



CONVERSÃO DO POLIETILENO TEREFTALATO (PET) EM RESINA COM PROPRIEDADES DE TROCA IÔNICA

Ana Luísa Gonçalves Silva ¹

Caio Gabriel da Silva Lima

Kaio Marques Lima

Murilo Lucass Alves *

Orientador* Fábio Rizzo de Aguiar

Coorientadora: Prof.^a Esp. Thais Taciano dos Santos

RESUMO

O amplo uso de polímeros sintéticos, como o Polietileno Tereftalato, em diversos segmentos industriais é, visando o bem-estar ecológico, prejudicial, tendo em vista o descarte errôneo desses materiais no meio ambiente, que gera distúrbios em diversos ecossistemas. Logo, evidencia-se a necessidade de um método de reciclagem desse polímero, comumente chamado de PET, com o objetivo de transformá-lo, por meio de uma simples hidrólise catalisada pelo ácido nítrico, em uma resina com propriedades de troca iônica, a fim de retirar de efluentes cátions contaminantes.

Ademais, o cátion contaminador d'água, nesse trabalho, é o corante catiônico azul de metileno (AM), sendo retirado por conta do princípio de adsorção da resina obtida, que possui uma superfície porosa contendo o ácido tereftálico (AT) como sítio ácido ativo, responsável pela troca de íons entre o adsorvente e o adsorbato do meio contaminado, deste modo, foi possível quantificar os sítios ácidos presentes na resina e a sua capacidade de adsorção, comprovando a eficácia do método, cujas taxas de adsorção analisadas em ensaios vão de 1,80 a 36,95%.

Palavras-chave: Polímero, Polietileno Tereftalato, Hidrólise, Troca Iônica.

ABSTRACT

The widespread use of synthetic polymers, such as Polyethylene Terephthalate, in various industrial segments is, in the aiming for ecological well-being, harmful, in view of the erroneous disposal of these materials in the environment, which generates disturbances in various ecosystems. Therefore, the need for a method of recycling this polymer, commonly called PET, is evident, with the objective of transforming it, through a simple hydrolysis catalyzed by nitric acid, into a resin with ion exchange properties, in order to remove contaminating cations from effluents.

Furthermore, the water-contaminating cation, in this project, is the cationic dye methylene blue (MB), which is removed due to the principle of adsorption of the obtained resin, which has a porous surface containing terephthalic acid (TPA) as an acidic site active, responsible for the exchange of ions between the adsorbent and the adsorbate of the contaminated environment, thus, it was possible to quantify the acid sites present in the resin and its adsorption capacity, proving the effectiveness of the method, whose adsorption rates analyzed in tests ranging from 1.80 to 36.95%.

Key words: Polymer, Polyethylene Terephthalate, Hydrolysis, Ion Exchange.

¹ Curso Técnico em Química integrado do Ensino Médio – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite – CEP 04815–240 – São Paulo Brasil.

* murilolucass85@gmail.com

Recebido em: 02/12/2022

Apresentado à banca em: 08/12/ 2022

1. INTRODUÇÃO

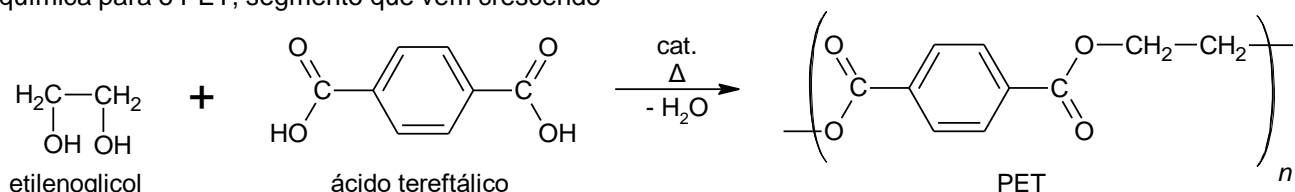
Polímeros são compostos que podem ser obtidos de forma sintética ou naturalmente, formados pela repetição de um grande número de monômeros ao longo de sua cadeia polimérica, caracterizando assim a composição química do polímero. Eles podem ser classificados de acordo com suas características físicas, sendo divididos em: termoplásticos, que constituem a maior parte dos polímeros comerciais, cuja principal característica é poder ser fundido diversas vezes, além de serem solúveis em soluções orgânicas; termorrígidos que são rígidos e frágeis, sendo muito estáveis a variações de temperatura e decompostos quando submetidos à altas temperaturas; por fim, os elastômeros, conhecidos como borracha, são caracterizados como a classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos e apresentam alta elasticidade (AKCELRUD, 2007; MARQUES, 2010).

