



Relatório do Software Anti-plágio CopySpider

Para mais detalhes sobre o CopySpider, acesse: <https://copyspider.com.br>

Instruções

Este relatório apresenta na próxima página uma tabela na qual cada linha associa o conteúdo do arquivo de entrada com um documento encontrado na internet (para "Busca em arquivos da internet") ou do arquivo de entrada com outro arquivo em seu computador (para "Pesquisa em arquivos locais"). A quantidade de termos comuns representa um fator utilizado no cálculo de Similaridade dos arquivos sendo comparados. Quanto maior a quantidade de termos comuns, maior a similaridade entre os arquivos. É importante destacar que o limite de 3% representa uma estatística de semelhança e não um "índice de plágio". Por exemplo, documentos que citam de forma direta (transcrição) outros documentos, podem ter uma similaridade maior do que 3% e ainda assim não podem ser caracterizados como plágio. Há sempre a necessidade do avaliador fazer uma análise para decidir se as semelhanças encontradas caracterizam ou não o problema de plágio ou mesmo de erro de formatação ou adequação às normas de referências bibliográficas. Para cada par de arquivos, apresenta-se uma comparação dos termos semelhantes, os quais aparecem em vermelho.

Veja também:

[Analisando o resultado do CopySpider](#)

[Qual o percentual aceitável para ser considerado plágio?](#)



Versão do CopySpider: 2.2.2

Relatório gerado por: david.passinhas@edu.ufes.br

Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55552/2/PET-ol uma nova classe de poli%C3%B3is na s%C3%ADntese de poliuretanos.pdf	98	2,85
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/55552	33	1,53
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41688/28731/146094	39	0,86
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/39430/26486/131999	25	0,80
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41833/28553/145191	39	0,70
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/36713/24693/118703	38	0,63
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://searchworks.stanford.edu/view/492591	11	0,55
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://pdfs.semanticscholar.org/dfe5/10b886589a7a2d3adc5c42b75ce0b8652485.pdf	37	0,49
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe/about/submissions	10	0,21
Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf X https://periodicos.ufes.br/bjpe	7	0,21
Arquivos com problema de download		
https://www.nature.com/articles/s41586-020-2149-4	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Index 30 out of bounds for length 30	



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55552/2/PET-ol uma nova classe de poliuretanos na síntese de poliuretanos.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55552/2/PET-ol%20uma%20nova%20classe%20de%20poliuretanos%20na%20sintese%20de%20poliuretanos.pdf) (1859 termos)

Termos comuns: 98

Similaridade: 2,85%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55552/2/PET-ol uma nova classe de poliuretanos na síntese de poliuretanos.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55552/2/PET-ol%20uma%20nova%20classe%20de%20poliuretanos%20na%20sintese%20de%20poliuretanos.pdf) (1859 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO A PARTIR DE PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE
RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS A PARTIR DE PET Y PC RECICLADOS
QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O **politereftalato de etileno (PET)** e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis **precursores de poliuretanos**. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4?-difenilmetano diisocianato (MDI)** nas razões 0,8 e 1,0 utilizando **água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%**. O **teor de hidroxilas** foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioliol a partir do **PET (PET-OL)** e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioliol a partir do PC (PC-OL). **Os espectros de FTIR dos PU?s** sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de PC-OL** apresentaram MDI remanescente visto pela **banda em 2270 cm^{-1}** . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade **com o aumento do teor de água**, bem como da **razão NCO/OH**. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que



os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU?s obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU?s made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos a partir de PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados a partir de PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los



sintetizados com PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales homogéneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a **sua vida útil**. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à **reciclagem química ou terciária** pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para **síntese de novos** polímeros como os poliuretanos a partir do PET (**politereftalato de etileno**)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de **uma família de** oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a **síntese de poliuretanos**, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. **Este trabalho tem** como objetivo base, sintetizar **espumas rígidas de poliuretanos a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com **agente de expansão e** estudar o efeito da estequiometria e **do teor de** água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com **o glicerol P.A**, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida **em reator Kettle na proporção de 30% em** massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) **em relação ao** polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As **espumas de poliuretanos (PU) foram** formulados **em uma única etapa**, misturando-se os polióis obtidos com o **óleo de mamona** (20%) e



