

# Determinação do grau de inchamento em corpo de prova de polipropileno em contato com solventes industriais

## Determination of the degree of swelling in a polypropylene specimen in contact with industrial solvents

Luciana Braga da Costa\*, Moisés Teles Madureira

Como citar esse artigo. da Costa, L.B.; Madureira, M.T. Determinação do grau de inchamento em corpo de prova de polipropileno em contato com solventes industriais. Revista Teccen. 2022 Jan./Jun.; 15 (1): 43-49.

### Resumo

As resinas petroquímicas são importantes compostos que derivam de frações do petróleo e são as principais matérias primas para a produção de bens de consumo, tais como plásticos, embalagens, revestimentos, acessórios, equipamentos de proteção e segurança, peças de reposição etc. Dada a remanescente tendência de crescimento da produção de petróleo, a possibilidade de oferta de novos produtos ao mercado se torna ainda maior. Enfim, a ampla diversidade de aplicação desses materiais permite a pesquisa e o desenvolvimento de muitos produtos. No presente trabalho foi realizado um estudo acerca da resina de polipropileno, método de obtenção e aplicações no mercado. Em virtude do vasto campo de aplicação, entendeu-se conveniente a oportunidade de estudar também a interação dessa resina com solventes utilizados na indústria. Nesse contexto, buscou-se avaliar a resistência química do plástico de polipropileno quando exposto ao envelhecimento (por inchamento) em solventes. Os solventes industriais escolhidos foram, querosene, thinner e óleo diesel. Os testes de inchamento duraram 59 dias. Após o período de testes, observou-se que os solventes escolhidos interagiram fisicamente com o polipropileno (PP), e que após secagem em estufa para volatilização do solvente, o polímero retornou ao seu peso inicial, apresentando uma boa performance e indicando a possibilidade de se eleger como um material que apresente um comportamento estável quando em contato com os solventes querosene e óleo diesel. Ressalta-se a orientação para uma continuidade de testes, visando uma avaliação mais consistente sobre a estabilidade do PP e o desenvolvimento de novos materiais para o mercado.

**Palavras-Chave:** Petroquímica, polipropileno, teste de envelhecimento.

### Abstract

Petrochemical resins are important compounds that derive from petroleum fractions and are the main raw materials for the production of consumer goods, such as plastics, packaging, coatings, accessories, protection and safety equipment, spare parts, etc. Given the remaining growth trend in oil production, the possibility of offering new products to the market becomes even greater. Finally, the wide application diversity of these materials allows the research and development of many products. In the present work, a study was carried out about the polypropylene resin, method of obtaining and applications in the market. Due to the vast field of application, it was considered convenient the opportunity to also study the interaction of this resin with solvents used in the industry. In this context, we sought to evaluate the chemical resistance of polypropylene plastic when exposed to aging (swelling) in solvents. The industrial solvents chosen were kerosene, thinner and diesel oil. The swelling tests lasted 59 days. After the testing period, it was observed that the chosen solvents physically interacted with the polypropylene (PP), and that after drying in an oven to volatilize the solvent, the polymer returned to its initial weight, showing a good performance and indicating the possibility of to be chosen as a material that presents a stable behavior when in contact with kerosene and diesel oil solvents. We emphasize the orientation towards a continuity of tests, aiming at a more consistent assessment of the stability of PP and the development of new materials for the market.

**Keywords:** Petrochemical, polypropylene, aging test.

## Introdução

A petroquímica é a atividade industrial de produção de derivados de petróleo. Ela pode ser definida como a parcela da indústria química cujos produtos são originados do petróleo e/ou do gás natural. Portanto, é o ramo da indústria química que usa o petróleo e o gás natural ou seus derivados como matéria-prima. E os seus resultados são utilizados como insumos por uma enorme variedade de indústrias voltadas para o

atendimento de grande parte das necessidades humanas (Confederação Nacional do Ramo Químico, 2015).

O polipropileno (PP) é um produto da segunda geração da indústria petroquímica. Em 2018, a Braskem, uma das maiores petroquímicas do cenário mundial, foi responsável pela venda de 3,4 milhões de toneladas de resinas. O polipropileno (PP) é a terceira resina mais consumida no país, depois do polietileno de alta densidade (PEAD) e do polietileno de baixa densidade (PEBD/PELBD), respectivamente (ABIPLAST, 2018).

Para Moglia (2004), usar polipropileno em vez

Afiliação dos autores:

Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil.

\* Email para correspondência: lucianacostapbi@hotmail.com

Recebido em: 17/02/22. Aceito em: 16/06/22.

de papelão, vidro, amianto e outras resinas, proporciona vantagens como redução de custo, elevação do valor agregado ao produto final e ganhos de logística.