O polietileno tereftalato (PET), obtido através de uma série de reações de policondensação entre o ácido tereftálico e etilenoglicol, (Equação 1) é um polímero sintético termoplástico de vasta utilização atualmente, tanto por conta de sua versatilidade para estocagem de substâncias variadas, quanto por seu baixo custo de produção. Graças a essas características, esse polímero usualmente utilizado, quando descartado de forma incorreta e descontrolada, gera danos ao meio ambiente, como a contaminação de solos, poluição de ecossistemas aquáticos, danos à fauna e flora onde ocorre o descarte e o acúmulo de resíduos em ambientes urbanos e rurais. Por conseguinte, o reaproveitamento desse material torna-se extremamente necessário, tendo em vista os problemas em seu descarte, por isso evidencia-se a necessidade da utilização de métodos eficazes e economicamente viáveis para sua reciclagem. Um desses procedimentos é a hidrólise de garrafas feitas à base de PET, que não só promove a coleta desses itens, como os modifica em resinas de troca iônica, capazes de promover a adsorção de cátions dissolvidos em efluentes, promovendo uma redução em seu número de sólidos dissolvidos. (SENEZ, 2016; MACIEL, 2001; GONÇALVES, 2006; ROSMANINHO et al., 2009).

A hidrólise é um método de reciclagem química para o PET, segmento que vem crescendo

em virtude da possibilidade de tratar de plásticos com características heterogêneas e/ou contaminados, assim diminuindo os custos desse processo e viabilizando-a economicamente, além de ter uma ampla gama de métodos aplicáveis. Como prova disso, outros processos químicos utilizados para esse fim, além da hidrólise, são: a aminólise, a glicólise e a metanólise, entretanto, a escolha da hidrólise para a realização desse procedimento se dá pelo fato de ser uma técnica versátil, ou seja, pode ser aplicada para a transformação do PET em resina com a utilização de diversas soluções para o procedimento, por exemplo ácidos fortes (ácidos sulfúrico, nítrico e clorídrico) e bases fortes (hidróxidos de sódio e potássio). Ademais, não necessitar de altas temperaturas ou pressões, juntamente com a capacidade de empregar diversos catalisadores nas reações, torna a hidrólise um excelente meio de reciclagem para esse polímero (LACERDA, 2019; THOMAZ, 2012; AL-SALEM, 2009).

Então, a hidrólise realiza a despolimerização da superfície do PET, resultando na sua decomposição em seus monômeros constituintes, sendo eles o ácido tereftálico e o etilenoglicol e em uma quebra da área superficial, deixando-o poroso. Esses itens são de suma importância, visto que a porosidade e a existência de sítios ativos caracterizam uma resina de troca iônica, pois fornecem a ela capacidades adsorventes, isto é, capacidade de concentrar substâncias de meios líquidos e gasosos em sua superfície externa, através de fenômenos como a fisissorção e quimissorção. A fisissorção é um fenômeno reversível, ocorrendo quando as forças intermoleculares de atração das moléculas na fase fluida ou gasosa e da superfície sólida são maiores que as forças de atração entre as moléculas do próprio fluido, fenômeno esse que é inespecífico, ou seja, ocorre em toda a superfície adsorvente; já na quimissorção há a formação de novas ligações – iônicas ou covalentes, por conta da troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em ligações mais fortes entre elas, sendo pouco reversível e ocorrendo somente em adsorventes possuíntes de sítios ativos (LACERDA, 2019; THOMAZ, 2012; NASCIMENTO et al., 2020; GOUVEIA, 2020).

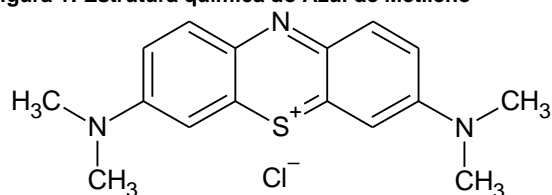


(Equação 1)

O ácido tereftálico que se encontra nos poros do PET hidrolisado é o sítio ácido ativo do adsorvente e serve como um trocador de íon entre a resina e o meio, mais especificamente, a região da molécula que irá desempenhar essa função são os grupos ácidos carboxílicos presentes na estrutura, que liberarão o cátion H^+ para troca, tornando o PET hidrolisado (PET-H) em uma resina de troca catiônica (ROSMANINHO, 2005).