4,4?-**difenilmetano diisocianato (MDI)** nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando **como agente de expansão** a água **nos teores de 0%; 1% e 2%**. **A tabela 1 reúne as siglas** utilizadas para identificar os materiais. **A massa polimérica foi** colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 **espumas rígidas de PU**. Os polióis e **os PU?s foram caracterizados por FTIR** (Carry 630, Agilent). Determinou-se **o teor de hidroxilas** dos polióis Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580 3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

segundo **a norma ASTM D '4274-99**. Avaliou-se **a densidade aparente das espumas de PU** seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram **a norma ASTM D'570-81** em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar **a curva de sorção (%)** de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos **das espumas de poliuretanos** relacionando ao tipo de polioli, estequiometria e **ao teor de água**.

Espuma de PU Polioli Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 **min de reação** solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 **min de reação**, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. **A figura 1 apresenta os espectros de absorção** no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como **dos poliuretanos** a partir destes polióis. **É possível observar** que as bandas características de éster em 1.730 cm^{-1} , 1300 cm^{-1} e 1.100 cm^{-1} estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm^{-1} **referente a** estiramento do grupo metila (CH_3) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da **banda em 3400 cm^{-1} referente** ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. **O teor de hidroxilas** foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o PC-OL. **Os espectros de FTIR** (figura 1 a direita) **dos PU?s**

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC apresentaram MDI remanescente² visto pela **banda em 2270 cm^{-1}** .

Figura 1. Espectro **de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos** obtidos
Fonte: Autoral (2023).

As **espumas de PU** apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade **com o aumento do teor de água**, bem como da **razão NCO/OH**. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade **das espumas de poliuretano** com a estequiometria e **com o teor de água**
Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias **dos PU?s** indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, **o teor de água** nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias **das espumas de poliuretanos** em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes



(direita)

Fonte: Autoral (2023)

A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15º CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. Thermochemica Acta, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, Polymeric Materials Science and Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/55552> (507 termos)

Termos comuns: 33

Similaridade: 1,53%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/55552> (507 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO A PARTIR DE PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS A PARTIR DE PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos a partir de PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4?-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados a partir de PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos a partir de PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados a partir de PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6 \text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a **síntese de poliuretanos**, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, a partir de compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho tem como objetivo base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos a partir de PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com **agente de expansão** e estudar o efeito da estequiometria e **do teor de** água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas **de poliuretanos (PU)** foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e **4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI)** nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando **como agente de expansão** a água **nos teores de** 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 **min de reação** solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 **min de reação**, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os **espectros de FTIR** (figura 1 a direita) **dos PU?s**

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos
Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o **aumento do teor de água**, bem como da **razão NCO/OH**. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água
Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias **dos PU?s** indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.

2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.;

MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15º

CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.

3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997).

Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry.

Thermochimica Acta, v. 292, p. 95-104.

4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for

the recovery and recycling of polycarbonate from optical

media disc application, Polymeric Materials Science and

Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric

Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41688/28731/146094> (2890 termos)

Termos comuns: 39

Similaridade: 0,86%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41688/28731/146094> (2890 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO **A PARTIR DE** PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS **A PARTIR DE** PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de** PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos **a partir de** PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados **a partir de** PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales

homogéneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. **O processo de** despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho tem como objetivo base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos **a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram

caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis
Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando **uma balança analítica** e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, **com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.**

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU?

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos

Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polóis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, *Polymeric Materials Science and Engineering*, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/39430/26486/131999> (1472 termos)

Termos comuns: 25

Similaridade: 0,80%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/39430/26486/131999> (1472 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO A PARTIR DE PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS A PARTIR DE PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos a partir de PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados a partir de PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos a partir de PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados a partir de PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales

homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, a partir de compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho tem como objetivo base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos a partir de PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU?