Uma análise importante sob o foco desse trabalho, são as diversas aplicações do plástico de polipropileno no dia a dia, devido suas diversas vantagens em relação a outros materiais presentes no mercado.

Um critério a ser estudado quando se deseja utilizar um termoplástico em uma indústria é o comportamento desta resina em contato com solventes industriais, devido à exposição poder causar mudanças nas estruturas químicas e/ou mecânicas do material, diminuindo assim, sua vida útil. O contato de resinas com líquidos pode gerar inchamento. Nesse caso,

o solvente se difunde na estrutura do material, fazendo com que as macromoléculas se separem, gerando aumento de volume do polímero. Ademais, a separação dessas macromoléculas resulta em uma diminuição das forças intermoleculares, gerando um polímero mais dúctil e menos resistente (CALLISTER, 2008; RUEDA et al., 2015; TORRES et al. 2010).

Para Cunha (2017), sobre a substituição de aço inoxidável em uma coluna de destilação por material polimérico de menor custo, o polipropileno (PP), assim como o polietileno de alta densidade (PEAD), apresentaram resultados satisfatórios quando submetidos à testes químicos de inchamento, por imersão durante 30 dias em etanol, além de obter bons resultados dessas resinas no teste de flexão.

De acordo com Filho (2002), no que se refere ao comportamento dos termoplásticos poliacetal (POM) e polibutileno tereftalato (PBT) em contato com combustíveis, ficou demonstrada a influência de álcool e gasolina nos plásticos de engenharia POM e PBT. Observou-se que para a mesma condição de temperatura, as amostras de POM envelhecidas em álcool tiveram maiores alterações na massa do corpo-de-prova do que as amostras submetidas ao teste com gasolina. Sobre o PBT, o teste de envelhecimento em gasolina gerou maior alteração de massa, em comparação com o teste realizado no álcool.

O objetivo deste projeto foi avaliar o comportamento da resina termoplástica de polipropileno (PP), em relação à sua resistência química, quando corpos-de-prova deste material forem submetidos ao inchamento após imersão e envelhecimento em reagentes industriais: óleo diesel, querosene e thinner.

## Metodologia

Para esse estudo foi realizado um levantamento de informações sobre especificações técnicas de resina de polipropileno, através de normas reconhecidas (*American Society for Testing and Materials – ASTM*) sobre realização de testes químicos em resinas

termoplásticas. Realizou-se a aquisição de chapas de resinas de polipropileno para serem submetidas à testes de contato com solventes industriais, visando avaliação das propriedades físicas do material.

Além disso, foi realizada a compra de solventes industriais (diesel, thinner e querosene) no mercado consumidor para realizações de testes específicos com corpos de provas (de polipropileno) em condições laboratoriais de temperatura e pressão ambiente e teste em estufa a 60°C, na Universidade de Vassouras.

A avaliação dos resultados, através de teste de inchamento descrito na ASTM D543 – Práticas Padrão para Avaliação da Resistência de Plásticos a Reagentes Químicos, para um corpo de prova no formato de barra, afim de identificar, após imersão nos referidos solventes industriais, alterações em seus pesos, dimensões e integridade dos corpos de provas.

A matéria-prima utilizada na produção dos corpos de prova foi uma chapa de polipropileno fabricada a partir de duas resinas: HP500D e CP741.

A chapa, de dimensão 2000 mm x 1000 mm x 3 mm (espessura), produzida através do processo de extrusão, foi fornecida pela AMEUROPLAST COMÉRCIO DE PLÁSTICOS LTDA (CIPLAST).

Os corpos de prova (CPs) foram confeccionados no Laboratório de Usinagem do IFRJ - Campus Paracambi,

Rio de Janeiro, Brasil. Utilizou-se disco de corte e fresadora ferramenta, do fabricante VEKER, modelo 420i, no processo de confecção. A figura 1 ilustra a fresadora utilizada para a usinagem dos corpos-de-prova.



**Figura 1.** Fresadora ferramenta do IFRJ - Campus Paracambi.

Fonte: Autores, 2021.

A resistência química do PP foi estudada a partir do contato direto dos corpos-de-prova com os reagentes, através do ensaio de inchamento, no qual amostras de CPs são imersas em solvente e deixadas por um determinado número de dias até serem retiradas

para passarem por processo de secagem antes da determinação de suas massas. Os reagentes escolhidos, neste estudo, foram o óleo diesel, thinner e querosene.