Como solução efluente simulada, é usualmente utilizada uma solução de azul de metileno (AM), representado na Figura 1, que é um corante catiônico muito utilizado na indústria, que mesmo não sendo tão tóxico quanto outros metais, pode causar efeitos prejudiciais à saúde como aumento do batimento cardíaco, dor de cabeça intensa, náuseas, vômitos, diarreia e necrose do tecido humano, caso utilizado em concentrações acima de 2 miligramas por dia. Servindo como um composto modelo para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso.

Figura 1: Estrutura química do Azul de Metileno



Outro ponto crucial para a formulação de uma resina de troca catiônica é a quantificação de seus sítios ácidos presentes em sua superfície porosa, visto que quanto maior a quantidade desses sítios, maior a ocorrência da quimissorção gerando ligações de difícil reversão.

Logo, pode-se concluir que a utilização da hidrólise para a modificação do PET possa vir a ser um método de reciclagem fundamental, tanto no âmbito econômico quanto no âmbito ambiental.

Com isso, temos como objetivo geral deste trabalho é a modificação do PET em uma resina com propriedades de troca iônica por meio de sua hidrólise.

Já os objetivos específicos são:

Identificar a capacidade de adsorção da resina, obtida a partir do polímero hidrolisado e purificado, através de testes de adsorção com soluções-amostra de azul de metileno;

Quantificar os sítios ácidos da resina a fim de caracterizá-la como uma resina de troca iônica.

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os reagentes utilizados para a realização do método são: ácido nítrico (HNO_3) 65 %, fornecido pela SYNTH; azul de metileno 99,5 % ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$), fornecido pela AUTOLABOR; biftalato de potássio 99,5 % ($C_8H_5O_4K$) fornecido pela IMPEX; fenolftaleína 98 % ($C_{20}H_{14}O_4$), fornecido pela VETEC e hidróxido de sódio 95 % ($NaOH$) fornecido pela GREENTEC.

Já os equipamentos e vidrarias que serão utilizados, são: agitador magnético; balão de fundo redondo de 500 mL; balões volumétricos de 10, 25, 50, 200 e 1000 mL; béqueres de volumes variados; bureta de 25 mL; condensador de bolas; cubetas de plástico; espectrofotômetro UV-Vis (NOVA Instruments®); mangueiras; manta de aquecimento; pipetas pasteur; pipeta volumétrica de 5 mL; vidros de relógio.

2.2. MÉTODOS

O planejamento experimental envolveu seis etapas. Na primeira delas, amostras de PET, obtidas a partir de uma garrafa transparente feita desse material, foram cortadas em pequenos quadrados com 1 cm de lado, os quais foram utilizados no decorrer de todo o método. Esses materiais foram acondicionados apropriadamente, sendo mantidos em frasco fechado, até o momento dos ensaios de hidrólise. Paralelamente, foram preparadas as soluções utilizadas no decorrer do procedimento, sendo elas de: ácido nítrico 1 mol.L^{-1} , ácido nítrico 10 mol.L^{-1} , hidróxido de sódio 1 mol.L^{-1} , hidróxido de sódio $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, biftalato de potássio $0,0015 \text{ mol.L}^{-1}$ e azul de metileno 100 ppm (ROSMANINHO et al., 2009; FRANCISCO et al., 2011).

Realizada a primeira etapa, foi montado um sistema de refluxo utilizando um balão de fundo redondo de 500 mL contendo 1 g da amostra de PET e 45 mL da solução de HNO_3 10 mol.L^{-1} , juntamente com um condensador de bolas conectado a ele. O aquecimento do sistema foi promovido através de uma manta de aquecimento, com uma temperatura média de $275 \text{ }^\circ\text{C}$, a qual fora controlada manualmente por 45 minutos, a fim de não permitir que os vapores advindos da hidrólise ultrapassassem a terceira bola do condensador. Todo esse passo realizou-se em uma capela.