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos

Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polóis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, *Polymeric Materials Science and Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering*, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41833/28553/145191> (3909 termos)

Termos comuns: 39

Similaridade: 0,70%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/41833/28553/145191> (3909 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO A PARTIR DE PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE
RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC
ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS A PARTIR DE PET Y PC RECICLADOS
QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos a partir de PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados a partir de PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos a partir de PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados a partir de PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, a partir de compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho tem como objetivo base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos a partir de PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram

caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU's

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU's (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos

Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU's indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polóis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, *Polymeric Materials Science and Engineering*, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/36713/24693/118703> (4341 termos)

Termos comuns: 38

Similaridade: 0,63%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/36713/24693/118703> (4341 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO **A PARTIR DE** PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS **A PARTIR DE** PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de** PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PUs obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PUs made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos **a partir de** PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados **a partir de** PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo **tipo de produto** obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos **a partir do** PET (politereftalato de etileno)². **Este tipo de** despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. **Este tipo de** despolimerização **é indicado para** polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. **O processo de** despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade **de um ou** em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho **tem como objetivo** base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos **a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, **com o objetivo de** determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU's

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU's (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos

Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU's indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. Thermochemica Acta, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, Polymeric Materials Science and Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://searchworks.stanford.edu/view/492591> (303 termos)

Termos comuns: 11

Similaridade: 0,55%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://searchworks.stanford.edu/view/492591> (303 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO A PARTIR DE PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS A PARTIR DE PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos a partir de PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados a partir de PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PUs obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PUs made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos a partir de PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados a partir de PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, a partir de compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho tem como objetivo base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos a partir de PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
 3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H2O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU?s

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos
Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água
Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. Thermochemica Acta, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, **Polymeric Materials Science and Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering**, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://pdfs.semanticscholar.org/dfe5/10b886589a7a2d3adc5c42b75ce0b8652485.pdf> (5792 termos)

Termos comuns: 37

Similaridade: 0,49%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://pdfs.semanticscholar.org/dfe5/10b886589a7a2d3adc5c42b75ce0b8652485.pdf> (5792 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO **A PARTIR DE** PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE
RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC
ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS **A PARTIR DE** PET Y PC RECICLADOS
QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de** PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioliol **a partir do** PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm^3 , típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com **o aumento do** teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia



ótica das topografias dos PU's indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos **a partir de** PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados **a partir de** PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía



óptica de las topografías de los PU indican materiales homogéneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, **ou seja, o** processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos **a partir do** PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. **O processo de** despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, **ou seja, a** reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este **trabalho tem como objetivo** base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos **a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) **em relação ao** polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando



como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU's

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU's (1730 cm⁻¹) e os sintetizados a partir de PC apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos

Fonte: Autorial (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, bem como da razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água

Fonte: Autorial (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU's indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)



Fonte: Autoral (2023)

A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. Thermochimica Acta, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, Polymeric Materials Science and Engineering, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/about/submissions> (3021 termos)

Termos comuns: 10

Similaridade: 0,21%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://periodicos.ufes.br/bjpe/about/submissions> (3021 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO **A PARTIR DE** PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE

RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS **A PARTIR DE** PET Y PC RECICLADOS

QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de** PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, **bem como da** razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos **a partir de** PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados **a partir de** PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma **Licença Creative Commons** Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. **Brazilian**

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero **que podem ser** usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. **O processo de** despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho **tem como objetivo** base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos **a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados **em uma única** etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis Esta obra está licenciada com uma **Licença Creative Commons** Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. **Brazilian**

Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU?s Esta obra está licenciada com uma [Licença Creative Commons](#) Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados [a partir de](#) PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos
Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, [bem como da](#) razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água
Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma [Licença Creative Commons](#) Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma [Licença Creative Commons](#) Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, *Polymeric Materials Science and Engineering*, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma [Licença Creative Commons](#) Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580



=====

Arquivo 1: [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://periodicos.ufes.br/bjpe> (1522 termos)

Termos comuns: 7

Similaridade: 0,21%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [Poliuretanos, Plástico, Reciclagem química.pdf \(1674 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://periodicos.ufes.br/bjpe> (1522 termos)

=====

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO **A PARTIR DE** PET E DE PC RECICLADOS QUIMICAMENTE
RIGID POLYURETHANE FOAMS MADE FROM CHEMICALLY RECYCLED PET AND PC

ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO FABRICADAS **A PARTIR DE** PET Y PC RECICLADOS
QUÍMICAMENTE

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem química; Plásticos; Poliuretanos.

KEYWORDS: Chemical recycling; Plastics; Polyurethanes.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje químico; Plásticos; Poliuretanos.

RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o policarbonato (PC) reagidos com glicerol produzem polióis precursores de poliuretanos. Foram sintetizados poliuretanos **a partir de** PET e de PC despolimerizados em glicerol reagidos com 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas razões 0,8 e 1,0 utilizando água como agente de expansão nos teores de 0%; 1% e 2%. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o polioli a partir do PET (PET-OL) e $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para o polioli a partir do PC (PC-OL). Os espectros de FTIR dos PU?s sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm^{-1}) e os sintetizados **a partir de** PC-OL apresentaram MDI remanescente visto pela banda em 2270 cm^{-1} . Apresentaram densidades aparentes menores que $0,6\text{ g/cm}^3$, típico de isolantes térmicos. Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, **bem como da** razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL. As imagens por microscopia ótica das topografias dos PU?s indicam materiais



homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. PU's obtidos com PC-OL absorvem mais água do que os obtidos com PET-OL.

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) and polycarbonate (PC) reacted with glycerol produce polyol precursors for polyurethanes. Polyurethanes were synthesized from PET and PC depolymerized in glycerol reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI) in ratios of 0.8 and 1.0 using water as a blowing agent at 0%, 1% and 2%. The hydroxyl content was 287 ± 10 mgKOH/g for the polyol from PET (PET-OL) and 520.99 ± 11.62 mgKOH/g for the polyol from PC (PC-OL). The FTIR spectra of the synthesized PUs showed the typical PU bands (1730 cm^{-1}) and those synthesized from PC-OL showed remnant MDI seen by the band at 2270 cm^{-1} . They had apparent densities of less than 0.6 g/cm^3 , typical of thermal insulators. The density decreased as the water content increased, as did the NCO/OH ratio. In addition, the materials synthesized with PET-OL are denser than those synthesized with PC-OL. The optical microscopy images of the PU topographies indicate homogeneous materials containing more closed cells than open ones. PU's made with PC-OL absorb more water than those made with PET-OL.

RESUMEN

El tereftalato de polietileno (PET) y el policarbonato (PC) reaccionados con glicerol producen precursores de polioli para poliuretanos. Se sintetizaron poliuretanos **a partir de** PET y PC despolimerizados en glicerol reaccionado con diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI) en proporciones de 0,8 y 1,0 utilizando agua como agente espumante al 0%, 1% y 2%. El contenido de hidroxilo fue de 287 ± 10 mgKOH/g para el polioli de PET (PET-OL) y de $520,99 \pm 11,62$ mgKOH/g para el polioli de PC (PC-OL). Los espectros FTIR de los PU sintetizados mostraban las bandas típicas de los PU (1730 cm^{-1}) y los sintetizados **a partir de** PC-OL mostraban restos de MDI observados por la banda a 2270 cm^{-1} . Presentaban densidades aparentes inferiores a $0,6\text{ g/cm}^3$, típicas de los aislantes térmicos. La densidad disminuía a medida que aumentaba el contenido de agua, al igual que la relación NCO/OH. Además, los materiales sintetizados con PET-OL son más densos que los sintetizados con PC-OL. Las imágenes de microscopía óptica de las topografías de los PU indican materiales



homogêneos que contienen más células cerradas que abiertas. Los PU fabricados con PC-OL absorben más agua que los fabricados con PET-OL.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons **Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional**. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
2Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 9(3), 01-06.

INTRODUÇÃO

A reciclagem é uma denominação atrelada a materiais pós consumo, ou seja, o processamento do plástico após a sua vida útil. No caso dos polímeros, a reciclagem pode ser dividida por quatro segmentos de ação¹: O reuso ou reaproveitamento; A mecânica; A química; A energética. A cada tipo de reciclagem pode ser atribuída uma ordem de finalidade apresentando vantagens e desvantagens tanto pelo gasto energético envolvido quanto pelo tipo de produto obtido ao final do processo. Dando ênfase à reciclagem química ou terciária pode-se destacar dois níveis de despolimerização, uma que produz os monômeros ou fragmentos do polímero que podem ser usados para síntese de novos polímeros como os poliuretanos a partir do PET (politereftalato de etileno)². Este tipo de despolimerização pode ser denominado como hidrólise que gera os monômeros do polímero através de reações químicas. A hidrólise pode ser alcançada utilizando solventes de variadas classes químicas, sendo uma delas o glicerol na presença de um catalisador metálico³. Este tipo de despolimerização é indicado para polímeros como PET e o PC (policarbonato), pois são polímeros obtidos por policondensação. O processo de despolimerização dos plásticos PET e PC com o glicerol torna possíveis as possibilidades de geração de uma família de oligômeros hidroxilados. Esses novos compostos são bases fundamentais para a síntese de poliuretanos, ou seja, a reação se dá nos grupos hidroxila presentes na estrutura química dos plásticos. Os poliuretanos são sintetizados, por uma reação de poliadição em etapas, **a partir de** compostos polihidroxilados (polióis) aqui representados pelos produtos da glicerólise e um di-isocianato (NCO), ambos com funcionalidade igual ou superior a dois. Quando a funcionalidade de um ou em ambos os reagentes é maior do que dois, poliuretanos ramificados ou reticulados são obtidos⁴. Este trabalho **tem como objetivo** base, sintetizar espumas rígidas de poliuretanos **a partir de** PET e PC reciclados quimicamente utilizando água com agente de expansão e estudar o efeito da estequiometria e do teor de água nas formulações.

