

RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC) - CNPq

Identificação

ALUNO: Nathaly Bertella Saldanha

e-mail: nathaly_saldanha@hotmail.com

Telefone: (47) 997187617

CURSO: Engenharia Química

ORIENTADOR: Noeli Sellin

e-mail: nsellin@yahoo.com.br

Telefone: (47) 99109 4824

TIPO DE BOLSA: (x) PIBIC () PIBITI

Título: Avaliação do condicionamento químico e cromagem da superfície de peças em PC e blendas PC/ABS

Resumo:

Neste trabalho, foi avaliado o condicionamento químico e a cromagem de peças em polycarbonato reciclado (PCr) e blendas PCr/ABS, visando substituição do copolímero acrilonitrila-estireno-butadieno (ABS) virgem, melhorias de propriedades e valorização de resíduos. Para isso, peças em PCr e blendas PCr/ABS, nas proporções de 20/80, 40/60 e 60/40, foram produzidas por injeção e submetidas às etapas de pré-tratamento químico e deposição eletrolítica no processo convencional de cromagem. As peças em PCr e blendas PCr/ABS, antes e após condicionamento com solução sulfocrômica, foram caracterizadas por análises termogravimétrica (TGA), calorimetria diferencial de varredura (DSC), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia no infravermelho (FTIR/ATR) e os resultados foram comparados com os de peças em ABS puro. As amostras condicionadas foram cromadas e a qualidade da adesão das camadas metálicas foi avaliada por inspeção visual e testes de adesão por corte cruzado e choque térmico. O condicionamento químico ocasionou quebra de ligações químicas dos componentes do ABS, principalmente, do butadieno, tanto no polímero puro como nas blendas, enquanto o PCr não sofreu alterações. Não houve variações na estabilidade térmica e na temperatura de transição vítrea das amostras após o condicionamento. Assim como o ABS puro, as blendas apresentaram alterações na morfologia, verificadas pela presença de microvales e reentrâncias, decorrente da remoção dos componentes do ABS. Quanto maior o percentual de ABS na blenda, mais intensas foram as alterações na superfície das amostras condicionadas. Peças em ABS puro e blendas com proporções de até 40/60 PCr/ABS foram aprovadas nos ensaios de adesão da camada metálica. Os resultados comprovam a viabilidade técnica do condicionamento químico com solução sulfocrômica e da cromagem de blendas com PC reciclado, podendo este ser aproveitado para várias aplicações, diminuindo os impactos relacionados ao seu descarte em aterros.

1. Introdução

O copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um dos polímeros mais empregados

na fabricação de peças cromadas, porém, em determinadas aplicações como peças automotivas e sanitárias, que exigem maiores rigidez e resistência ao impacto, o ABS apresenta restrições. Nestes casos, blendas de policarbonato (PC) e ABS vem sendo utilizadas pelas indústrias galvanicas, devido ao PC conferir melhores propriedades mecânicas e térmicas, enquanto o ABS proporciona melhor processabilidade e menor custo à blenda. Além disso, a possibilidade de se utilizar polímeros reciclados, como o policarbonato reciclado (PCr) e blendas PCr/ABS, bastante utilizados pela indústria em outras aplicações, contribuiria para a minimização dos impactos ambientais relacionados à disposição dos resíduos deste material em aterros industriais e também reduziria custos de produção, uma vez que o material reciclado é mais barato que o virgem.

Assim como para o ABS e blendas de policarbonato virgem e ABS, para que as peças em blendas PCr/ABS possam ser metalizadas é necessário realizar modificações físicas e/ou químicas por meio de tratamentos de superfície, que possibilitem melhor adesão das camadas metálicas depositadas no processo de cromagem. O processo mais utilizado para cromagem desses materiais é o pré-tratamento com soluções químicas seguido da deposição eletrolítica das camadas metálicas. No pré-tratamento químico, uma das etapas que mais influencia na qualidade da adesão meta-polímero é o condicionamento com solução sulfocrômica, que causa ruptura de ligações e oxidação química na superfície das peças, aumentando a rugosidade e proporcionando o ancoramento mecânico das camadas metálicas. Porém, devido ao policarbonato reciclado apresentar propriedades físicas (mecânicas e térmicas), geralmente, inferiores ao polímero virgem, em função do processo de reciclagem mecânica, as condições operacionais empregadas no condicionamento químico do PC reciclado e de suas blendas com ABS devem ser estudadas e avaliadas, para que não haja degradação química do material e defeitos nas peças após o processo de cromagem. Neste contexto, neste estudo, foi avaliado o condicionamento químico e a cromagem da superfície de peças em PCr e blendas PCr/ABS, visando substituir o ABS.

2. Revisão da literatura

Devido às suas propriedades, versatilidade de processamento e grande variedade de aplicações, os polímeros tem sido cada vez mais utilizados, conseqüentemente, é grande a quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente, que apresentam elevada resistência à degradação natural, em aterros ou lixões municipais (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006; ZHAO *et al.*, 2018).

Em 2017, 7,5 milhões de toneladas de resinas termoplásticas foram consumidas no Brasil e apenas 25,8% deste montante foram reciclados (ABIPLAST, 2019). A reciclagem é um dos caminhos que proporciona a redução do consumo de materiais não renováveis, a minimização de resíduos e o aumento da vida útil dos locais de disposição final (aterros e lixões). Além disso, a reciclagem pode ocasionar a redução de custos de produção, uma vez que, normalmente, o preço do polímero reciclado é 30 a 50% mais baixo que o da resina virgem (ROSÁRIO *et al.*, 2011). Desta forma, o uso de polímeros reciclados deve ser incentivado e ampliado cada vez mais nos diversos setores das indústrias de transformação de plásticos, como por exemplo, na produção de peças cromadas.