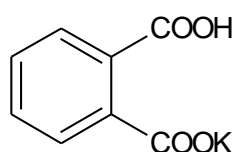
Logo, para a completa modificação do PET em resina, promoveu-se a purificação do polímero por meio de lavagens sob agitação de um agitador magnético, utilizando diferentes béqueres a cada lavagem, que duram 5 minutos. Primeiramente, em um béquer, as amostras recém hidrolisadas foram postas em contato com 15 mL da solução de hidróxido de sódio 1 mol.L^{-1} , retirando o ácido nítrico em excesso de sua superfície. O resquício de hidróxido de sódio presente na superfície do polímero depois do primeiro passo foi retirado por uma lavagem com 30 mL de água, e, em seguida,

uma lavagem utilizando ácido nítrico 1 mol.L⁻¹ foi feita para regenerar os grupos carboxílicos presentes nos poros do PET-H. Quatro lavagens subsequentes com 30 mL de água foram realizadas para deixar o pH da resina em torno de 5, sendo analisado com fitas de pH universal. Feitas todas as lavagens, levou-se o polímero hidrolisado e purificado para uma estufa com temperatura fixa a 100 °C, durante 1 hora. Ao fim desse processo, utilizou-se a resina obtida para as demais etapas do método (ROSMANINHO et al., 2009).

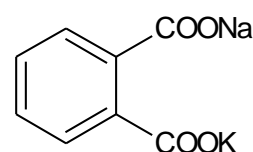
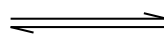
A quarta etapa consistiu, antes de tudo, em realizar a verificação do perfil espectrofotométrico da solução de azul de metileno, com o intuito de descobrir o comprimento de onda, em nanômetros, em que o analito apresenta maior absorvância. Para tal, utilizou-se uma solução 2,5 ppm de AM, essa que é a concentração intermediária em relação aos padrões utilizados para efetuar a curva analítica do corante. Ademais, para a curva foram feitas diluições da solução estoque de azul de metileno a 0,5; 1; 2,5; 5 e 10 ppm, em balões volumétricos de 10 mL.

Concluída a etapa anterior, foi feito o teste de adsorção, que baseia-se no contato do PET-H e solução de AM, cujas análises quantitativas são feitas pré e pós-contato. As concentrações das diluições analisadas foram de 5 e 9 ppm, feitas em balões volumétricos de 25 mL. Em béqueres, colocaram-se 20 mL das soluções, previamente analisadas em espectrofotômetro, e em seguida, adiciona-se uma placa da resina, com uma massa média de 1 g. Então cada béquer é tampado com vidro de relógio durante 2 horas, que é o tempo para ocorrer a adsorção do corante da água. Após esse período, ocorreram as análises das soluções por espectrofotometria. A taxa de adsorção da resina, em porcentagem, deu-se pela diferença entre a concentração inicial e final de azul de metileno, comparado com a concentração inicial do soluto na amostra, conforme a Fórmula 1 (FRANCISCO et al., 2011).

$$Ads. \% = \frac{(C_{inicial} - C_{final}) \cdot 100}{C_{inicial}} \quad (\text{Fórmula 1})$$



+



+



(Equação 2)

A sexta e última etapa foi a determinação dos sítios ácidos presentes na resina através de uma titulação clássica. Deixou-se em contato, aproximadamente, 90 mg da resina com 10 mL da solução de hidróxido de sódio 0,05 mol.L⁻¹ em agitação durante 15 minutos, e, após isso, foi-se adicionado 75 mL de água, permanecendo em agitação, por mais 10 minutos. Feito isso, com uma pipeta volumétrica, retirou-se uma alíquota de 5 mL que foi titulada com a solução de biftalato de potássio 0,0015 mol.L⁻¹. A reação entre o hidróxido de sódio e o grupo carboxílico do ácido tereftálico gera um excesso de hidróxido, que é titulado com o biftalato de potássio, segundo a Equação 2 (ROSMANINHO et al., 2009).

A quantidade, em mol, de biftalato de potássio consumido na titulação é descoberto pelo produto entre o volume utilizado do titulante, em litros, e sua concentração, em mol.L⁻¹, como mostrado na Fórmula 2. Possuindo a quantidade de mol do titulante, a quantidade de mol de NaOH consumida pelo PET-H na titulação, utilizada para quantificar os sítios ativos, é descoberta através da diferença entre esse valor e a concentração inicial de hidróxido, conforme a Fórmula 3.