Os nove corpos-de-prova confeccionados padrão barra da ASTM D543 foram pesados em balança analítica da marca Gehaka, modelo AL 200C e faixa de medição de 0,02 g à 200 g. As dimensões dos CPs foram determinadas por paquímetro de aço 150 mm 6 Polegadas, com precisão de 0,02 mm.

O teste de inchamento foi realizado em triplicata no Laboratório de Engenharia Química da Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro,

Brasil, sob condições de temperatura ambiente de aproximadamente 23°C. A figura 2 ilustra a experiência em triplicata dos CPs submersos no óleo diesel.



**Figura 2.** Corpos de prova submersos em Óleo Diesel.

Fonte: Autores, 2021.

Foram realizadas as medições das dimensões e as pesagens dos corpos de prova antes do envelhecimento em solventes (Dia 0). Após 7 dias de imersão, os CPs foram retirados dos solventes para realização das pesagens e medições. Em seguida, os CPs foram novamente colocados em imersão. O período total definido para o envelhecimento do PP foi de 59 dias. No dia 59, os CPs foram retirados do solvente para serem feitas as medições das dimensões e pesos. Em sequência, foram realizadas as etapas posteriores, de volatilização natural (temperatura ambiente) e volatilização em estufa.

Foi observado que durante o envelhecimento dos CPs em thinner, houve volatilização do solvente presente no Bécher após o período de 7 dias. Por isso, esse solvente foi retirado do estudo e não foi calculado o grau de inchamento para PP em thinner após 59 dias. As medidas obtidas dos corpos-de-prova imersos em querosene e óleo diesel foram necessárias para a determinação do grau de inchamento do polímero após o

período determinado, conforme definido pela equação I.

$$\text{Grau de Inchamento (\%)} = \frac{(W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}})}{W_{\text{dry}}} \times 100 \quad (I)$$

Onde,  $W_{\text{et}}$  é a massa (em gramas) do material molhado e  $W_{\text{dry}}$  é a massa do material seco.

## Revisão de Literatura

### Polímeros

Segundo Canevarolo Jr (2006), o termo polímero é oriundo do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Nesse sentido, polímero é um macromolécula composta por diversas unidades de repetição, chamadas de meros, unidas por ligação covalente. O monômero, molécula com uma unidade de repetição, é a matéria prima para a produção do polímero. De acordo com o tipo de monômero empregado, do número de unidades por cadeia e do tipo de ligação covalente, os polímeros podem ser divididos em plásticos, borrachas e fibras.

Os polímeros podem ser classificados de diferentes maneiras, dependendo do objetivo de quem os classifica. As formas mais comuns de classificação são: do ponto de vista da estrutura química; do método de preparação; das características tecnológicas e do comportamento mecânico (MANRICH, 2005).

De acordo com as características tecnológicas, os polímeros são classificados em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros que podem ser fundidos e solidificados várias vezes, com nenhuma ou pouca variação de suas propriedades básicas, enquanto os termofixos são polímeros que, ao sofrerem o processo de cura (ligações cruzadas), não podem ser fundidos ou dissolvidos sem que ocorra a degradação de sua estrutura química (MANRICH, 2005).

Os polímeros podem ter suas propriedades alteradas quando expostos a líquidos. O teste de imersão em líquidos é utilizado para determinar a influência desses produtos nas características do polímero. A realização do teste envolve a imersão do corpo de prova em fluidos sob condições de temperatura e tempo pré-determinadas. A variação final de peso ou volume após a imersão pode indicar uma certa resistência do polímero ao produto, no entanto, para algumas aplicações do polímero, faz-se necessário a avaliação de suas propriedades por meio de testes mecânicos. Para NAGDI (1987), um baixo inchamento nem sempre indica uma boa resistência a líquidos, porque esta exposição pode causar grande deterioração das propriedades físicas.

As propriedades de um polímero, como o inchamento por líquido, dependem de vários fatores, tais como: formato do polímero, da distribuição do

comprimento das cadeias poliméricas, natureza química e grau de cristalinidade. Esses elementos influenciam nas propriedades do polímero como resistência química, inflamabilidade, aparência, propriedades elétricas, dureza, dentre outros. (SEIXAS, 2013).

## Propeno ou propileno

O propeno (ou propileno), é produzido a partir da Pirólise a Vapor de cargas de gás natural, nafta, GLP e gás refinaria, sendo as duas últimas fontes menos usuais. Meirelles, Silva e Rajagopal (2014), descreve que a principal rota para a produção das olefinas leves é o craqueamento a vapor de hidrocarbonetos. As reações químicas nesse caso envolvem a quebra de ligação, e uma grande quantidade de energia é necessária para a formação da dupla ligação. De acordo com Petry (2011), o propeno é um hidrocarboneto insaturado de fórmula  $C_3H_6$ .

