



**UEPB**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL

**ESTER DE FARIAS RAMOS**

**HIDROFILIZAÇÃO DE NANOESPUMAS CATALÍTICAS OBTIDAS A PARTIR DE  
REJEITOS DE POLIESTIRENO**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2021**

**ESTER DE FARIAS RAMOS**

**HIDROFILIZAÇÃO DE NANOESPUMAS CATALÍTICAS OBTIDAS A PARTIR DE  
REJEITOS DE POLIESTIRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC -  
apresentado ao Departamento de Química da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Graduação em Química Industrial.

**Orientador:** Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira.

**CAMPINA GRANDE - PB  
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R175h Ramos, Ester de Farias.  
Hidrofilização de nanoespumas catalíticas obtidas a partir de rejeitos de poliestireno [manuscrito] / Ester de Farias Ramos. - 2021.  
41 p. : il. colorido.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.  
"Orientação : Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira , Departamento de Química - CCT."

1. Brometo de cetrimônio. 2. Hidrofilização. 3. Nanopartículas de prata. 4. Poliestireno. I. Título

21. ed. CDD 660

**ESTER DE FARIAS RAMOS**

**HIDROFILIZAÇÃO DE NANOESPUMAS CATALÍTICAS OBTIDAS A PARTIR DE  
REJEITOS DE POLIESTIRENO**

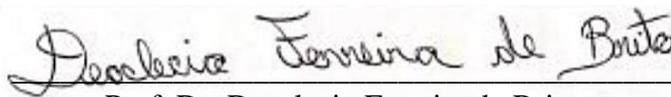
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC -  
apresentado ao Departamento de Química da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Graduação em Química Industrial.

Aprovada em: 11/06/2021.

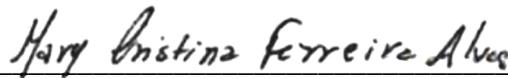
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira / DQ-UEPB  
Orientador



Prof. Dr. Deoclecio Ferreira de Brito  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Mary Cristina Ferreira Alves  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais por todo apoio concedido durante minha trajetória acadêmica, assim como aos demais familiares e amigos que contribuíram para este feito e em especial ao meu querido avô João Crisóstomos Ramos (in memoriam), cuja presença foi essencial na minha vida, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** pelos dons que me deu, por toda força e coragem que me serviram na realização deste projeto.

Agradeço aos meus pais **José Itamar** e **Josefa Claudiene** por todo esforço investido na minha educação.

Aos meus avós **João Crisóstomos** e **Maria Salete** e ao meu tio **Ricardo Maracajá** por todo apoio, orações e conselhos.

Agradeço ao meu orientador **Rodrigo de Oliveira** por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa e pelas oportunidades concedidas durante a jornada acadêmica.

Aos meus colegas de laboratório **Welida** e **John** por toda ajuda e troca de conhecimentos.

Às minhas amigas do curso de graduação **Amanda**, **Renata**, **Isabele**, **Iasmyn**, **Jessica** e **Nydia** que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

Aos meus amigos **Júlia**, **Vitória** e **Caio** pela amizade e compreensão mostrada nos momentos difíceis da graduação.

Também quero agradecer à Universidade Estadual da Paraíba e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

*Muito Obrigada!*

## RESUMO

O acúmulo de plásticos em ambientes aquáticos e terrestres, ou seja, a sua poluição, é um problema mundial, dessa forma, oferecer novas alternativas para sua reutilização é de fundamental importância, assim, mudar algumas de suas características, como sua hidrofobicidade, pode diversificar sua aplicação e facilitar sua reutilização. O presente estudo teve como objetivo o preparo de espumas obtidas a partir de reuso de poliestireno (PS) contendo nanopartículas de prata (AgNP), as quais foram hidrofilizadas pelo estabilizante de partículas, brometo de cetrimônio (CTAB). A obtenção das nanopartículas de prata se deu através do preparo de microemulsões, partindo do reagente nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) e reduzidas pelo borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ), para o preparo das espumas, utilizou-se o método de separação de fases induzida termicamente (TIPS). Foi observado que o CTAB influencia tanto na hidrofiliabilidade do poliestireno como também no tamanho das AgNP através do efeito da força iônica, também foi observado que a espuma impregnada com AgNP e CTAB promoveu uma diminuição de 47,25% na absorção do corante aniônico Alaranjado G, em um tempo de uma hora e trinta minutos.

**Palavras-chave:** Brometo de cetrimônio. Hidrofilização. Nanopartículas de prata. Poliestireno.

## ABSTRACT

The accumulation of plastics in aquatic and terrestrial environments, that is, their pollution, is a global problem, so offering new alternatives for their reuse is of fundamental importance, so changing some of their characteristics, such as their hydrophobicity, can diversify its application and facilitate its reuse. The present study aimed to prepare foams obtained from the reuse of polystyrene (PS) containing silver nanoparticles (AgNP), which were hydrophilized by the particle stabilizer, cetrimonium bromide (CTAB). The obtainment of silver nanoparticles was made through the preparation of microemulsions, starting from the reagent silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) and reduced by sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ), to prepare the foams, the thermally induced phase separation method was used (TIPS). It was observed that CTAB influences both the hydrophilicity of polystyrene and the size of AgNP through the effect of ionic strength, it was also observed that the foam impregnated with AgNP and CTAB promoted a 47.25% decrease in the absorption of the anionic dye Orange G , in a time of one hour and thirty minutes.