Por fim, a quantificação de sítios ácidos na resina, em mmol.g⁻¹, se dá pela razão entre o valor de hidróxido de sódio consumido e a massa de resina que foi pesada, em g, como mostra a Fórmula 4.

$$n_{bif.} = V_{bif.} \cdot M_{bif.} \quad (\text{Fórmula 2})$$

$$n_{NaOH \text{ consumido}} = C_{i \text{ de } NaOH} - n_{bif.} \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$n(\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{n_{NaOH \text{ consumido}}}{m_{PET-H}} \quad (\text{Fórmula 4})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados 4 lotes de PET ensaiados em dias distintos, com os quais os resultados foram obtidos através da sua hidrólise ácida, a qual pôde ser confirmada por meio da alteração da aparência do material, notada pela deformação e pelo surgimento de uma superfície porosa. Visto que de fato ocorrera a reação na amostra, foram iniciados os testes analíticos visando comprovar suas características como uma resina de troca catiônica.

Figura 2: amostra de PET após ser submetida a sua hidrólise ácida



3.1. DETERMINAÇÃO DOS SÍTIOS ÁCIDOS

Foram realizadas as titulações entre uma alíquota de 5 mL da solução de NaOH, com a solução de biftalato de potássio a $0,0015 \text{ mol.L}^{-1}$, como titulante, determinando assim a quantia de biftalato necessária para reagir com o excesso de NaOH ainda presente na solução. Assim, com base na quantidade de NaOH remanescente, é possível determinar a quantidade em mol de AT nas amostras de PET-H e, conseqüentemente, a quantidade de sítios ácidos nas resinas, numa relação estequiométrica de 2 mol de sítios ácidos : 1 mol de NaOH.

Preparou-se assim, quatro lotes para análise, nos quais os valores médios e seus respectivos desvios padrões estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados para as titulações realizadas.

Volume de Biftalato Titulado (mL)		
Lotes	Valor Médio	Desv. Padrão
Lote 1	16,97	0,14
Lote 2	19,18	0,99
Lote 3	9,50	0,37
Lote 4	10,50	0,50

Os valores das primeiras titulações nos três primeiros lotes foram excluídos. No Lote 1, por falha procedimental, visto que o contato entre a solução de NaOH e a placa de PET-H ocorreu por um período menor em relação as outras titulações do mesmo lote; já nos Lotes 2 e 3, a rejeição ocorreu devido o tratamento estatístico, utilizando o teste Q nos dados obtidos para o volume de biftalato de potássio gasto nas titulações.

Os resultados dos dados analisados para a quantia de hidróxido de sódio consumido estão expressos na Tabela 2:

Tabela 2: quantificação do NaOH consumido pelo biftalato.

NaOH – Consumido (mol)		
Lotes	Valor Médio	Desvio Padrão
Lote 1	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$2,05 \cdot 10^{-7}$
Lote 2	$2,87 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-6}$
Lote 3	$1,42 \cdot 10^{-4}$	$5,71 \cdot 10^{-6}$
Lote 4	$1,57 \cdot 10^{-5}$	$7,6110^{-7}$

Em posse da Fórmula 2, obtiveram-se os seguintes valores relativos da quantidade de sítios ácidos presentes nas placas de PET-H, já normalizados, os quais foram aferidos os reais valores de NaOH consumido pelo PET-H, pesado em: 0,0942 mg; 0,0966 mg; 0,0835 mg e 0,1036 mg para cada lote, respectivamente. Dados esses, relatados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores normalizados sítios ácidos presentes no PET em mmol.g^{-1} .

Sítios Ácidos (mmol.g^{-1})		
Lotes	Valor Médio	Desvio Padrão
Lote 1	5,07	0,072
Lote 2	4,88	0,017
Lote 3	4,28	0,069
Lote 4	4,67	0,010

O Teste Q fora aplicado em todos os dados, rejeitando aqueles que não se enquadravam em um grau de confiabilidade de 95%, de acordo com o número de observações. Entretanto nota-se uma irregularidade no Ensaio 3 do Lote 4, ocasionando em um maior desvio padrão, em comparação com os demais lotes realizados. Nota-se também uma relativa constância e padrão coeso existente entre todos os lotes.