## Polipropileno (PP)

O polipropileno é produzido a partir da polimerização do propeno, um subproduto dos gases do refino do petróleo, na presença de um catalisador sob condições controladas de pressão e temperatura. (CORRÊA, 2007).

O polipropileno (PP) é um dos polímeros termoplásticos mais utilizados pela indústria, com uma diversidade de aplicações que incluem embalagens rígidas e flexíveis, descartáveis, tubos e produtos injetados para os mais variados usos. A indústria petroquímica disponibiliza vários tipos de polipropilenos, quais sejam: PP homopolímero, PP copolímero heterofásico e PP copolímero randômico. O PP homopolímero contém apenas o monômero propeno em sua cadeia molecular e, sendo predominantemente de configuração isotática, pode atingir um grau de cristalinidade de até 60%. (NASCIMENTO, TIMÓTEO e RABELLO, 2013).

O PP possui como uma de suas características principais, boa resistência química. A temperatura limite para sua aplicação, é de aproximadamente  $120^{\circ}C$ , quando não está submetido a esforços mecânicos. Nos casos em que o PP esteja sob solicitações mecânicas, acima de  $75^{\circ}C$ , este material inicia a sua deformação. Segundo GUEDES e Filkauskas (1986) em geral, a resistência química dos termoplásticos é boa, depende do tipo de polímero a ser usado e do solvente a qual essa resina será exposta.

## Processos de polimerização do polipropileno

De acordo com Petry (2011), no ano de 1954, Giulio Natta desenvolveu o polipropileno. Os processos utilizados para a produção do polipropileno foram projetados para lidar com as limitações dos catalisadores tipo Ziegler Natta, disponíveis no mercado. Para se obter um PP adequado, era necessário realizar a separação dos polímeros atáticos e a remoção do catalisador

presente no polímero (Moore, 1996). Com a evolução dos catalisadores empregados no processo, a produção desse tipo de resina foi simplificada. Hoje, os processos de polimerização do polipropileno mais comuns, são: Processo de polimerização em lama (*slurry*), polimerização em solução, polimerização em massa (*bulk*), polimerização em fase gás. (REGINATO, 2001)

## Envelhecimento de um polímero

De acordo com Torres (2007), o envelhecimento, ou degradação, é gerado através de uma reação química destrutiva dos polímeros, e pode ser desencadeada através da interação do mesmo com um agente químico ou físico. O envelhecimento pode gerar uma alteração irreversível na estrutura do material, pois a nível molecular, esse fenômeno pode modificar a sua composição, estrutura química do material ou a morfologia. A degradação do material polimérico é identificada através de diversos efeitos, são eles: alteração nas propriedades mecânicas, elétricas, químicas e térmicas, aumento da geometria do material, também conhecido como inchamento. Essa deterioração, portanto, reduz a vida útil do material. Nesse sentido, entender os modos de envelhecimento é importante para prevenir, controlar e obter o prognóstico de quando e de que modo o material irá falhar. (TORRES, 2007)

## Processos de envelhecimento

Os dois modos de deterioração por envelhecimento são divididos em: envelhecimento químico e envelhecimento físico. O envelhecimento químico afeta a estrutura química do polímero. A degradação física, por sua vez, não atinge as cadeias poliméricas, mas, gera mudanças em suas propriedades. (TORRES, 2007)

## Envelhecimento químico

No envelhecimento químico, os processos possuem como características a quebra de cadeias moleculares e a formação de macro radicais. São eles:

- A oxidação, gerada pelo ataque e a reação do oxigênio atmosférico, ou em um líquido, que força a produção de unidades secundárias (peróxidos e hidroperóxidos) (TORRES, 2007);
- A degradação térmica, gerada por excesso de temperatura. A energia das ligações químicas que constituem os polímeros influencia diretamente na temperatura de degradação térmica. Tal energia, é influenciada pelo número de ramificações na cadeia polimérica, pelos substituintes a longo da cadeia e pela presença ou não de comonômeros. (DE PAOLI, 2008).

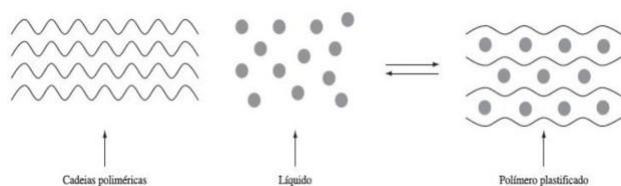
De modo geral, os materiais poliméricos possuem baixa condutividade térmica. Devido a isto, o tempo

de exposição à determinada temperatura, associado a velocidade de aquecimento, desempenharão um papel importante na estabilidade térmica. (DE PAOLI, 2008).