A cromagem é realizada em uma grande variedade de peças poliméricas, com finalidade decorativa (estética), como por exemplo, como componentes de banheiro, eletrodomésticos, tampas para frascos de perfume, peças automotivas, entre outros (VIDAL *et al.*, 2016). Dentre os polímeros de engenharia, o ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) é tradicionalmente o mais usado por apresentar excelente adesão das camadas metálicas depositadas (KUREK *et al.*, 2015). O processo de cromagem em polímeros mais empregado pelas empresas galvanicas é por meio da imersão em soluções químicas e se divide em duas etapas principais: pré-tratamento químico (banho condicionador, neutralizador, reativador, ativador, acelerador e níquel químico) e a deposição eletrolítica (níquel strike, cobre ácido, níquel brilhante e cromo decorativo) (MA *et al.*, 2013; KUREK *et al.*, 2017).

Para determinadas aplicações que exigem maiores rigidez e resistências ao impacto e térmica, o ABS apresenta certas limitações. Desta forma, peças em policarbonato (PC) ou ainda de blendas PC/ABS vem sendo empregadas (LUO, 2014). O PC fornece boas propriedades mecânicas e térmicas e o ABS proporciona melhor processabilidade e menor custo às blendas (MA *et al.*, 2013; THANH *et al.*, 2017; HUND, 2018). Blendas PC/ABS já são utilizadas para produção de diversos tipos de peças cromadas pelas indústrias galvanicas, porém, o uso de polímeros reciclados, como o policarbonato, ainda é escasso.

Na literatura são encontrados estudos que avaliaram a utilização de polímeros reciclados (PC e ABS) em porcentagens de 2 a 70% (CANDIDO, 2011) e 25% (MEDON, 2013) e os resultados apresentados mostraram que a incorporação de material reciclado pode ser realizada sem alterar significativamente as propriedades térmicas e mecânicas do material, porém, isso depende do material reciclado utilizado e da forma de reprocessamento por reciclagem mecânica (moagem e injeção).

O policarbonato é bastante resistente à solução sulfocrômica, porém, blendas PC/ABS

são susceptíveis ao condicionamento químico com solução sulfocrômica (BOS e FELS, 2012). O banho condicionador é a etapa mais importante do pré-tratamento químico, composto por solução sulfocrômica (ácidos crômico e sulfúrico), que ocasiona alterações químicas na superfície do polímero a partir da cisão de ligações, principalmente, da fase butadieno, e formação de grupos oxidados, aumentando a molhabilidade e a energia superficial. Com isso, ocorrem alterações na morfologia da superfície, como aumento da rugosidade (devido à formação de microporos, reentrâncias, ondulações, etc), que proporcionam a adesão mecânica do metal na superfície do polímero (TEIXEIRA e SANTINI, 2005; KUREK *et al.*, 2017). No entanto, as condições operacionais usadas no condicionamento químico do polímero reciclado, como o policarbonato (PCr), e das blendas PCr/ABS precisam ser avaliadas, visando evitar degradação, uma vez que estes podem possuir propriedades físicas inferiores às dos polímeros puros. Estudos anteriores mostram que mesmo o ABS virgem e puro pode sofrer degradação, para além da superfície, pela solução sulfocrômica se não forem controladas as condições do processo, como tempo, temperatura e concentração da solução condicionante (KUREK *et al.*, 2015; KUREK, 2017). Não existem na literatura estudos sobre a cromagem de PCr e de blendas PCr/ABS. Com base no exposto, neste estudo, foi avaliada a possibilidade de substituir o ABS por PC reciclado ou blendas PC reciclado/ABS, visando ampliar as aplicações de peças com material reciclado e cromadas na indústria automotiva e de outros setores, em função da melhoria de propriedades, além de contribuir com a preservação do meio ambiente.

3. Metodologia

3.1 Obtenção das peças de ABS, PCr e blendas PCr/ABS

A injeção das amostras foi realizada a partir do ABS (Terluran GP 35, BASF) e do PCr (Lexan 121R, Eurotec) puros, fornecidos pelas empresas Sigmacrom Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos Eireli (Araquari/SC) e TAF Indústria de Plásticos (Joinville/SC), respectivamente. Previamente, os *pellets* de ABS e PCr foram desumidificados (desumidificador Ineal A1-5/1L) a 80 °C por 4 h, depois, foram acondicionados em um saco plástico e homogeneizados por agitação manual e alimentados na máquina injetora modelo ROMI Prática – 80 t, sem a inclusão de qualquer aditivo. As amostras foram produzidas com o PCr puro e ABS puro e as misturas destes, em percentuais mássicos de 20/80; 40/60 e 60/40 de PCr/ABS.

Os parâmetros do processo de injeção foram adequados, conforme o percentual

de PCr/ABS das blendas. As peças foram injetadas num molde de duas cavidades do item denominado “friso reto”. Segundo Kasper *et al.* (2010), para a injeção das amostras de ABS puro, a temperatura de processamento é na faixa de 160 a 270 °C e para o PC puro é de 250 a 300 °C. Porém por ser utilizado o PCr, as faixas de temperaturas de processamento foram diferentes. Assim, para a injeção das blendas PCr/ABS, foram utilizadas temperaturas intermediárias às correspondentes aos polímeros base, variando de 190 a 270 °C.