**Keywords:** Cetrimonium bromide. Hydrophilization. Silver nanoparticles. Polystyrene.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Reação de polimerização do poliestireno .....	18
Figura 2 –	Estágios de agregação de AgNP.....	21
Figura 3 –	Estrutura química de CTAB.....	22
Figura 4 –	Representação esquemática de uma molécula de CTAB.....	22
Figura 5 –	Formação de bicamadas de CTAB nas superfícies das AgNP.....	22
Figura 6 –	Separação de fases induzida termicamente (TIPS).....	23
Figura 7 –	Fórmula estrutural do corante Alaranjado G.....	27
Figura 8 –	Espectro das soluções A e D.....	29
Figura 9 –	Espuma pura hidrofóbica.....	31
Figura 10 –	Espuma A se apresenta hidrofílica.....	31
Figura 11 –	Espuma B hidrofílica.....	31
Figura 12 –	Espuma C se mostra pouco hidrofílica.....	32
Figura 13 –	Espuma D se mostra hidrofóbica.....	32
Figura 14 –	a) Espuma A depois de agitação por 1 hora e 30 minutos - b) Espuma pura depois de agitação por 1 hora e 30 minutos.....	33
Figura 15 –	Soluções de alaranjado G.....	33
Figura 16 –	Espectros das soluções de alaranjado G.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das soluções contendo AgNP.....	25
Tabela 2 – Resultados do teste da gota em espumas de poliestireno.....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgNP	Nanopáticula de prata
CH	Ciclohexano
CTAB	Brometo de cetrimônio
DCE	Dupla camada eletrostática
Dh	Diâmetro hidrodinâmico
DLVO	Teoria de Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek
EPS	Poliestireno expandido
HBCD	Hexabromociclododecano
HIPS	Poliestireno de alto impacto
NP	Nanopáticula
POP	Poluente orgânico persistente
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloreto de polivinila
SPR	Ressonância plasmônica de superfície
TIPS	Separação de fases induzida termicamente

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
<i>1.1.1. Objetivo Geral.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>13</i>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. O plástico.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Poluição por plástico.....</b>	<b>14</b>
<i>2.2.1. No ambiente aquático.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.2. No ambiente terrestre.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.3. Nos ares.....</i>	<i>16</i>
<b>2.3. Reciclagem de polímeros.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Poliestireno.....</b>	<b>18</b>
<i>2.4.1. Hidrofilicidade do poliestireno.....</i>	<i>19</i>
<b>2.5. Nanopartícula de prata.....</b>	<b>19</b>
<i>2.5.1. Caracterização das nanopartículas de prata.....</i>	<i>20</i>
<i>2.5.2. Efeito da força iônica no tamanho de partículas.....</i>	<i>21</i>
<i>2.5.3. Hidrofilicidade da nanopartícula de prata.....</i>	<i>21</i>
<b>2.6. Separação de fases induzida termicamente.....</b>	<b>22</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O descobrimento do plástico trouxe inúmeras inovações e praticidade para o nosso dia a dia. Por ser um material versátil, leve, resistente, acessível e durável, se tornou procurado para muitas aplicações que vão desde os de uso geral até os de alto desempenho, poucos materiais conseguiram um espaço tão grandioso em nossa sociedade, mas esse consumo exacerbado trouxe consigo diversos problemas, onde o plástico se tornou vítima do seu próprio sucesso (CHALMIN, 2019).

A poluição por plástico é um problema mundial. Até hoje, nenhum estudo responsabilizou algum país específico pela poluição por plástico, entretanto, grandes concentrações populacionais geram a maior parte desse lixo (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020). O consumo desenfreado, o descarte inadequado, a falta de conscientização por parte da população e de políticas públicas, são pontos cruciais para o aumento da poluição, tanto por esse material, quanto para os demais (ABIPLAST, 2019).

Com a pandemia do Covid-19, ocorreu um aumento no uso de embalagens plásticas para alimento devido ao aumento do número de pedidos por delivery, como também, aumentou o uso de plástico na área hospitalar por meio de luvas, máscaras e outros materiais descartáveis, assim, sabendo-se que o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico em todo mundo, reciclando apenas 1,28% de todo material, esse cenário se torna extremamente preocupante (CARRANÇA, 2020).

Dessa forma, a reciclagem de polímeros é uma necessidade. Estima-se que no mundo, no ano de 2010 a demanda por poliestireno (PS) foi de aproximadamente 14,9 milhões de toneladas e que de 2010 para 2020 haveria uma taxa crescimento de 5,6% (GBI Research, 2012). Logo, a criação de novas alternativas para a reutilização de PS é de fundamental importância.

Nessas últimas décadas, pesquisadores buscam encontrar maneiras de reutilizar esses materiais dando a eles funcionalidades ímpares, como por exemplo, o uso de polímeros contendo nanopartículas de metais nobres usados para remediação ambiental. SINGH *et al.* (2014) estudaram um fotocatalisador flutuante, utilizando partículas de dióxido de titânio dopadas com íons de prata e suportadas numa matriz de poliestireno, e também, YOUNG *et al.* (2012) mostraram que o uso de microesferas de poliestireno e prata tiveram uma alta atividade catalítica na degradação de azul de metileno. Ambas as técnicas tiveram como objetivos a remediação ambiental.