METODOLOGIA

A despolimerização seguiu com o glicerol P.A, garrafas PET (polietileno tereftalato) de bebidas carbonatadas e de embalagens; discos compactos, os CD's, como fonte de PC (policarbonato) pós consumo. A despolimerização foi conduzida em reator Kettle na proporção de 30% em massa do polímero limpo e picotado, 70% de glicerol e 1% de catalisador (metal/básico) em relação ao polímero. A reação com PET seguiu a 240°C e com o PC a 170°C, ambas mantidas por 60 min. As espumas de poliuretanos (PU) foram formulados em uma única etapa, misturando-se os polióis obtidos com o óleo de mamona (20%) e 4,4'-difenilmetano diisocianato (MDI) nas proporções NCO/OH iguais a 0,8 e 1,0, utilizando como agente de expansão a água nos teores de 0%; 1% e 2%. A tabela 1 reúne as siglas



utilizadas para identificar os materiais. A massa polimérica foi colocada em embalagens de leite longa vida e misturada com agitador mecânico até o aumento da viscosidade e início da expansão, obtendo-se assim 12 espumas rígidas de PU. Os polióis e os PU's foram caracterizados por FTIR (Carry 630, Agilent). Determinou-se o teor de hidroxilas dos polióis Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons [Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](#). [Brazilian Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580 3Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

segundo a norma ASTM D '4274-99. Avaliou-se a densidade aparente das espumas de PU seguindo a norma ABNT NBR 8537. Foram obtidas imagens por microscopia ótica das espumas (Leica EZ4HD). Os testes de absorção de água das espumas seguiram a norma ASTM D'570-81 em temperatura ambiente. Inicialmente, os materiais secos em estufa a 105°C, por uma hora, e acondicionados em dessecador para resfriar até temperatura ambiente. Em seguida, determina-se a massa das amostras utilizando uma balança analítica e, imediatamente, submerge-as em água destilada. Após 24 horas, as amostras são secas, rapidamente, utilizando-se toalha de papel para absorver a água superficial e, posteriormente, determina-se sua nova massa. Este procedimento foi repetido por 48 e 72 horas, e também por uma, duas, três e quatro semanas, com o objetivo de determinar a curva de sorção (%) de água em função do tempo de exposição.

Tabela 1. Siglas dos das espumas de poliuretanos relacionando ao tipo de polioliol, estequiometria e ao teor de água.