3.2 Cromagem das peças

As etapas de pré-tratamento químico e tratamento eletrolítico no processo de cromagem das peças em ABS, PCr e blendas PCr/ABS foram realizadas na linha de cromagem da empresa Sigmacrom Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos Eireli (Araquari/SC), seguindo os procedimentos e condições operacionais adotados pela mesma e conforme descrito em Kurek *et al.* (2015). Para o condicionamento químico da superfície, 25 peças de cada amostra foram fixadas em uma gancheira e imersas no tanque de banho condicionador contendo solução sulfocrômica com concentração de 400 g/L de ácido crômico, Alpha Galvano - Química Brasileira Ltda (99% de pureza), e 400 g/L de ácido sulfúrico, Buschle e Lepper S. A. (96% de pureza), durante 10 minutos, a 60 °C. Após a modificação da superfície (etapa de condicionamento químico), cinco peças de cada amostra foram retiradas das gancheiras para posterior caracterização física e química e as peças restantes foram submetidas ao processo de pré-tratamento (banhos de neutralizador, paládio, pós-ativador e níquel químico) e tratamento eletrolítico para deposição das camadas metálicas (cobre ácido, níquel semi-brilhante e brilhante e cromo decorativo).

3.3 Caracterização das peças antes e após condicionamento químico

As alterações ocasionadas na superfície das amostras injetadas pelo banho de condicionamento foram avaliadas por:

- *Espectroscopia na Região do Infravermelho com transformada de Fourier- Reflexão Total Atenuada (FTIR/ATR)*: Para avaliação dos grupos químicos presentes na superfície das amostras antes e após condicionamento químico, foram obtidos espectros FTIR/ATR por um espectrofotômetro, do Laboratório de Materiais da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, equipado com acessório ATR, marca Bruker, modelo Tensor 27. A faixa de análise foi de 4000 a 600 cm^{-1} , ângulo de incidência de 45°, resolução de 4 cm^{-1} e 32

varreduras por amostra.

- *Análise Termogravimétrica (TGA)*: O ensaio foi realizado visando determinar a perda de massa decorrente da variação de temperatura. As amostras foram analisadas no equipamento da marca TA *Instruments*, modelo Q50, do Laboratório de Materiais da Universidade da Região de Joinville – Univille. Foi aplicado um gradiente de temperatura de 25 a 800 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, em atmosfera inerte de N₂ a 50 mL/min.

- *Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)*: Foi utilizada para determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) das amostras. As curvas de DSC foram obtidas em um módulo calorimétrico exploratório diferencial de marca TA *Instruments*, modelo Q20, equipado com um sistema de resfriamento tipo LNCA (resfriamento com nitrogênio líquido). A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min em atmosfera inerte de N₂ a 50 mL/min. Foi utilizado um gradiente de temperatura de 25 a 300 °C, com isoterma de 1 min, seguido de resfriamento a -90 °C com isoterma de 1 min e reaquecimento a 300 °C. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Univille.

- *Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)*: Foi empregada para avaliar as alterações na morfologia da superfície das amostras ocasionadas pelo condicionamento químico. As amostras foram cortadas em pedaços pequenos, metalizadas com ouro para tornarem-se eletricamente condutoras e então analisadas em microscópio eletrônico de varredura (*Jeol JSM-6390LV Scanning Electron Microscope*), com filamento de tungstênio, voltagem de aceleração de 15 kV e ampliação de 3000 vezes, do Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville/SC.

3.4 Avaliação da qualidade da camada metálica

Após a cromagem, a qualidade da deposição metálica foi avaliada por inspeção visual, seguindo procedimentos da norma ASTM B604-91 (2008), para avaliar a presença de defeitos na camada metálica, como deposição incompleta, manchas, porosidade e riscos. A adesão por corte cruzado foi avaliada num equipamento da marca Elcometer, seguindo procedimentos da norma ASTM D 3359 (2015). A peça cromada foi apoiada em uma superfície plana e firme e com o equipamento foram efetuados cortes paralelos sobre sua superfície, com pressão constante, garantindo a penetração da lâmina na camada metálica. Os cortes foram repetidos num ângulo de 90° em relação aos anteriores. Uma fita adesiva filamentosa (força de adesão de 15 N) foi aderida sobre os cortes cruzados e, posteriormente, removida para avaliação da adesão. O teste de adesão por choque térmico foi efetuado de

acordo com os procedimentos da norma NBR 10283 (2008). As peças cromadas foram imersas em água, a 70 °C (± 2), por 15 min e imediatamente transferidas para outro recipiente com água a 10 °C (± 2), por mais 15 min, alternando três ciclos entre quente e frio. Para a aprovação das amostras neste teste, após três ciclos, não deve haver defeitos na camada metálica depositada.

4. Resultados e discussão

4.1 Análise visual das peças em ABS, PCr e blendas PCr/ABS

Após o processo de injeção, as peças foram avaliadas por inspeção visual e não foi observada a presença de defeitos superficiais como rebarbas, riscos, manchas, entre outros. Segundo Candido (2011), o PC e o ABS possuem forte interação química, porém, são dependentes da porcentagem da mistura de cada componente, e podem sofrer mudanças significativas em sua estrutura e propriedades, devido à soma de processos de transformação, como a extrusão, injeção e reciclagem. Porém, para diminuir essas interferências, como descrito anteriormente, os *pellets* de ABS e PCr não foram submetidos ao processo de extrusão, foram somente homogeneizados manualmente e injetados.

4.2 Caracterização das peças antes e após condicionamento químico

Os espectros de FTIR/ATR das amostras antes e após condicionamento químico por solução sulfocrômica estão apresentados na Figura 1.