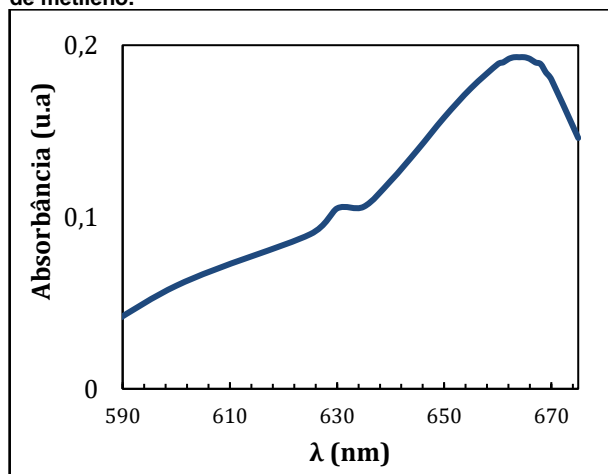
O fato de os valores obtidos apresentarem uma quantia elevada de sítios ácidos presentes na amostra comparada às referências se deve ao fato de que, no processo de hidrólise, foram utilizados 45 mL de HNO_3 , o que resulta em uma maior

probabilidade de troca entre os íons H^+ e os cátions $C_{16}H_{18}N_3S^+$ presentes no efluente artificial de azul de metileno utilizado na análise. Os resultados encontrados foram superiores ao comparados com a literatura, onde Rosmaninho e colaboradores (2009) obtiveram, em média, aproximados 0,8 mmol de (-COOH) por g_{PET} , enquanto Francisco e colaboradores (2011) obtiveram cerca de 1,6 mmol/g de sítios ácidos na amostra. Isso pode ter ocorrido devido a quantidade de ácido nítrico usado para a hidrólise do polímero, já que, nessas referências, foi-se utilizado 5 mL de ácido ao invés de 45 mL. A utilização dessa quantidade de ácido se dá

3.2. CURVA ANALÍTICA DO AM

Para cada lote foi efetuada uma curva analítica para o azul de metileno, entretanto, antes de serem analisadas, houve a verificação do perfil espectrofotométrico do analito. Essa foi feita ao início das análises, exibida na Figura 3 resultando em um comprimento de 665 nm, que corresponde aos valores expressos na literatura, sendo esses de 664 a 665 nm.

Figura 3: verificação do perfil espectrofotométrico do azul de metileno.



Em posse das informações da Figura 3, foram realizadas as curvas analíticas para cada lote, sendo mostrados através da Figura 4.

Com esse gráfico é possível mensurar a concentração de azul de metileno nas soluções-amostra e a taxa de adsorção do PET-H, utilizando as respectivas equações da reta. As Tabelas 4 e 5 contém as concentrações médias das soluções de 5 e 9 ppm, respectivamente, obtidas após a análise do espectrofotômetro das amostras pré-contato com a resina de troca catiônica, pelo tempo preestabelecido. Já as Tabelas 6 e 7 expressam, para as mesmas soluções, as concentrações médias após o período de contato.

Figuras 4: Curvas analíticas dos Lotes 1, 2, 3 e 4.

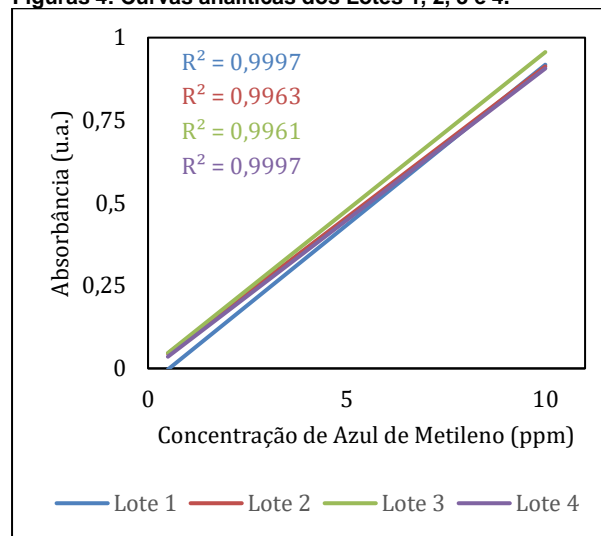


Tabela 4: concentração média das amostras de 5 ppm antes do contato com a resina de PET.