A combinação dos meios de envelhecimento químico é algo comum. Quando um polímero é exposto à degradação por intempéries, por exemplo, há a oxidação gerada pelo ataque do oxigênio atmosférico e também a fotodegradação, ocasionada pela ação de raios ultravioletas. Além disso, a deterioração por envelhecimento pode ser fomentada devido à esforços mecânicos gerados pela aplicação do polímero, exposição à alta temperatura solar, dentre outros. (TORRES, 2007)

## Envelhecimento físico

O envelhecimento físico é gerado por difusão, ou seja, pela penetração de determinada substância entre as cadeias poliméricas. Nesse caso, a molécula da substância a ser difundida (líquido) utiliza o volume livre entre as cadeias do polímero (região amorfa) para se instalar. A figura 3 apresenta uma difusão de um líquido em um polímero, fenômeno que geralmente acontece sem reação química. (Torres, 2007).



**Figura 3.** Representação esquemática da difusão de um líquido em um polímero.

Fonte: Torres, 2007.

A permeabilidade é um processo de transporte que quando ocorre na matriz polimérica, pode gerar o envelhecimento físico. As moléculas do líquido se difundem no volume livre existente entre as cadeias poliméricas, sem que haja reação química. O mecanismo de difusão do líquido pela estrutura do polímero depende da morfologia do polímero, grau de cristalinidade (caso dos polímeros termoplásticos semicristalinos) e grau de reticulação (caso das borrachas e dos polímeros termofixos). (Pereira, 2014)

## Resultados

O polipropileno é um termoplástico resistente a diversos agentes químicos, em temperatura ambiente e até mesmo em condições mais severas. De acordo com os testes de resistência química realizados na resina de

polipropileno, pode-se observar o comportamento do polímero estudado relacionado ao grau de inchamento, parâmetro indicativo da possível difusão dos solventes sobre a estrutura do polipropileno (envelhecimento físico).

## Inchamento do PP em querosene

Os corpos de prova submersos em querosene foram identificados como CP 01, CP 02 e CP 03. As dimensões e peso de cada corpo de prova de antes e depois do processo de envelhecimento e estão expressos na Tabela 1.

## Inchamento do PP em Óleo Diesel

Os corpos de prova submersos em óleo diesel foram identificados como CP 07, CP 08 e CP 09. As dimensões e peso de cada corpo de prova de antes e depois do processo de envelhecimento estão expressos na Tabela 2.

## Inchamento em querosene x inchamento em óleo diesel

Durante o envelhecimento das resinas em querosene e em óleo diesel, pelo período de 59 dias de imersão, foram realizadas pesagens dos corpos de prova nos dias 0 (antes da imersão), dia 7 e dia 59. Após retirada dos CPs para evaporação dos solventes através da volatilização em temperatura ambiente e em estufa, também foram realizadas pesagens para obtenção do grau de inchamento, conforme exposto na Tabela 3.

## Discussão

A imersão dos corpos de prova em querosene foi realizada por 59 dias. Durante esse período, houve absorção de querosene pelo PP. Após os primeiros 7 dias de imersão, os corpos-de-prova foram retirados do querosene para medição e pesagem. Verificou-se que durante a primeira semana de teste, os CPs 01, 02 e 03 tiveram aumento de massa de 4,10%, 4,30% e 4,15%, respectivamente.

Após as medições, os corpos-de-prova foram novamente levados à imersão no querosene para continuação do teste de envelhecimento até completar o período de 59 dias. A variação de volume (inchamento) do CPs após 59 dias foi de, respectivamente 24,33%, 24,25% e 25,03%. Em relação ao peso inicial (dia 0), os CPs 01, 02 e 03 sofreram aumentos de pesos aproximadamente de 16,93%, 17,57% e 03 16,93%, respectivamente.

Ao término dos 59 dias de imersão no querosene, em temperatura ambiente, os CPs foram removidos do meio e inchados e deixados sobre a bancada do laboratório

**Tabela 1.** Dimensões dos corpos de prova envelhecidos em querosene, sendo: comprimento (C), largura (L), espessura (E) e peso (P).