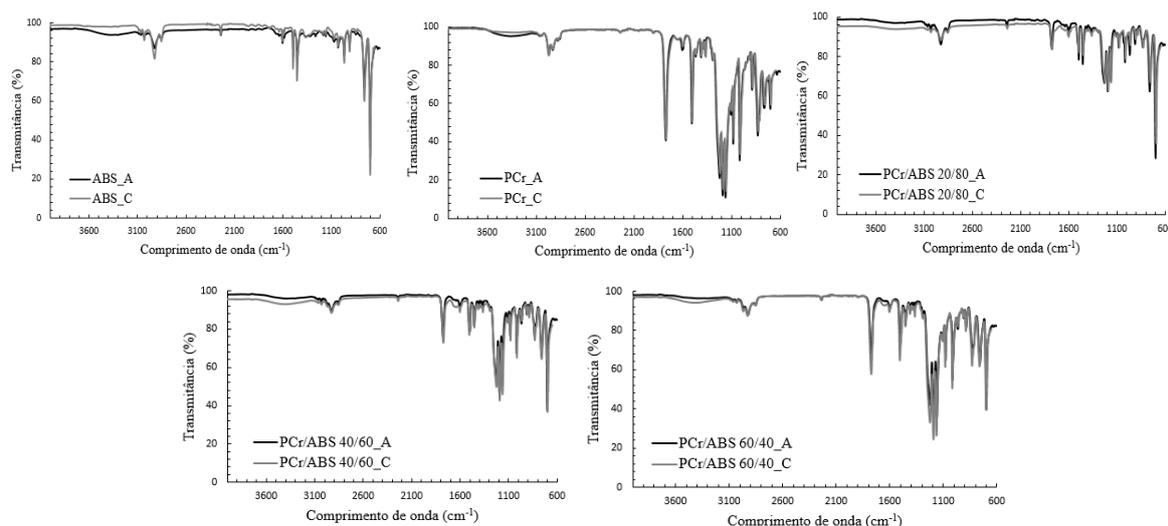


Figura 1: Espectros FTIR/ATR das amostras de ABS, PCr, blendas PCr/ABS, sendo (A) antes e (C) após condicionamento químico na solução sulfocrômica.

No espectro FTIR/ATR do ABS sem condicionamento, Figura 1, verifica-se a presença de grupos químicos característicos dos componentes que formam o copolímero ABS

(SUZUKI e WILKIE, 1994; LI *et al.*, 2017). Bandas referentes a ligações carbono-hidrogênio aromáticas e alifáticas aparecem na faixa de 3200-3000 cm^{-1} e 3000-2800 cm^{-1} , respectivamente. A absorção característica da acrilonitrila, representada pela ligação $\text{-C}\equiv\text{N-}$, é observada em aproximadamente 2237 cm^{-1} . A absorção na região de 910 e 1155 cm^{-1} , relacionada à vibração de estiramento da ligação dupla -C=C- , é referente ao componente butadieno, enquanto a vibração de estiramento do anel aromático do componente estireno [ligações $\text{-CH-(C}_6\text{H}_5\text{)]}$ aparece entre 698 a 758 cm^{-1} . Após o condicionamento químico, observa-se nos espectros das amostras de ABS, uma leve diminuição da intensidade dos picos referentes à acrilonitrila, butadieno e estireno, devido à solução sulfocrômica ocasionar a quebra de ligações químicas e oxidação da superfície do polímero ABS (KUREK *et al.*, 2017).

No espectro do PCr sem condicionamento, verifica-se picos característicos do material, como a absorção do grupo metil na faixa de 2900-3000 cm^{-1} , grupos carbonila em 1770 cm^{-1} , estiramento relacionado à vibração de ligação -C-O- em torno de 1219 cm^{-1} . O espectro da amostra de PCr condicionada não apresentou mudanças em suas absorções que demonstrem uma possível cisão de ligações químicas e oxidação do material, que pode ter ocorrido, devido à sua resistência química à solução sulfocrômica. Segundo Ma *et al.*, (2013), o policarbonato é estável à oxidação por ácidos orgânicos e inorgânicos, dessa forma a imersão em solução sulfocrômica não é eficiente no condicionamento de peças injetadas somente com PCr.

Nos espectros FTIR/ATR das blendas PCr/ABS nas diferentes proporções e sem condicionamento químico, verifica-se o aparecimento de picos em 2200 cm^{-1} , 1773 cm^{-1} , 1194 cm^{-1} e em 1015 cm^{-1} , que demonstram uma possível mistura entre os polímeros ABS e PCr, com suavização gradativa da intensidade dos picos de acrilonitrila e estireno e aumento da intensidade do pico referente ao grupo carbonila. Verifica-se, também que as bandas de ligações carbono-hidrogênio aromáticas e alifáticas, visualizadas no espectro do ABS diminuem à medida que as proporções de PCr são incorporadas nas blendas.

Os termogramas (TGA/DTG) das amostras de ABS, PCr e blendas PCr/ABS, antes e após condicionamento químico por solução sulfocrômica, estão representados na Figura 2.