Na literatura, pouco se sabe sobre o comportamento do PS em soluções aquosas, certamente por este possuir uma característica hidrofóbica, limitando assim a sua utilização. Modificar as propriedades de superfície desse polímero, como a hidrofiliabilidade, seria, portanto, de interesse significativo para muitas aplicações práticas.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Preparar espumas hidrofílicas de poliestireno a partir de resíduos poliméricos e nanopartículas de prata

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Remover o hexabromociclododecano (HBCD) do poliestireno;
- Obter nanopartículas de prata (AgNP);
- Produzir espumas de PS puras, pelo método TIPS;
- Produzir espumas de poliestireno contendo AgNP, pelo método de separação de fases induzida termicamente (TIPS);
- Verificar a hidroflicidade das espumas através do teste da gota.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. O Plástico**

O Plástico é um material formado por grandes cadeias moleculares denominadas polímeros, do grego *plastikós* tem seu significado, “adequado à moldagem”, de fato, se trata de polímeros moldáveis, que com aplicação geralmente de calor e pressão podem ser processados de muitas formas como, pela extrusão, sopro, injeção, fundição e outros.

Na história, o primeiro plástico produzido, essencialmente sintético, foi a baquelite, desenvolvida pelo químico e físico belga Leo Baekeland no ano de 1907 (THOMPSON, R. C. *et al.*, 2009), até então a estrutura polimérica não era conhecida no meio científico, foi então que por volta de 1920, o químico alemão Hermann Staudinger comprovou que a borracha na verdade se tratava de um polímero formado por macromoléculas, essa descoberta foi fundamental para a criação de muitos outros plásticos utilizados nos dias atuais.

Esses polímeros são divididos entre os naturais que são aqueles que ocorrem normalmente na natureza, ou seja, é próprio da natureza, e os sintéticos, no qual, foram produzidos pelo homem através de processos de polimerização (RODRIGUES *et al.*, 2017).

No que se diz respeito ao comportamento térmico, podem ser classificados como termoplásticos, termofixos e elastômeros também conhecido como borracha (RODRIGUES *et al.*, 2017). Os polímeros termoplásticos como o poliestireno (PS), polipropileno (PP) e o cloreto de polivinila (PVC) por exemplo, podem ser aquecidos, fundidos e não perdem nenhuma de suas propriedades, motivo pelo qual são utilizados na reciclagem, os polímeros classificados como termofixos, ao contrário dos termoplásticos não podem ser remoldados com aplicação de calor, isso porque ocorre mudanças químicas permanentes durante a sua formação (MEKZOUM *et al.*, 2017).

### **2.2. Poluição por plástico**

O Plástico se move em muitas direções, abrangendo muitos compartimentos como o ar, o ambiente aquático e o terrestre.

### **2.2.1. No ambiente aquático**

Segundo um relatório divulgado pela Fundação Ellen MacArthur e o Fórum Econômico Mundial, se continuarmos com esse ritmo de produção e descarte de plástico, em 2050 teremos mais plásticos que peixes nos oceanos (WORD ECONOMIC FORUM, 2016). O principal fator desse problema é o descarte inadequado. Mesmo com os centros de reciclagem, esse material se torna difícil para tal processamento, isso se deve ao seu ponto de fusão por exemplo, que por ser baixo não permite que os contaminantes sejam expelidos do material (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020).

Grande parte do lixo produzido em terra firme tem seu ciclo final nos oceanos, sendo este, um grande depósito aquático que concentra o que se sobeja da atividade humana. Estudos atuais se aprofundam nos impactos que o plástico causa nos oceanos, como por exemplo, a sua fragmentação em escala micrométrica e nanométrica, os chamados microplásticos, onde verificou-se partículas de poliestireno com diâmetro de 25 nanômetros sendo transportada ao longo de uma cadeia alimentar aquática, afetando o metabolismo lipídico e comportamento dos peixes (CHRISTOPH *et al.*, 2015).

Fatores naturais e mecânicos são responsáveis pela diminuição dessas partículas. Quanto menor a partícula ou ainda, quanto maior a área de superfície específica, maior a toxicidade desses resíduos, então essa toxicidade aumenta com o tempo. Além disso, esses plásticos são substratos para deposição de compostos químicos hidrofóbicos, o que inclui os com propriedades tóxicas que bioacumulam nos organismos vivos e são resistentes a degradação, os chamados POPs, poluentes orgânicos persistentes (CHRISTOPH *et al.*, 2015).

### **2.2.2. No ambiente terrestre**

Na literatura, estudos voltados para a poluição plástica dos oceanos são mais detalhados e encontrados em maiores quantidades se comparado com a poluição no sistema terrestre, isso porque, além de existir uma separação entre as pesquisas do meio aquático e terrestre o que dificulta a disseminação das ideias entre ambos, é muito mais fácil extrair e quantificar os plásticos do ambiente aquático (RILLIG, 2012), no entanto, deve-se salientar que o primeiro local de contato do produto plástico se dá em terra firme, é onde interagem primeiro com a biota provocando impactos a natureza (DE SOUZA MACHADO *et al.*, 2017).

É sabido que esse material quando no sistema terrestre, também pode ser incorporado a cadeia alimentar de animais que se alimentam nos depósitos de lixo, como por exemplo,

aves condor californiano que continham plásticos em seu estômago e também vacas na Índia com obstrução intestinal (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020), e ainda, foi identificado que o verme marinho *Arenicola Marina* ao ser exposto à microplásticos pré absorvidos com poluentes, transferiu tais substâncias para seu intestino, acarretando em redução da imunidade, maior susceptibilidade de estresse oxidativo e até a morte, o mesmo verme ao se alimentar de PS teve diminuição no seu peso (BROWNE *et al.*, 2013)(BESSELING *et al.*, 2013).