Pré-Contato (ppm)	
Lotes	Conc. Média
Lote 1	4,60
Lote 2	4,72
Lote 3	4,85
Lote 4	4,93

Tabela 5: concentração média das amostras de 5 ppm após o contato com a resina de PET.

Pós-Contato (ppm)	
Lotes	Conc. Média
Lote 1	2,90
Lote 2	4,09
Lote 3	4,70
Lote 4	3,93

Tabela 6: concentração média das amostras de 9 ppm antes do contato com a resina de PET.

Pré-Contato (ppm)	
Lotes	Conc. Média
Lote 1	8,8
Lote 2	8,65
Lote 3	8,31
Lote 4	8,86

Tabela 7: concentração média das amostras de 9 ppm após o contato com a resina de PET.

Pós-Contato (ppm)	
Lotes	Conc. Média
Lote 1	7,40
Lote 2	8,13
Lote 3	8,16
Lote 4	8,18

Nota-se a diminuição da concentração entre cada estudo, porém, há 2 amostras que, diferentemente do esperado, aumentaram suas concentrações, por este motivo elas foram descartadas no cálculo do valor médio, além de não serem utilizadas nas demais análises. As justificativas para este aumento são vagas, mas pode estar relacionado com a quantia de sítios ácidos presentes especificamente nas placas utilizadas nestes casos, já que não é possível ter total controle em relação ao PET utilizado, o que denota uma heterogeneidade entre as resinas obtidas.

Possuindo as concentrações médias das soluções, fora descoberta a taxa de adsorção da resina, cujos valores estão expressos nas Tabela 8 e 9:

Tabela 8: taxa de adsorção da resina iônica de PET em 5 ppm.

Taxa de Adsorção (%)	
Lotes	Valor médio
Lote 1	36,95
Lote 2	13,35
Lote 3	3,09
Lote 4	20,28
Média: 18,41 ± 12,32	

Tabela 9: taxa de adsorção da resina iônica de PET em 9 ppm.

Taxa de Adsorção (%)	
Lotes	Valor médio
Lote 1	15,91
Lote 2	6,01
Lote 3	1,80
Lote 4	7,67
Média: 7,84 ± 5,12	

Nota-se que há uma clara relação entre a taxa de adsorção da amostra com a quantia de sítios ácidos presentes nela, cujo aquelas que possuíram maiores quantias de (-COOH) consumido obtiveram as maiores porcentagens de adsorção dos cátions presentes na solução. Houve certo desvio entre os resultados, visto que ele pode ter ocorrido devido à dificuldade encontrada em quantificar os sítios ácido em todas as mostras, que decorre da falta de padronização das placas de PET-H, as quais algumas poderiam apresentar maior capacidade de realizar a troca iônica e outra parcela não teve a sua área de superfície com tal efetividade. Erro esse que também pode ter sido decorrido de alguma falha experimental, justificando assim as elevadas discordâncias entre os resultados. Além disso, observa-se uma maior dificuldade ao realizar a adsorção em uma solução mais concentrada, problema possivelmente relacionado à superfície de contato da resina, que não foi o suficiente para tal quantia de cátions neste efluente artificial, visto que, como cada placa da resina de PET-H tem 1 cm de lado, a área de contato é bastante reduzida, dificultando a fisissorção entre adsorvente e o adsorbato.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tem-se, após a realização da parte experimental e análise de dados, tais quais suas discussões, que a metodologia adotada para hidrólise do PET tem a capacidade de transformar esse polímero em uma resina de troca iônica, tendo em vista a quantidade presente de sítios ácidos e a capacidade de adsorção do corante azul de metileno após as soluções-amostra. Entretanto, os resultados não uniformes podem se dar pela falta de controle e homogeneidade em relação ao PET-H, visto que esse se encontra em placas de 1x1 cm, diminuindo sua área superficial, limitando a adsorção do AM.

Logo, partes do procedimento podem ser aprimoradas, como a preparação do PET, aumentando a área superficial da resina cortando em porções menores ou transformadas em partes menores e uniformes, como uma resina comumente usada. Ademais, os testes de adsorção podem ser realizados em agitação, aprimorando a remoção do corante. Outros tópicos como o tempo de hidrólise, tempo de secagem após a purificação e uma duração maior no item solução-amostra, também podem ser aumentados, visando a criação de uma resina mais efetiva e uma maior adsorção, respectivamente. Além de um maior número de variedades para a análise, para obter-se uma maior gama de análise de diferentes tipos de garrafa PET, também vê-se necessária a regeneração da resina, capacitando ainda mais a reciclagem do PET.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao nosso orientador Fábio Rizzo de Aguiar e aos professores Klaus Engelmann e Thais Taciano dos Santos por todo o apoio fornecido ao projeto. Também agradecemos a Deus, nossos familiares e amigos que estiveram nessa jornada durante esse ano e nos deram suporte quando precisávamos, além do carinho destes conosco num momento especial e desafiador de transição em nossas vidas.