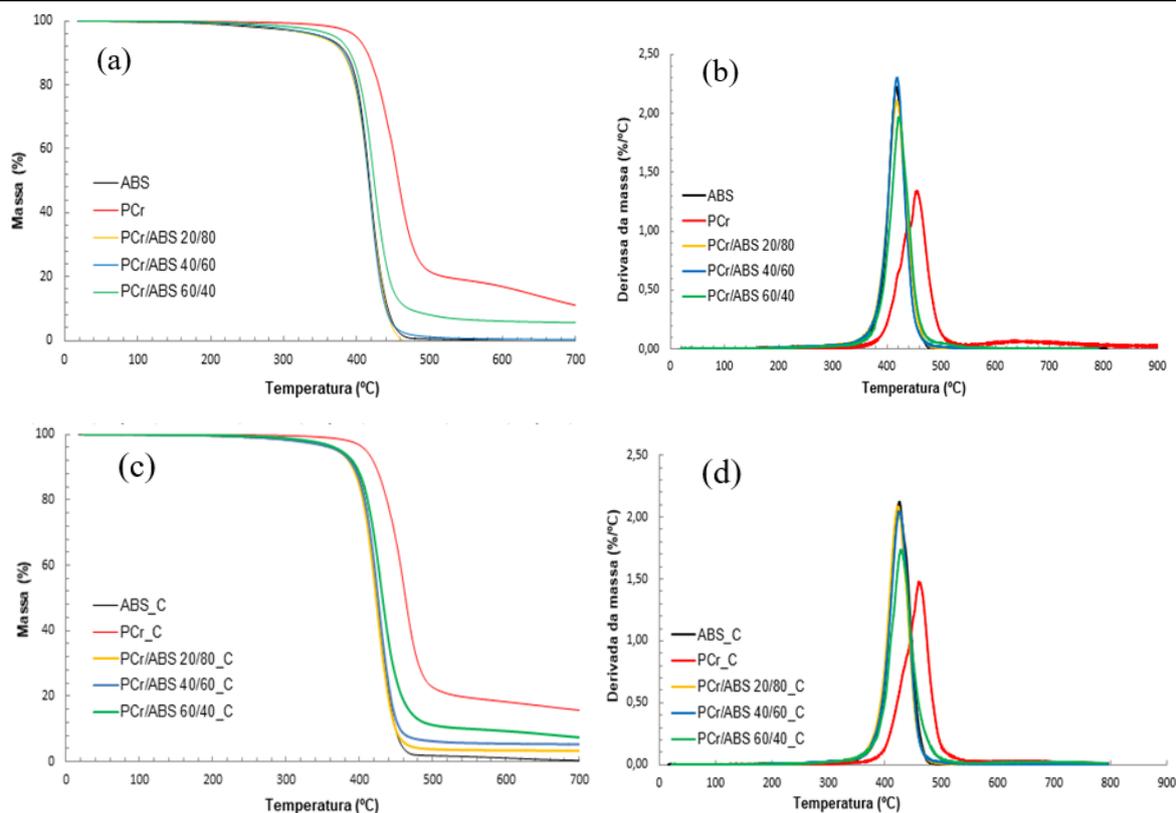


Figura 2: Curvas de TGA das amostras (a e c) antes e (b e d) após condicionamento químico.

Observa-se na Figura 2 (a) e (b), que antes do condicionamento químico, a decomposição térmica da amostra de ABS ocorreu em um único estágio, com início em aproximadamente 292 °C, término em 500 °C e pico máximo em 418 °C, com resíduo de 0,25% de massa e 0,96% de umidade. O PCr apresentou decomposição térmica com início em 362 °C e término em 820 °C, ocorrendo em dois estágios, o primeiro com pico máximo, de menor intensidade, em 410 °C, e o segundo em 456 °C, com resíduo de 2,35% em massa e umidade de 1,15%. De acordo com Ma *et al.* (2013), o policarbonato possui maior estabilidade térmica e se decompõe, aproximadamente, de 500 a 600 °C, contribuindo na estabilidade das blendas, visto que o ABS apresenta temperatura de decomposição inferior, aproximadamente, de 300 a 450 °C. As temperaturas de decomposição das blendas, assemelham-se às temperaturas dos polímeros base da mistura, no qual as amostras PCr/ABS 20/80 e 40/60 aproximam-se do ABS e a amostra PCr/ABS 60/40 do PCr, seguindo a regra das misturas, segundo Chiu *et al.* (2017). O condicionando químico não ocasionou alterações significativas no comportamento térmicos nas amostras, como observado nas Figuras 2 (c) e (d).

As curvas de DSC, obtidas do segundo aquecimento, das amostras de ABS, PCr e

blendas PCr/ABS, antes e após o condicionamento químico por solução sulfocrômica, estão apresentadas na Figura 3.

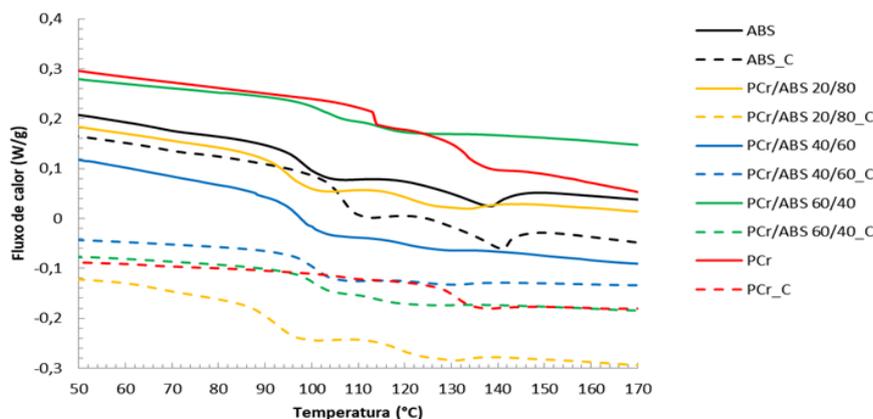


Figura 3: Curvas de DSC das amostras antes e após condicionamento químico.