Outros problemas são observados devido ao descarte inadequado do plástico, como sua acumulação em sistemas de drenagem causando inundações, além de que a massa ocupada pelo plástico é de grande volume o que só expande cada vez mais os depósitos de lixo (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020). A sua deposição nos solos pode afetar as propriedades dos mesmos, alterando as taxas de processo e produção primária líquida, tendo um efeito retroativo para a atmosfera como gases de efeito estufa, isso devido a sua composição que é de grande parte do carbono de combustíveis fósseis, motivo pelo qual também se torna resistente à decomposição, levando ao acúmulo nos solos. As Fibras microplásticas agregadas ao solo também influenciam nos seus poros, e, portanto, no movimento dos gases, no movimento da água e na atividade microbiana. Essas fibras também podem diminuir a densidade do solo, sendo algo benéfico para algumas plantas, já que suas raízes estarão livres para crescer, por outro lado, os aditivos presentes no plástico tornam-se pontos negativos (RILLIG, 2020).

### **2.2.3. Nos ares**

Como antes citado, o plástico se expande por muitos ambientes, inclusive pelo ar. Pesquisas feitas na cidade de Paris mostraram que, até a precipitação atmosférica estabelece um fluxo expressivo de fibras plásticas na escala de uma bacia hidrográfica urbana e sugere que o compartimento atmosférico e o vento devem ser estudados como um contribuinte importante para introdução dessas fibras em outros compartimentos, como o aquático (DRIS R., GASPERI J., TASSIN B., 2018).

Desse modo, percebe-se que o material plástico, como um poluente de tais compartimentos do meio ambiente, necessita de novas formas de reciclagem.

### 2.3. Reciclagem de polímeros

Dentre as técnicas de reciclagem, pode-se citar as quatro mais conhecidas e utilizadas: primária, secundária, terciária e quaternária.

A primária e secundária ambas são conhecidas como reciclagem mecânica, o que difere é que na primária, os resíduos utilizados são geralmente pós-industriais, são materiais que ainda não saíram para o consumo, produzindo assim, um produto reciclado de características proporcionais aos produzidos por polímeros virgens, e a secundária, se difere por utilizar produtos pós-consumo, obtendo um nível de contaminação maior, e esse nível de impureza aumenta a cada ciclo de reciclagem, o que limita a aplicação de seus produtos finais. No Brasil, a reciclagem mecânica é a técnica mais utilizada devido ao baixo custo, tanto de mão de obra, quanto de instalação (RODRIGUES *et al.*, 2017)(MEKZOOM *et al.*, 2017).

A reciclagem terciária ou química é aplicada para a obtenção de fontes de hidrocarbonetos ou combustíveis, por meio de uma técnica de craqueamento, no qual, ocorre a quebra de moléculas maiores em menores (MEKZOOM *et al.*, 2017).

A reciclagem quaternária ou energética se dá por incineração, tem o objetivo de recuperação energética já que derivados de petróleo tem alto poder calorífico, e também, redução dos volumes nos aterros (MEKZOOM *et al.*, 2017).

A escolha do melhor método leva-se em consideração, a aplicação do produto, requisitos do produto final e o local de reciclagem (MEKZOOM *et al.*, 2017).

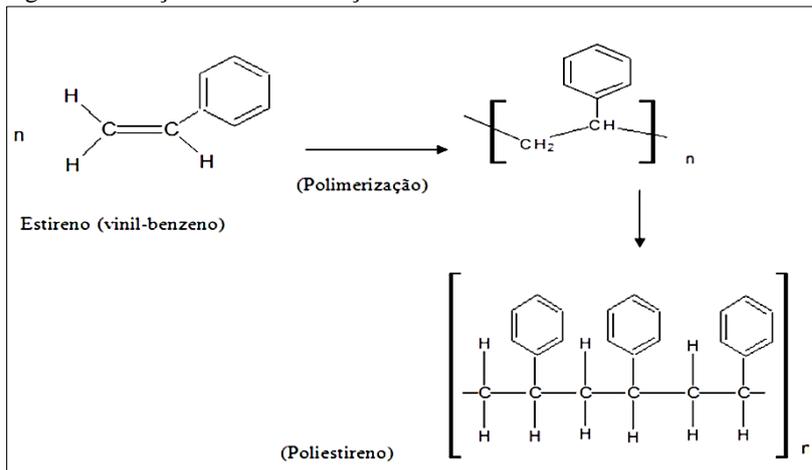
Existem algumas limitações nessas técnicas, na primária e secundária, a heterogeneidade dos resíduos é um exemplo, já que as embalagens possuem mais de um tipo de polímero e o uso de polímeros diferentes gera produtos finais com características pobres, pois não há, na maioria desses plásticos, uma compatibilidade química e física (MEKZOOM *et al.*, 2017)(MANCINI, 2019). Já na reciclagem energética, ao se incinerar o material plástico, substâncias tóxicas são liberadas na atmosfera resultando em uma prática não sustentável ambientalmente. Com poucas exceções, essas técnicas, também, ainda não se tornaram sustentáveis no âmbito de mercado competitivo, por outro lado, a utilização desses materiais após o seu uso, tem grandes vantagens, como por exemplo, a produção de reciclados mais barata do que a produção com o polímero virgem, motivo esse, que os torna uma matéria prima valiosa (MEKZOOM *et al.*, 2017).