	Dimensões e peso	Dia 0 (a)	Dia 7 (b)	Dia 59 (c)	Dia 70 (d)	Dia 77 (e)
CP 01	C (mm)	76,50	76,90	79,90	78,60	76,50
	L (mm)	25,80	25,80	27,10	26,40	25,80
	E (mm)	3,00	3,10	3,40	3,20	3,10
	P (g)	5,37	5,59	6,28	5,84	5,37
CP 02	C (mm)	75,80	76,00	79,40	77,70	75,90
	L (mm)	25,70	25,90	26,90	26,30	25,60
	E (mm)	3,00	3,10	3,40	3,30	3,10
	P (g)	5,35	5,58	6,29	5,81	5,35
CP 03	C (mm)	76,00	76,10	79,50	77,80	76,00
	L (mm)	25,60	25,70	27,00	26,40	25,70
	E (mm)	3,00	3,10	3,40	3,30	3,10
	P (g)	5,30	5,52	6,21	5,76	5,32

- (a) antes da imersão;  
 (b) período de 7 dias em imersão;  
 (c) período de 59 dias em imersão;  
 (d) 11 dias de volatilização natural, após o 59º dia;  
 (e) 7 dias em estufa, após o 70º dia.

Fonte: Os autores, 2021.

**Tabela 2.** Dimensões dos corpos de prova envelhecidos em óleo diesel.

	Dimensões e peso	Dia 0 (a)	Dia 7 (b)	Dia 59 (c)	Dia 70 (d)	Dia 77 (e)
CP 07	C (mm)	76,50	76,50	76,80	76,80	76,20
	L (mm)	25,80	25,80	26,90	26,90	25,80
	E (mm)	3,00	3,10	3,10	3,10	3,10
	P (g)	5,31	5,37	5,49	5,45	5,31
CP 08	C (mm)	76,30	76,30	76,60	76,40	76,10
	L (mm)	25,80	25,80	25,90	25,90	25,70
	E (mm)	3,00	3,10	3,10	3,10	3,10
	P (g)	5,30	5,36	5,47	5,44	5,30
CP 09	C (mm)	76,00	76,10	76,30	76,20	76,00
	L (mm)	25,50	25,50	25,80	25,70	25,50
	E (mm)	3,00	3,10	3,20	3,10	3,10
	P (g)	5,22	5,29	5,40	5,39	5,23

- (a) antes da imersão;  
 (b) período de 7 dias em imersão;  
 (c) período de 59 dias em imersão;  
 (d) 11 dias de volatilização natural, após o 59º dia;  
 (e) 7 dias em estufa, após o 70º dia.

Fonte: Os autores, 2021.

**Tabela 3.** Grau de inchamento do PP após ensaio de resistência química.

Identificação corpo-de-prova	Solvente	Grau de Inchamento (%)			
		7 dias	59 dias	70 dias	77 dias
CP 01	Querosene	4,0968	16,94	8,7523	0
CP 02	Querosene	4,2990	17,57	8,5981	0
CP 03	Querosene	4,1509	17,1698	8,6792	0,3773
CP 07	Óleo Diesel	1,1299	3,3898	2,6365	0
CP 08	Óleo Diesel	1,1320	3,2075	2,6415	0
CP 09	Óleo Diesel	1,3409	3,4482	3,2567	0,1915

Fonte: Os autores, 2021.

para o processo de volatilização natural, por um período de 7 dias. Após corridos os 7 dias, observou-se que os CPs perderam massa, conforme exposto na Tabela 1.

O Quadro 1 exibe os valores correspondentes às variações unitária e percentual de peso dos CPs01, 02 e 03 durante os testes (entre o 59º e o 70º dia).

**Quadro 1.** Variações de peso após o 70º dia (querosene).

	Variação de peso (g)	Variação de peso (%)
CP 01	- 0,439	7,00
CP 02	- 0,480	7,63
CP 03	- 0,449	7,23

Fonte: Os autores, 2021.

Em relação ao CP 01, o mesmo obteve perda de 0,439 g em relação ao peso após o inchamento de 59 dias (cerca de 7%), enquanto para o CP02, a perda foi de 7,63% (menos 0,48 g desde o inchamento) e para o CP03 a perda foi de 0,449 g (7,23% do peso após o envelhecimento).

Na sequência, foi observado que durante a etapa de secagem em estufa, por 7 dias, houve mais perda de massa dos corpos de prova, que retornaram ao peso inicial (antes da imersão em querosene).

Assim como ocorrido no envelhecimento dos CPs em querosene, observou-se que os corpos de prova em contato com óleo diesel, tiveram suas dimensões e peso alterados em função da permeabilidade do solvente. Após 7 dias de imersão, os corpos de prova foram retirados do diesel para pesagem e medição. Foi observado que, durante esse período, os corpos de prova CP 07 e CP 08 sofreram aumento de peso de 1,13%, enquanto para o CP 09, o aumento

de peso foi de 1,34% em relação ao peso inicial.