Verifica-se das curvas de DSC, que as temperaturas de transição vítrea, da amostra de ABS foi de 98 °C e do PCr de 115 °C. A variação da T_g para o polímero ABS pode ocorrer de acordo com o tipo de resina polimérica, assim como pelo tipo de processamento (SALCHER *et al.*, 2013). A T_g encontrada para as blendas está relacionada diretamente com o percentual de cada polímero presente na amostra. Os valores das T_g 's das amostras PCr/ABS 20/80 e PCr/ABS 40/60 aproximam-se da amostra de ABS, seguindo a regra da mistura, enquanto a amostra PCr/ABS 60/40 apresentou T_g mais próxima à da amostra de PCr. O condicionamento químico com a solução sulfocrômica, nas condições operacionais empregadas, não ocasionou alterações significativas nas propriedades térmicas das amostras de ABS, PCr e blendas PCr/ABS, pois as alterações químicas e físicas ocasionadas pela mesma são apenas na superfície.

As micrografias de MEV da superfície das amostras antes e após condicionamento químico em solução sulfocrômica estão apresentadas na Figura 4. As amostras de ABS e PCr apresentaram superfície lisa antes do condicionamento químico, enquanto as blendas de PCr/ABS 20/80, PCr/ABS 40/60 e PCr/ABS 60/40 apresentaram aglomerados, possivelmente, decorrentes da presença de sujidades adquiridas durante o corte, no preparo das amostras para a análise ou ainda devido à homogeneização do *pellets* durante a fusão na injeção.

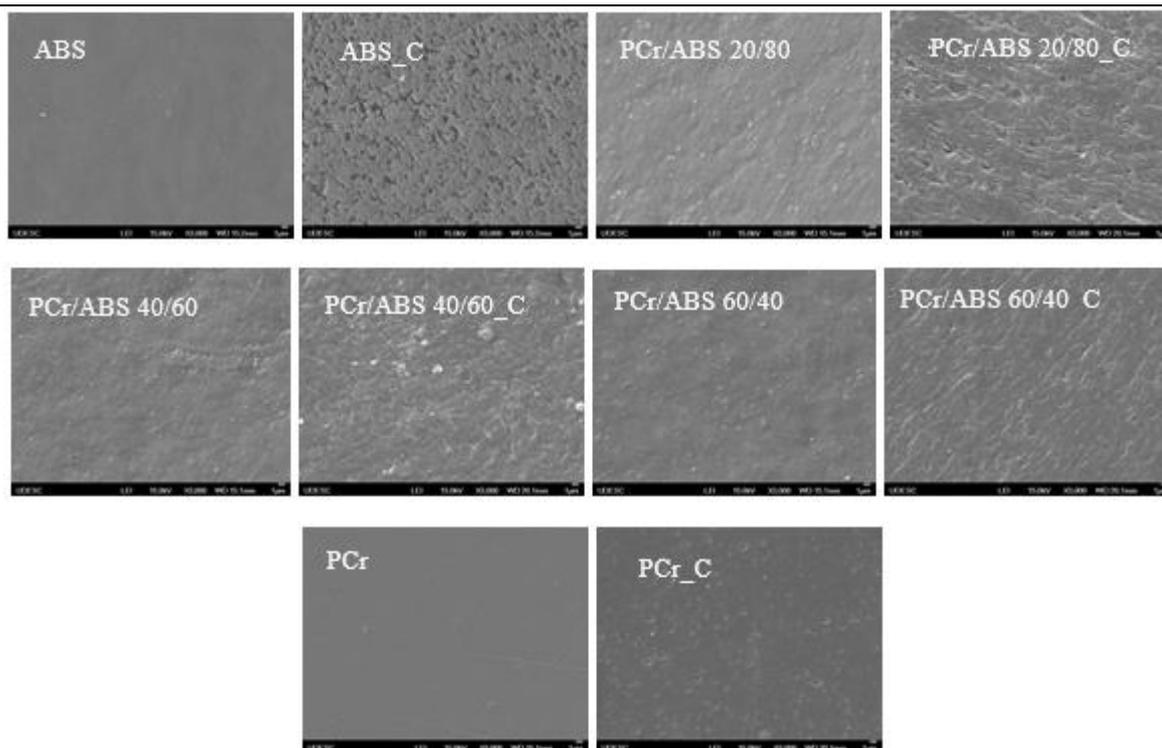


Figura 4: Micrografias de MEV das amostras antes e após condicionamento químico.

Com o condicionamento por solução sulfocrômica, alterações na morfologia da superfície das amostras ABS_C, PCr/ABS 20/80_C, PCr/ABS 40/60_C e PCr/ABS 60/40_C podem ser verificadas pela presença de microvales e reentrâncias, decorrente da remoção dos componentes da estrutura do ABS, devido à cisão de ligações e formação de grupos oxidados, comprovada pela diminuição da intensidade dos picos de absorção referentes a esses componentes nos espectros de FTIR/ATR (TEIXEIRA e SANTINI, 2005; KUREK, 2015; KUREK, 2017). Verifica-se ainda, que quanto maior a quantidade de ABS na blenda, mais intensas as alterações na superfície das amostras condicionadas.

A amostra de PCr condicionada apresentou poucas alterações na morfologia da sua superfície, corroborando com os resultados de FTIR/ATR, pois não demonstraram cisão de ligações químicas e oxidação do material, ou seja, o polycarbonato reciclado apresentou resistência química à solução sulfocrômica.

4.3 Avaliação da qualidade da cromagem

Na Figura 5 estão apresentadas fotos das amostras após (a) condicionamento químico e (b) cromagem.