## 2.4. Poliestireno

Provido dessas informações, nos aprofundamos no objetivo desse trabalho, começando pelas definições da nossa matriz, o poliestireno (PS), que é um homopolímero normalmente hidrofóbico resultante da polimerização do estireno. Trata-se de uma resina termoplástica, possuindo como características: rigidez, brilho, transparência, boas aplicações óticas e elétricas, alta temperatura de transição vítrea e outras (RODRIGUES *et al.*, 2017); sendo usado amplamente na indústria de serviços alimentícios como utensílios descartáveis (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2016), em isolamento térmico, na engenharia civil (EPS Brasil, 2014) e até no cultivo de orquídeas (M.B.C. DA COSTA, 2010). Por seu baixo valor de produção e suas propriedades, o PS é um material ideal para aplicação em produtos de curta duração, motivo esse, que contribui para o aumento da poluição por este material (RODRIGUES *et al.*, 2017).

O poliestireno pode ser encontrado como uma resina cristal, que possui boa transparência e fácil coloração, como poliestireno expandido (EPS), obtido por meio de expansão e também como PS de alto impacto (high impact polystyrene - HIPS), que possui adição de elastômeros de polibutadieno (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Figura 1 - Reação de Polimerização do Poliestireno.



Fonte: RODRIGUES *et al.*, 2017.

Sendo comercialmente conhecido como isopor, o EPS possui em sua composição, aditivos, como o retardador de chama bromado: hexabromociclododecano (HBCD), responsável por evitar incêndios, esse aditivo foi caracterizado como um poluente orgânico persistente (POP) na Convenção de Estocolmo desde 2013 e colocado na lista para eliminação global (RANI *et al.*, 2014).

### **2.4.1. Hidrofilicidade do Poliestireno**

De forma abrangente, os métodos utilizados para modificação da superfície do PS podem ser divididos em duas classes, a primeira, denominada de processos secos, inclui a descarga de plasma, elétrons e radiação ou irradiação de íons pesados por exemplo, e a segunda, se dá por tratamento químico úmido, no qual, o processo de sulfonação do PS faz parte, sendo o principal processo úmido aplicado nessas modificações. Foi observado que entre os dois processos, o por via seca se mostra mais instável com o tempo, levando a uma perda de hidrofilicidade do polímero motivada pela reorientação dos grupos polares e difusão da cadeia polimérica (MIELCZARSKI J. A. *et al.*, 2011).

Segundo MIELCZARSKI J.A. *et al.* (2011), é possível fazer uma modificação na superfície do PS tratando-o sob condições brandas com uma solução tampão de fosfato e radiação visível, onde os íons fosfatos tem um papel importante na hidrofilização por via fotoquímica, e as modificações superficiais observadas, são o resultado de foto-oxidação/redução, intumescimento, alterações conformacionais e reorganização da cadeia polimérica.

Sobre o processo de sulfonação em poliestireno, como já mencionado antes, sabe-se que o mesmo, é um meio de obtenção para uma maior hidrofilicidade. A incorporação do ácido sulfúrico ao anel aromático do poliestireno, através de um processo de sulfonação, atribuem a esse material certas especificidades, como o aumento de força, hidrofilicidade e condutividade de prótons. Esse processo também pode ser utilizado na remoção de alguns íons metálicos de águas contaminadas, o que é de grande benefício para o meio ambiente, como também, de acordo com estudos, a utilização do PS sulfonado como um floculante é muito eficaz no tratamento de esgotos, no qual, sua capacidade de troca iônica chega a ser semelhante aos de trocadores iônicos comerciais. (ELABD, 2004)(TABEKH, H. *et al.*, 2015)(SULKOWSKI *et al.*, 2010)

## **2.5. Nanopartícula de prata**

Considera-se um nanomaterial, um corpo diminuto que evidencia novas características em função de seu tamanho (BENEDITO, 2017).

As nanopartículas de prata, de tamanho na ordem de 1 a 100 nm, comparadas com íons de prata, possuem uma maior eficiência por necessitarem de uma menor concentração para sua atuação (BENEDITO, 2017).

Sobre as suas propriedades ópticas, tem-se a ressonância plasmônica, que é uma interação entre a luz e a matéria, na qual, ocorre oscilação coletiva dos elétrons livres localizados na superfície da partícula ao absorver parte da luz visível incidida sobre ela. Dos metais que sofrem esse tipo de ressonância no espectro do visível, a prata é o de maior eficiência na excitação do *plasmon*, portanto, AgNP interagem melhor com a luz se comparadas com outras nanopartículas de mesmo tamanho (BALLOTTIN, 2014).

Sabe-se que tais propriedades ópticas dependem do tamanho e forma da partícula. A variação dessas características interfere diretamente no espectro de absorção óptica da NP, a qual apresenta mudanças na banda *plasmon*, como, variação na intensidade e desvio do seu comprimento de onda máximo (BALLOTTIN, 2014).