REFERÊNCIAS

AKCELRUD, L. Fundamentos da Ciência dos Polímeros. Manole. Barueri, SP. 2007. Disponível em:

https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3wJHvsGcjl4C&oi=fnd&pg=PR17&dq=pol%C3%ADmeros+o+que+s%C3%A3o&ots=q4Z_20FO55&sig=CGrcqzDCTI7PBUQijtVRSG8SaCM#v=onepage&q=pol%C3%ADmeros%20o%20que%20s%C3%A3o&f=false

AL-SALEM, S.M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. "Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review", Waste Management, Volume 29, Issue 10, 2009, Pages 2625-2643, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002190>

FRANCISCO, B. Hidrólise Parcial de Rejeitos de PET e sua Aplicação Como Adsorvente de Contaminantes Catiônicos em Água. Fundação Educacional do Município de Assis. Assis, SP. 2011. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0811290918.pdf>

GONÇALVES, S. Reciclagem do PET: Desafios e possibilidades. PROCAM-USP, Fortaleza, CE, Brasil, 2006. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_TR520346_8551.pdf

GOUVEIA, L. G. T.. "Avaliação de materiais adsorventes com diferentes propriedades para a captura de CO₂." 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/213008/001117081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

JUNIOR et al. Síntese, Caracterização e Aplicação de Ca-MOFs na Remoção do Azul de Metileno por Adsorção. Quim. Nova, Vol XY, Nº 00, 1-11, 200. Natal, RN. Recife, PE. 2021. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/AR2021-0235.pdf>

LACERDA, C. Reciclagem Química do Poli(Tereftalato de Etileno) - PET pós - Consumo via Hidrólise. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/35851/1/TESE%20Carlos%20Eduardo%20de%20Oliveira%20Lacerda.pdf>

MACIEL, A. Chapas de Partículas Aglomeradas de Madeira de Pinus elliottii ou Eucalyptus grandis, em Mistura com Poliestireno e Polietileno Tereftalato. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2001. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/11280/1/texto%20completo.PDF>

MARIANI et al. Utilização de Resíduo da Reciclagem Química do PET Para a Remoção de Cor de Efluente. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ. 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletosPDF/II-316.pdf>

MARQUES, Luísa. "O que são polímeros e porque são interessantes?" Edited by Alisson Dias. O que são polímeros.

NASCIMENTO; et al. Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L.; VIANA, R. R. Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/MXrBxxHYShDghdhwKG6Hxs/?format=pdf&lang=pt>

ROSMANINHO, M. Transformando Dejetos de PET em Materiais de Importância Tecnológica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2005. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-92MTW6/1/disserta_o_pet_marcelo_07_fin_al_corrigidac.pdf

ROSMANINHO et al. Hidrólise Parcial da Superfície do polyethylene terephthalate (PET): Transformando um Rejeito em um Material de Troca Catiônica Para Aplicação Ambiental. Quim. Nova, Vol. 32, Nº 6. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VkCbpcj8sZRBG3J9mH7qz/?lang=pt#:~:text=A%20hidr%C3%B3lise%20parcial%20pode%20ser,%C3%A1rea%20superficial%20do%20PET%20exposta>

SENEZ, P. Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polietileno Tereftalato

(PET). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Phillipe-Campello-Senez-2/project/Behavior-of-Polyethylene-Terephthalate-PET-Fibers-Reinforced-Sand/attachment/5be432c8cfe4a7645500a607/AS:690677948116994@1541681863702/download/_pdf_2016_Phillipe_Campello_Senez.pdf?context=ProjectUpdatesLog

THOMAZ, C. Avaliação de metodologia de obtenção do ácido tereftálico via reciclagem química do PET. Programa De Pós-Graduação Em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/acido-tereftalico-via-reciclagem-quimica-do-pet.pdf>.