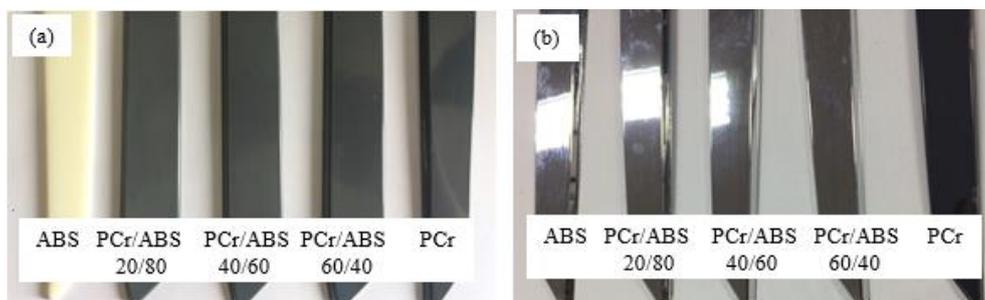


Figura 5: Amostras de ABS, blendas PCr/ABS 20/80, 40/60 e 60/40 e de PCr, (a) após condicionamento químico e (b) após cromagem.

As amostras de ABS e blendas PCr/ABS cromadas foram aprovadas na inspeção visual, pois não apresentaram defeitos nas camadas metálicas depositadas, como camada incompleta, riscos, porosidade, entre outros, enquanto, a amostra de PCr apresentou falhas ou nenhuma deposição das camadas em sua superfície.

Os testes de adesão por choque térmico e corte cruzado foram realizados apenas nas amostras que foram aprovadas na inspeção visual, ou seja, que apresentaram deposição da camada metálica. Na Figura 6 está apresentada foto de uma amostra após o teste de adesão por corte cruzado.



Figura 6: Amostra após teste de adesão por corte cruzado.

Das amostras aprovadas na inspeção visual, apenas a amostra PCr/ABS 60/40_C foi reprovada no ensaio de corte cruzado. Quanto maior a concentração de PCr nas blendas, mais difícil é a modificação da superfície pela solução sulfocrômica, em função da resistência química do policarbonato a esse pré-tratamento. A cisão das ligações químicas e a oxidação dos componentes do ABS, principalmente, do butadieno, são responsáveis pela conversão da superfície das peças de lisa para rugosa e de hidrofóbica para hidrofílica (CHAN, 1994; KUREK *et al.*, 2017).

A formação de microvales e reentrâncias, observada nas micrografias de MEV, promovem o ancoramento das camadas metálicas e, conseqüentemente, a adesão metal-

polímero. A eficiência do condicionamento químico e da cromagem das blendas PCr/ABS pelo processo galvânico convencional, empregado neste estudo, está diretamente relacionada ao ABS, dessa forma, baixas concentrações desse polímero na composição das blendas dificultam o processo. A proporção de até PCr/ABS 40/60 é satisfatória, visto que o policarbonato proporciona resistência ao calor e à chama e elevada resistência ao impacto, enquanto o ABS contribui para uma cromagem de qualidade, além de estar utilizando um polímero reciclado, reduzindo o impacto pelo descarte de polímeros em aterros.

5. Metas propostas x Metas realizadas

Meta proposta	Meta realizada	Atingido (%)
Obtenção das peças em ABS, PC reciclado e blendas PCr/ABS	Sim	100 %
Condicionamento químico da superfície das peças	Sim	100 %
Caracterização das amostras antes e após condicionamento químico	Sim	100 %
Cromagem das amostras condicionadas	Sim	100 %
Avaliação da qualidade da deposição metálica	Sim	100 %
Elaboração, divulgação e publicação de artigo em anais de congressos da área	Sim	100 %

6. Conclusões

O condicionamento por solução sulfocrômica ocasionou a cisão de ligações químicas e oxidação dos componentes do ABS e com isso a modificação da superfície das blendas PCr/ABS. As principais alterações foram nos grupos químicos e na morfologia da superfície, com formação de microvales e reentrâncias. As peças injetadas somente com PCr apresentaram resistência química à solução sulfocrômica. A estabilidade e as propriedades térmicas das amostras não foram afetadas pelo condicionamento químico. As peças em ABS e blendas com proporções de até 40/60 de PCr/ABS foram aprovadas nos ensaios de adesão da camada metálica, comprovando a viabilidade técnica da cromagem de peças em PCr/ABS. O uso do policarbonato reciclado contribui para a minimização dos impactos ambientais oriundos da extração de recursos naturais na fabricação da resina virgem, bem como da destinação do polímero em aterros, quando não reaproveitado.