Estudos mostram a importância e algumas das aplicações dessas nanopartículas que abrangem uma grande área da medicina, biotecnologia, cosméticos, indústria têxtil, produtos eletrônicos e acondicionamento, devido às suas propriedades microbicidas e fungicidas (BENEDITO, 2017), de fato, as nanopartículas de prata apresentam efeitos bactericidas em bactérias Gram-negativas e Gram-positivas (KIM, J. S. *et al.*, 2007)(ALIZADEH, H., SALOUTI, M., SHAPOURI, R., 2014), há ainda, outras aplicações como ações catalíticas, onde se mostram eficientes na remediação ambiental, sendo utilizadas na degradação de corantes e redução de poluentes orgânicos. (YOUGEN *et al.*, 2012)(ZHANG, Q. *et al.*, 2011)

Consequentemente, as espumas aqui estudadas sendo hidrofílicas, contendo AgNP, poderão ser aplicadas na desinfecção de água através de seus efeitos bactericidas, como também, na remediação ambiental por suas ações catalíticas.

### **2.5.1. Caracterização de nanopartículas de prata**

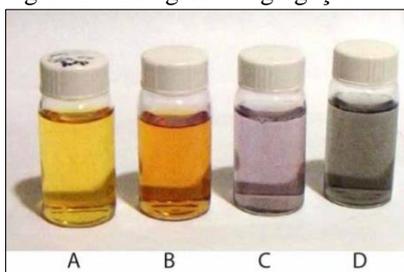
O tamanho das NP é uma propriedade muito importante, quanto menor, maior a atividade catalítica e maior a atividade antibacteriana (ZHANG, W., QIAO, X., CHEN, J., 2006).

Como dito anteriormente, as nanopartículas de prata possuem forte propriedade de ressonância plasmônica de superfície (SPR - Surface Plasmon Resonance) devido às oscilações coletivas dos elétrons livres na superfície da nanopartícula, essas oscilações dependem do tamanho da NP, já que o mesmo, determina a faixa de comprimento de onda específico da absorção no espectro visível (IDER, M. *et al.*, 2016).

De forma geral, a banda de absorção estreita e picos de plasmon em comprimentos de onda maior infere partículas de tamanho maior, enquanto uma absorbância maior é atribuída a um aumento na quantidade de prata reduzida (MULFINGER, L. *et al.*, 2007)(LUO, 2007).

A agregação das NP pode ser observada pela cor das reações, a qual pode variar de amarelo para laranja, violáceo e cinza de acordo com o aumento da agregação, conforme a Figura 2 (MULFINGER, L. *et al.*, 2007).

Figura 2 – Estágios de agregação de AgNP



Fonte: MULFINGER, L. *et al.*, 2007.

### **2.5.2. Efeito da força iônica no tamanho de partículas**

Na teoria de Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek (DLVO) as partículas são circundadas por uma dupla camada eletrostática (DCE) e através do equilíbrio entre as forças de atração de van der Waals e as forças de repulsão eletrostática obtêm-se a estabilidade da partícula (JIANG, J., OBERDÖRSTER, G., BISWAS, P., 2008).

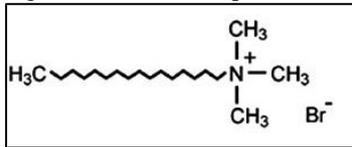
A espessura da DCE está diretamente ligada a força iônica, estudo mostra que o tamanho de agregado NP de TiO<sub>2</sub> aumentou 50 vezes ao aumentar a força iônica da solução (JIANG, J., OBERDÖRSTER, G., BISWAS, P., 2008), e também, BADAWY, A. M. E. *et al.* (2010), ao estudar a estabilidade de suspensões de AgNP avaliando as alterações no diâmetro hidrodinâmico (Dh) e no potencial zeta, em função do pH, força iônica e espécies de eletrólitos, concluiu que a força iônica aumentou o Dh de AgNP estabilizadas eletrostaticamente.

### **2.5.3. Hidrofilicidade da nanopartículas de prata**

Estudos mostram que o brometo de cetrimônio (CTAB), molécula anfifílica, é capaz de converter a carga superficial negativa da nanopartícula (NP) mantendo sua estabilidade através da formação de bicamadas, onde, o grupo catiônico da molécula de CTAB se liga aos ânions (íons tetrahidroboratos) adsorvidos na superfície da NP, então, as interações

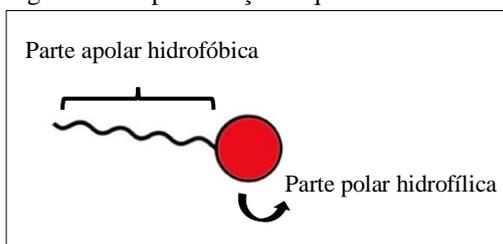
hidrofóbicas entre as cadeias alquil de CTAB formam uma bicamada, e o grupo catiônico no exterior da bicamada, com característica hidrofílica, fornece a NP uma carga superficial geral positiva e uma hidrofilicidade ao material utilizado (LIM, J. *et al.*, 2015).

Figura 3 – Estrutura química de CTAB



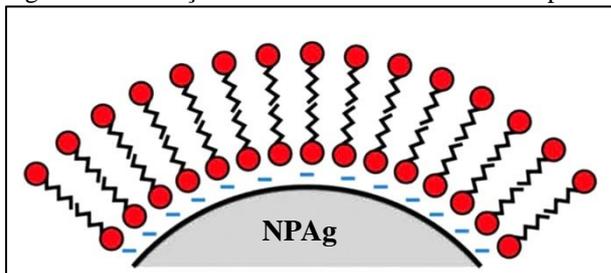
Fonte: Adaptado de VAHIDI, K. *et al.*, 2017.

Figura 4 – Representação esquemática de uma molécula de CTAB



Fonte: Adaptado de VAHIDI, K. *et al.*, 2017.

Figura 5 - Formação de bicamada de CTAB nas superfícies da AgNP.