Espuma de PU Polioliol Estequiometria NCO/OH %H₂O

PU(PC-OL)0,8;0%

PC-OL

0,8

0

PU(PC-OL)0,8;1% 1

PU(PC-OL)0,8;2% 2

PU(PC-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PC-OL)1,0;1% 1

PU(PC-OL)1,0;2% 2

PU(PET-OL)0,8;0%

PET-OL

0,8

0

PU(PET-OL)0,8;1% 1

PU(PET-OL)0,8;2% 2

PU(PET-OL)1,0;0%

1,0

0

PU(PET-OL)1,0;1% 1

PU(PET-OL)1,0;2% 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ambos os plásticos foram submetidos ao processo de despolimerização, que após 30 min de reação solubilizaram-se completamente. Percorrido o tempo de 60 min de reação, os produtos líquidos ficaram levemente coloridos de elevada viscosidade e após a estocagem, o despolimerizado de PET (PET-OL) apresentou-se como consistência de cera voltando a ser líquido à temperatura de aproximadamente 50°C. Já o polioli obtido a partir do policarbonato (PC-OL), se manteve líquido após o resfriamento. A figura 1 apresenta os espectros de absorção no infravermelho para os dois polióis obtidos pelo processo de glicerólise, bem como dos poliuretanos a partir destes polióis. É possível observar que as bandas características de éster em 1.730 cm⁻¹, 1300 cm⁻¹ e 1.100 cm⁻¹ estão presentes nos espectros do PET e do PET despolimerizado (PETDS). A característica importante do PC é a absorção em 2969 cm⁻¹ referente a estiramento do grupo metila (CH₃) de carbonato que não aparece no espectro do PCDS. Entretanto, uma observação interessante é o aparecimento da banda em 3400 cm⁻¹ referente ao estiramento do grupo hidroxila presente em ambos os produtos despolimerizados PETDS e PCDS. O teor de hidroxilas foi de 287 ± 10 mgKOH/g para o PET-OL e 520,99 ± 11,62 mgKOH/g para o PC-OL. Os espectros de FTIR (figura 1 a direita) dos PU?s

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons [Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](#). [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
4Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

sintetizados apresentaram as bandas típicas de PU?s (1730 cm⁻¹) e os sintetizados [a partir de](#) PC apresentaram MDI remanescente² visto pela banda em 2270 cm⁻¹.

Figura 1. Espectro de absorção na região do infravermelho dos polióis e dos poliuretanos obtidos
Fonte: Autoral (2023).

As espumas de PU apresentaram densidades aparentes menores que 0,6 g/cm³, típico de isolantes térmicos (figura 3). Observou-se a redução da densidade com o aumento do teor de água, [bem como da](#) razão NCO/OH. Além disso, os materiais sintetizados com o PET-OL são mais densos que os sintetizados com PC-OL.

Figura 3. Variação da densidade das espumas de poliuretano com a estequiometria e com o teor de água
Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons [Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](#). [Brazilian](#)
[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580
5Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

As imagens por microscopia ótica (figura 4) das topografias dos PU?s indicam materiais homogêneos contendo células fechadas em maior quantidade que as abertas. Entretanto, o teor de água nas formulações é ponto estratégico para garantir poliuretanos com menor conteúdo de defeitos.

Figura 4. Micrografias das espumas de poliuretanos em aumentos de 10 vezes (esquerda) e 35 vezes (direita)

Fonte: Autoral (2023)



A figura 5 apresenta a absorção de água das espumas de poliuretano tanto para o PC-OL quanto para o PET-ol. Observa-se que as espumas absorvem água gradativamente com o tempo de imersão. Entretanto, as espumas obtidas com PET-OL absorvem menor proporção que as obtidas com o PC-OL. Todavia, o aumento do agente de expansão nas formulações propicia o aumento no ganho de massa sem a sua solubilização.

Figura 5. Sorção de água das espumas de poliuretano de PET-ol e de PC-ol.

Fonte: Autoral (2023)

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons [Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](#). [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580

6Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. [Brazilian Journal of Production Engineering](#), 9(3), 01-06.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem química do PET e do PC formou polióis precursores de espumas rígidas de poliuretanos. Estes polióis são compatíveis com o óleo de mamona, mostrando-se promissores na síntese do novo PU juntamente com o MDI e água como agente de expansão.

REFERÊNCIAS

- 1 - THAKUR, V.K., (2015). Recycled Polymers: Properties and Applications, UK, Smithers Rapra, v.2.
- 2 - ROSA, D.P; ARAÚJO, L.V; ARAÚJO, R.C.S.; PATERNO, L.G.; MOL, A.R.; PASA, V.M.D.;MELO, B.N. (2019). PET-OL uma nova classe de polióis na síntese de poliuretanos, 15^o CBPOL, Bento Gonçalves, Brasil, 2019.
- 3 - KAO, C. Y. CHENG, W. H. WAN, B. Z. (1997). Investigation of catalytic glycolysis to polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, v. 292, p. 95-104.
- 4 - BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., (1992). A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application, *Polymeric Materials Science and Engineering*, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, p. 401-403.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons [Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](#). [Brazilian](#)

[Journal of Production Engineering](#), São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. ISSN: 2447-5580