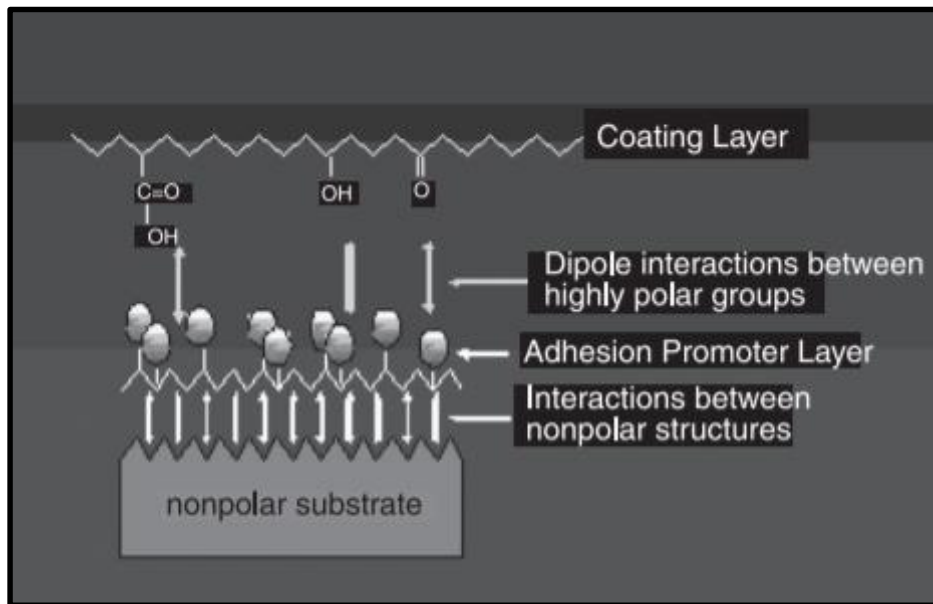


Figura 9 Interação CPO/substrato, CPO/esmalte. Fonte: Lawniczak et al (2005).

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poliolefina clorada, sendo um produto de fácil acesso, manuseio e de custo baixo se comparado aos outros métodos citados no presente trabalho, se mostrou eficaz como promotor de aderência sobre PP. Sua eficiência foi comprovada tanto diretamente na formulação, como na forma de promotor, aplicado previamente sobre o PP. A quantidade, no entanto, se mostrou importante, onde verificou-se que 2% de CPO ativa não proporcionou um sistema com 100% de aderência, quando incorporada diretamente na tinta. Valores da ordem de 4%, indicam oferecer mais segurança, onde os testes em triplicata mostraram 100% de aderência em todos os painéis de PP. Este valor se mostra consistente, com o igualmente resultado positivo dos painéis sem CPO aplicados sobre o PP, porém, com uma camada prévia de primer promotor, com 5% de CPO em sua composição. Neste caso, a total ausência de CPO na formulação do esmalte é compensada pela ação da CPO diretamente sobre o PP. Por motivos práticos e econômicos, a opção da CPO diretamente no esmalte propicia ganhos de tempo e produtividade, pois dispensa a aplicação de uma etapa com o primer promotor pelo cliente. Outro fato importante, foi que a adição da CPO na formulação não impactou na viscosidade, mas provocou uma ligeira queda no brilho, apesar deste último ficar no limite da especificação. Esta condição pode assim, conduzir a novos ensaios para verificar-se o real impacto na CPO nesta propriedade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D 3359-09 - Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape. **American Standard Test Methods**, USA, 2009.

CORONAFIX, O que é tratamento corona? Disponível em: <http://www.coronafix.com.br/a-empresa/>. Acesso em 18/07/2021.

LAWNICZAK, J. E.; WILLIAMS, K. A.; GERMINARIO, L.T. Characterization of Adhesion Performance Of Topcoats and Adhesion Promoters On TPO Substrates. **JCT Research**, Vol. 2, p.399-405, 2005.

LOPES, B. B. **Plasma: o agente promotor de adesão em polímeros e sua facilidade de inserção em processos produtivos.** Plástico Moderno, 08/Junho/2015. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/artigo-tecnico-plasma-o-agente-promotor-de-adesao-em-polimeros-e-sua-facilidade-de-insercao-em-processos-produtivos/>. Acesso em 18/07/2021.

NICHIBAN. Cellulose Tape No.405, **Technical Information.** Disponível em: https://www.nichiban.com/industry/light_packaging/cellotape_405/. Acesso em 10/08/2021.

OLIVEIRA, M. F. **Adhesion mechanisms for automotive plastic parts.** ABRAFATI, Congresso Internacional de Tintas, p.1-8; 2009.

PAUL, S. Painting of Plastics: new challenges and possibilities. **Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions**, v.85, B2, p.79-86, 2002.

STREITBERGER, H.J.; DOSSEL, K. F. (editors). **Automotive Paints and Coatings.** Chap.9, p.305-349. Germany: WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, 2008.