Fonte: Adaptado de LIM, J. *et al.*, 2014.

O CTAB também é um potente antibactericida, apresentando uma ótima atividade contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas e por isso, usado na desinfecção de água (JIN, Y. *et al.*, 2015).

## 2.6. Separação de fases induzida termicamente (TIPS)

A separação de fases induzida termicamente (thermally induced phase separations - TIPS) é uma técnica na qual se utiliza uma separação termodinâmica de uma solução de polímeros homogênea, obtendo-se uma fase rica em polímero e outra fase pobre em polímero. Essa técnica é bastante utilizada em aplicações industriais como, microfiltrações, ultrafiltrações, separação de gases e osmose invertida. (ASSIS, 2016)

É possível ter um controle sobre as estruturas do polímero, por meio da temperatura utilizada na separação e da concentração de polímero, por exemplo, numa separação sólido-líquido é possível obter estruturas isotrópicas (poros ovais a esféricos), ou anisotrópicas (em forma de "escada"), utilizando temperaturas muito baixas, por volta de  $-196^{\circ}\text{C}$ , por exemplo, já em separações líquido-líquido, são obtidas estruturas isotrópicas sob temperatura mais alta, cerca de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Após esse processo de arrefecimento, o sistema é submetido a uma liofilização, assim, o solvente é sublimado, originando uma estrutura tridimensional porosa. (ASSIS, 2016)

Figura 6 – Separação de fases induzida termicamente (TIPS)



Fonte: Próprio autor, 2021.

### **3. METODOLOGIA**

#### **Caracterização da área experimental**

A pesquisa foi desenvolvida no Complexo de Laboratórios Professor Edvaldo de Oliveira Alves, no laboratório do Grupo de Físico-Química de Materiais PCMLab que está localizado na Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

#### **Preparo das Amostras de Poliestireno**

Amostras de poliestireno expandido (EPS) do tipo marmitex, foram coletadas, lavadas com água de abastecimento e água destilada, e logo depois foram secas na estufa por 12 horas numa temperatura de 60 °C.

#### **Recuperação do polímero sem HBCD**

Foi preparada uma solução de poliestireno com uma concentração final de 20% em massa de EPS em 30 mL de ciclohexano (CH). O PS foi pesado em balança analítica, em seguida foi adicionado o volume de CH e para completa dissolução precisou-se de uma constante agitação com um bastão de vidro a uma temperatura de aproximadamente (40°C). Para a recuperação do polímero sem HBCD, foi necessário a adição do isopropanol, um não-solvente, o qual precipita o poliestireno através da adição lenta sob agitação. Adicionou-se, então, 40 mL de isopropanol na solução e agitou-se com bastão de vidro. Após a recuperação, removeu o polímero da solução e o lavou com 10 mL de isopropanol para remoção de quaisquer resquícios de HBCD presos ao EPS. Depois, foi deixado por 3 horas ao ar-livre e para completar a secagem foi levado a estufa por 8 horas a uma temperatura de 90°C.

#### **Preparo da microemulsão contendo nanopartículas de prata (NPsAg)**

As nanopartículas foram preparadas em microemulsões seguindo uma adaptação de um método proposto por HOLLAMBY (2010), onde, duas microemulsões são identificadas como A e B em dois beckeres, respectivamente, no A foram colocados 0,35 g de CTAB (0,2743 mol/L), 3,5 mL de uma mistura em volume de ciclohexano/1-propanol (4:1) e 81µL de NaBH<sub>4</sub> (aq) (3,82 mol/L); no B, foram colocados 0,35g de CTAB (0,2743 mol/L), 3,5 mL

de uma mistura em volume de ciclohexano/1- propanol (4:1) e 81 $\mu$ L de AgNO<sub>3</sub> (aq) (0,0382 mol/L) e foram ambas homogeneizadas com o auxílio de um agitador magnético até total dissolução.

Em seguida, a microemulsão B foi vertida rapidamente na A sob constante agitação por 30 minutos, e então, adicionou-se 1,4 mL de água destilada. O sobrenadante foi coletado com pipeta e tomou-se nota de seu volume.

### **Preparo da solução com nanopartículas de prata (AgNP), mudando a concentração de brometo de cetrimônio (CTAB)**

Seguindo o mesmo procedimento descrito acima, foram preparadas duas soluções contendo nanopartículas de prata, mudando apenas a concentração de CTAB no meio, no qual, tomou-se por base a solução com 0,35g de CTAB (0,2743 mol/L).

Essa concentração foi então modificada, adicionando-se em uma solução apenas 0,0034g em massa de CTAB (0,002743 mol/L). Em outra solução, adicionou-se 0,0026g de CTAB (0,00205725 mol/L) e numa outra solução, acrescentou-se uma massa de 0,0017g (0,00137115 mol/L) de CTAB.

### **Caracterização das nanopartículas de prata**

As soluções contendo as nanopartículas foram submetidas a uma leitura por espectroscopia de absorção molecular. Foi utilizado um espectrofotômetro UV-Visível (SHIMADZU), modelo UV-1800, localizado no Complexo de Laboratórios Professor Edvaldo de Oliveira Alves (Mará), na faixa espectral de 400-700 nm. Para a leitura no espectrofotômetro a única solução que foi diluída foi a solução A, por possuir uma cor mais intensa, na qual, diluiu-se em 20 vezes com o ciclohexano.

Na tabela abaixo é possível encontrar o resumo das soluções preparadas contendo nanopartículas de prata.