7. Referências bibliográficas

- ABNT NBR 10283-2008. Revestimentos eletrolíticos de metais e plásticos sanitários - Requisitos e métodos de ensaio, 2008.
- ABIPLAST – Associação Brasileira das Indústrias de Plásticos. Perfil 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/08/perfil-2018-web.pdf>, acesso em 01/10/2019.
- ASTM B604-91 - *Standard specification for decorative electroplated coatings of copper plus nickel plus chromium on plastics*, 2008.
- ASTM D 359 - *Standard test methods for measuring adhesion by tape test*, 2015.
- BOS, A.; FELS, C. Metalização direta de plásticos ABS e ABS-PC. Revista Tratamento de Superfície, São Paulo, n. 172, p. 68-71, mar./abr., 2012.
- CANDIDO, L. H. A. *Estudo do Ciclo de Reciclagem de Materiais em Blendas Acrilonitrila-Butadieno-Estireno/Polycarbonato*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CHAN, C. M. *Polymer surface modification and characterization*. Munich: Hanser/Gardner Publications INC., 1994.
- CHIU, H.-T.; HUANG, J.-K.; KUO, M.-T.; HUANG, J.-H. *Characterisation of PC/ABS blend during 20 reprocessing cycles and subsequent functionality recovery by virgin additives*. Journal of Polymer Research. v. 25, n. 124, p. 1-8. 2018.
- FRANCHETTI, S. M. M., MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. Química Nova, v. 29, n. 4, p.811-816, 2006.
- HUND, J., NAUMANN, J., SEELIG, T. *An experimental and constitutive modeling study on the large strain deformation and fracture behavior of PC/ABS blends*. Mechanics of Materials, v.124, p. 132–142, 2018.
- KASPER, A. C.; BERSELLI, G. B. T.; FREITAS, B. D.; BERNARDES, A. M.; VEIT, H. M. *Estudo da reciclagem das blendas PC+ABS e PC+ABS+Epóxi provenientes de sucatas eletrônicas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, nº 16, jun. 2010.
- KUREK, A. P.; DOTTO, M. E. R.; ARAÚJO, P. H. H.; SELLIN, N. *Evaluation of the etching and chrome plating on the ABS, PVC and PVC/ABS blends surface*. Journal of Applied Polymer Science, n. 10, v. 134, p. 44571, 2017.
- KUREK, A. P.; MOLL, R. G.; HERBST, G.; DOTTO, M. E. R.; SELLIN, N. *Reprocessing of chromed ABS parts with chemical pickling and new chromed plating*. Journal of Applied Polymer Science, n. 135, p. 46131, 2017.
- LUO, L., LU. Z., HUANG. X., TAN. X., DING. X., CHENG. J., ZHU. L., WU Y., *Electroless copper plating on PC engineering plastic with a novel palladium-free surface activation process*, Surface and Coatings Technology, v. 251,2014.
- MA, Q.; ZHAO, W.; LI, X.; WANG, Z. *Study of an environment-friendly surface pretreatment of ABS-polycarbonate surface for adhesion improvement*. Key Laboratory of Applied Surface and Colloid Chemistry. International Journal of Adhesion & Adhesive, v. 44, p. 243-249, 2013.
- MEDON, V. *Estudo do efeito da incorporação de reciclado nas propriedades mecânicas, óticas e de superfície, de componentes usados em interiores de automóveis processados em PC e ABS/PC*. Braga, 2013. Dissertação de Mestrado - Universidade de Minho, Braga-Portugal, 2012.
- OLIVERA, S., MURALIDHARA, H. B., VENKATESH, K., GOPALAKRISHNA, K., E VIVEK, C. S. *Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review*. Journal of Materials Science, v.51, p. 3657–3674, 2016.
- ROSÁRIO, F., PACHEKOSKI, W., SILVEIRA, A., SANTOS, S., JÚNIOR, H., CASARIN, S.

Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.21, p. 90-97, 2011.

SALCHER, A.; HOWARTH, J. L. L.; MOLINARI, E. J.; FOGGIATTO, J. A. Utilização de copolímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS) reciclado no processo de modelagem por fusão e deposição (FDM). 7º Congresso Brasileiro de engenharia de fabricação. Penedo, Itatiaia, RJ, 2013.

SUZUKI, M.; WILKIE, C. A. *The thermal degradation of acrylonitrile butadiene styrene terpolymer as studied by TGA/FTIR. Polymer Degradation and Stability*, p. 217-221, 1994.

TEIXEIRA, L. A.; SANTINI, M. C. *Surface conditioning of ABS for metallization without the use of chromium baths. Journal of Materials Processing Technology*, v. 170, p. 37-41, 2005.

THANH TRUC, N. T., LEE, B.-K. *Selective separation of ABS/PC containing BFRs from ABSs mixture of WEEE by developing hydrophilicity with ZnO coating under microwave treatment. Journal of Hazardous Materials*, v.329, p. 84–91, 2017.

VIDAL, R.; ALBEROLA-BORRÀS, J.-A.; GÓMEZ-CORDÓN, J.; MOLINER, E., ORTEGA, A., E VERDEJO, E. LCA. *Evaluate the Environmental Impact for Chemical Pre-treatment in Plastics Metallization. Journal of Polymers and the Environment*, v. 25, p. 961–972, 2016.

ZHAO, Y., LV, X., NI, H., *Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A review, Chemosphere*, v. 209, p. 707-720, 2018.

8. Matéria encaminhada para publicação

Resumo: Saldanha, N. B.; Kurek, A. P.; Sellin, N. Avaliação do condicionamento químico e cromagem da superfície de peças em PC e blendas PC/ABS. 6ª Semana UNIVILLE de Ciência, Sociedade e Tecnologia – SUCST, 23 a 26 de outubro, 2019, Joinville, SC.

Trabalho completo: Kurek, A. P.; Saldanha, N. B.; Seara, M. R.; Sellin, N. Avaliação do condicionamento químico e cromagem de peças de PC reciclado e blendas PCreciclado/ABS. 30º. Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente e 30ª. Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 17 a 19 de setembro, 2019, São Paulo, SP.

9. Perspectivas de continuidade ou desdobramento do trabalho

As atividades previstas na proposta foram concluídas e novos estudos baseados no uso de soluções condicionantes isentas de cromo hexavalente serão avaliadas para condicionamento das blendas ABS/PC e ABS/PCr visando cromagem.

10. Outras atividades de interesse universitário

Participação no Workshop “Análises rápidas e não destrutíveis de peças galvanizadas e de soluções de banhos via Fluorescência de Raios – X (Fischer)”, set/2019.

Palestras: Reatores catalíticos (16/09/2019); Validação de métodos analíticos físico-químicos aplicáveis e análise de medicamentos (17/09/2019).

Consultoria em Engenharia Química – EPEC (2019).

11. Apoio

CNPq, Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE e Empresa Sigmacrom Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos Eireli (Araquari/SC).

12. Agradecimentos

Empresa Sigmacrom Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos Eireli e Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.