Os CPs foram novamente reinseridos no óleo diesel e ao término de 59 dias, concluiu-se o acompanhamento da experiência de envelhecimento. Retirou-se os CPs do solvente para as medições finais.

O Quadro 2 exibe os valores correspondentes às variações unitária e percentual de peso dos CPs07, 08 e 09 durante os testes (entre o 59º e o 70º dia).

De acordo com os dados obtidos nos quadros 1 e 2 e na tabela 3, pode-se observar que as resinas envelhecidas em querosene tiveram uma maior variação de peso e conseqüentemente, um grau de inchamento (%) superior ao inchamento em óleo diesel, durante todo o período de imersão. No entanto, após secagem por volatilização natural e em estufa, nos dias 70 e 77, observou-se que os corpos-de-prova de ambos os testes retornaram aos valores iniciais de peso, obtendo grau de inchamento

**Quadro 2.** Variações de peso após o 70º dia (óleo diesel).

	Variação de peso (g)	Variação de peso (%)
CP 07	- 0,04	0,73
CP 08	- 0,03	0,55
CP 09	- 0,01	0,19

Fonte: Os autores, 2021.

igual a zero para praticamente todos os corpos de prova.

A Tabela 04 exibe, em síntese, os cálculos dos parâmetros Mediana, Média, Mínimo, Máximo, Variação e Desvio Padrão em relação às mudanças da variável “Peso” (dos CPs), aolongodetodaexperiancerealizada.

Observando a Tabela 04, verifica-se que as medições dos pesos dos CPs imersos em querosene apresentaram valores superiores aos pesos dos CPs

**Tabela 4.** Cálculos dos parâmetros Mediana, Média, Mínimo, Máximo Variação e Desvio Padrão dos pesos dos CPs ao término da pesquisa.

Função	Querosene	Óleo Diesel
	Peso (g)	
Mediana	5,58	5,36
Média	5,66	5,36
Mínimo	5,30	5,22
Máximo	6,29	5,49
Variação	0,12	0,01
Desvio Padrão	0,34	0,08

Fonte: Os autores, 2021.

## Considerações finais

O ensaio de inchamento no polipropileno permitiu concluir que os solventes industriais escolhidos para o estudo, querosene e óleo diesel, interagem com o polímero. Os resultados de ambos os testes indicam uma interação apenas física entre a resina e os solventes, visto que, após a volatilização, os corpos-de-prova tiveram perda de massa e retornaram aos valores iniciais de peso e dimensões.

Nesse sentido, é importante ressaltar que o polipropileno em contato com os solventes industriais estudados, apresentou boa performance, visto que, aparentemente, não obteve envelhecimento químico com óleo diesel e querosene.

Os testes realizados neste projeto não se refletem evidentemente numa conclusão definitiva sobre o comportamento do material de PP. Para contribuir com uma consolidação dos dados obtidos é importante dar sequência à pesquisa contemplando

testes que possam avaliar o PP quimicamente, bem como testar as propriedades mecânicas do material antes e após o período de imersão nos solventes.

A decisão de não prosseguir até o final com a experiência utilizando thinner levou a um resultado não bem-sucedido com esse solvente, uma vez que ocorreu um processo de evaporação excessivo do solvente nos primeiros dias do experimento. Tal fato, abre a oportunidade para realização de nova experiência no futuro, a fim de se avaliar o comportamento do PP perante o thinner, com adoção de procedimentos que permitam um melhor controle das condições ambiente e evitem uma evaporação excessiva do solvente.

Considerando que a produção nacional brasileira de petróleo é um processo que demonstra uma tendência de crescimento, pode-se concluir que uma maior oferta de produtos derivados do petróleo para o mercado, também indica um cenário de crescimento, incluindo as resinas petroquímicas. Assim, além da possibilidade de queda nos preços desses produtos, também haverá a possibilidade de mais pesquisas, com o objetivo de criar novas funcionalidades para tais materiais e novos mercados, bem com a criação de outras necessidades de consumo.

## Agradecimento

Os autores agradecem às valiosas colaborações feitas pelo Laboratório de Usinagem do IFRJ - Campus Paracambi, refletidas na disponibilidade de acesso às suas instalações, bem como pela permissão de uso dos equipamentos necessários à realização desta pesquisa.

## Referências

- ABIPLAST – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (2018). Conceitos básicos sobre materiais plásticos. Recuperado de: [http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais\\_plasticos\\_para\\_site\\_vf\\_2.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais_plasticos_para_site_vf_2.pdf).
- American Society for Testing and Materials. ASTM D543 – Práticas Padrão para Avaliação da Resistência de Plásticos a Reagentes Químicos. Recuperado de: <https://img42.chem17.com/5/20091218/633967258850697500.pdf>
- Callister, W. D. Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 7ª edição. 2008.
- Canevarolo Jr, S. V., (2006). Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª. ed. São Paulo: Artliber Editora.
- Confederação Nacional do Ramo Químico, Petroquímica e Fertilizantes, (2015). Recuperado de: <http://cnq.org.br/system/uploads/publication/d917168c9cd337e34d7ead8843299376/file/petroquimica-e-fertilizantes-b.pdf>
- Corrêa, A. X. (2007). Avaliação da influência da degradação com peróxidos nas propriedades de polipropileno randômico com eteno ou buteno, p.89. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Recuperado de: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13345/000637059.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cunha, C. B. (2017). Substituição do aço inoxidável em uma coluna de destilação por material polimérico de menor custo. Universidade Federal de Santa Maria. Recuperado de: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14583/DIS\\_PPGEQ\\_2017\\_CUNHA\\_CAROLINE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14583/DIS_PPGEQ_2017_CUNHA_CAROLINE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De Paoli, M. A., (2008). Degradação e estabilização de polímeros. Editado por: Joao Carlos de Andrade. 2a ed. rev. Recuperado de: <http://www.chemkeys.com/>

- blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf
- Do Nascimento, U. A.; Timóteo G. A. V.; Rabello, M. S. Efeito de plastificantes à base de poliisobutenos nas propriedades físicas e mecânicas do polipropileno. *Polímeros*, v.23, n.2, p. 257-261, 2013.
- Filho, P. R. C. C., (2002). Comportamento dos termoplásticos POM e PBT em contato com combustíveis. Departamento de engenharia mecânica de PUC Minas. Recuperado de: [http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica\\_CoelhoFilhoPR\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_CoelhoFilhoPR_1.pdf)
- Guedes, B.; Filkaskas, M. E., (1986). O plástico. 4ª edição., 156p. São Paulo: Erica.
- Jeong, J. H.; Kwak, D. S.; Jeong, H. M., (2016). Waterborne polyurethane modified with poly (ethylene glycol) macromer for waterproof breathable coating. *Progress in Organic Coatings*.
- Manrich, S. Processamento de Termoplásticos. Artliber Editora Ltda, São Paulo, 2005.
- Meirelles, Silva e Rajagopal, 2014. Caracterização da nafta petroquímica para a produção de aromáticos. Recuperado de: <http://pdf.blucher.com.br.s3.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1080-21176-159377.pdf>. Acesso em 06/12/2021.
- Moglia (2004). Pesquisa, criatividade e revolução. Odebrecht informa online, nº 114. Recuperado de: <http://www.odebrechtonline.com.br/materias/00101-00200/149/>.
- Moore, E. P. Polypropilene Handbook. Hanser Publishers. 1996.
- Nagdi, K. Manuale della Gomma. Tecniche Nuove, 1987.
- Pereira, T. M. (2014). Efeito dos Solventes Orgânicos sobre o Comportamento Físico-Químico do polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP). Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/po/a/5y6BfGbDc7WzGyZyFNTvCSD/?format=pdf&lang=pt>
- Petry (2011). Mercado brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico. Recuperado de: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/36895/000793010.pdf>
- Ram. A., (1997). Fundamentals of Polymer Engineering; Springer – Verlag.
- Reginato, A. S. (2001). Modelagem e simulação dos reatores de polimerização em fase líquida do processo spheripol. Recuperado de: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3317/000336021.pdf>.
- Seixas, M. V. S., (2013). Materiais poliméricos para contato com etanol em condições agressivas. Recuperado de: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-22092014-155801/publico/Dissertacao\\_Marcus\\_Seixas.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-22092014-155801/publico/Dissertacao_Marcus_Seixas.pdf)
- Rueda F, Torres J, Machado M, Frontini P, Otegui J. External pressure induced buckling collapse of high density polyethylene (HDPE) liners: FEM modeling and predictions. *Thin-Walled Structures*. 2015;96:56-63.
- Torres, A. A. U., (2007). Envelhecimento físico-químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregada em redes de distribuição de derivados de petróleo. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Recuperado de: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=11035@1>
- Torres A, D'Almeida J, Habas J., (2010). Avaliação do efeito de um óleo parafínico sobre o comportamento físico-químico de tubulações de polietileno de alta densidade. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/po/a/YmWXyxB7Cd3Vh8yhwh98zXS/?format=pdf&lang=pt>