**Tabela 1** – Resumo das soluções contendo AgNP

<b>Soluções</b>	<b>CTAB</b>	<b>AgNO<sub>3</sub></b>	<b>NaBH<sub>4</sub></b>
A	0,2743 mol/L	0,0382 mol/L	3,82 mol/L
B	0,002743 mol/L	0,0382 mol/L	3,82 mol/L
C	0,002057 mol/L	0,0382 mol/L	3,82 mol/L
D	0,001371 mol/L	0,0382 mol/L	3,82 mol/L

Fonte: Próprio autor, 2021.

Estimou-se então, o tamanho das NP das soluções A e D através do Software MiePlot, fundamentado na teoria de Mie e disponível em [www.philiplaven.com](http://www.philiplaven.com). Os resultados experimentais obtidos com a espectroscopia no UV-visível das duas soluções, foram comparados com os resultados obtidos pelo programa (VIEIRA, 2012)

### **Preparo da solução para elaboração das espumas**

Na elaboração das espumas numa concentração de 7% em massa de PS, preparou-se espumas contendo AgNP, espumas com AgNP utilizando concentrações diferentes de CTAB, e também, foi feita a espuma pura, ou seja, sem AgNP e sem CTAB.

O PS já tratado foi pesado em balança analítica e adicionado a microemulsão das AgNP, nas quantidades necessárias para a obtenção da concentração desejada. Em seguida, essa solução foi colocada em banho-maria, sob constante agitação, até total dissolução do PS, numa temperatura de aproximadamente 40 °C, o que supera a temperatura teta ( $\Theta$ ) da mistura que é de 34,6 °C.

Para obtenção das espumas puras, usou-se o mesmo procedimento descrito acima, mas apenas usando ciclohexano como o solvente.

### **Preparo das espumas de poliestireno com e sem AgNP pelo método de separação de fases**

Para o preparo da espuma, a solução foi aquecida em uma chapa de aquecimento, a uma temperatura de aproximadamente (40 °C), em seguida, a solução foi submetida ao processo de separação (TIPS), passando por um resfriamento até total congelamento, sob uma placa metálica a -10 °C, com auxílio de um sistema Peltier, no qual o solvente congelado foi removido em um tempo de 30 minutos, com redução da pressão com auxílio de uma bomba de vácuo. De modo análogo, a espumas pura e as espumas com concentração de CTAB modificadas foram preparadas.

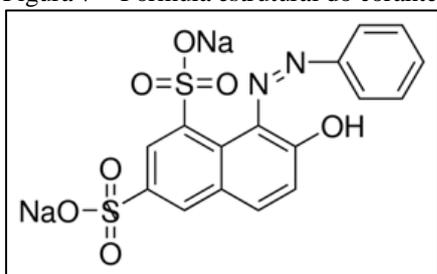
### **Preparo da solução para teste de superfície catiônica**

Uma solução de alaranjado G ( $10^{-4}$  mol/L) foi preparada em um balão volumétrico de 50 mL. A espuma A (Tabela 2) contendo AgNP numa porcentagem em massa de 0,2% de Ag em relação à massa de PS que corresponde 7% e 0,2743 mol/L de CTAB, foi colocada na solução e deixada sob agitação por 1 hora e 30 minutos, depois de retirada, a espuma foi

lavada com água destilada em abundância e foi comparado o antes e depois da solução de alaranjado G. O mesmo teste foi aplicado em uma espuma pura, sem CTAB e sem nanopartículas de prata.

Em seguida, a solução de alaranjado G, na qual a espuma ficou imersa, foi submetida a uma leitura de valor de absorvância realizadas em espectrofotômetro (SHIMADZU), modelo UV-1800, localizado no laboratório do Grupo de Físico-Química de Materiais PCMLab, na faixa espectral de 400-700 nm. Os espectros foram realizados em cubetas de quartzo de comprimento de 1cm e as soluções foram diluídas em 10 vezes com água destilada.

Figura 7 – Fórmula estrutural do corante Alaranjado G



Fonte: SIGMA-ALDRICH, 2021.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

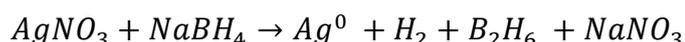
### Preparo das amostras de PS e das AgNP

As amostras de PS foram tratadas a fim de remover quaisquer impurezas presentes em sua superfície, depois de purificadas, foi necessário remover todo HBCD do polímero por se tratar de um poluente orgânico persistente, assim, utilizou-se o ciclohexano, que devido a sua característica apolar dissolveu por completo o aditivo que também é apolar.

Para recuperação do PS utilizou-se um não solvente, o isopropanol, o qual possibilita possivelmente a redução do poder de solvatação do ciclohexano junto ao PS e isso promove a precipitação do polímero (PEREIRA A. A. C. *et al.*, 2016). A literatura mostra que é possível obter uma recuperação maior que 90% de PS sem HBCD (ANON, 2015).

No preparo das nanopartículas de prata, usou-se como material de partida o nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) e como redutor, o borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ), o qual teve sua concentração modificada, esse procedimento foi feito para se entender como sua concentração influencia no caráter hidrofílico das espumas de PS e também, como o tamanho das AgNP é afetado pelo CTAB.

A reação de redução do  $\text{AgNO}_3$  por  $\text{NaBH}_4$  para obtenção das AgNP é a que se segue na equação abaixo (VU, X. H. *et al.*, 2018):

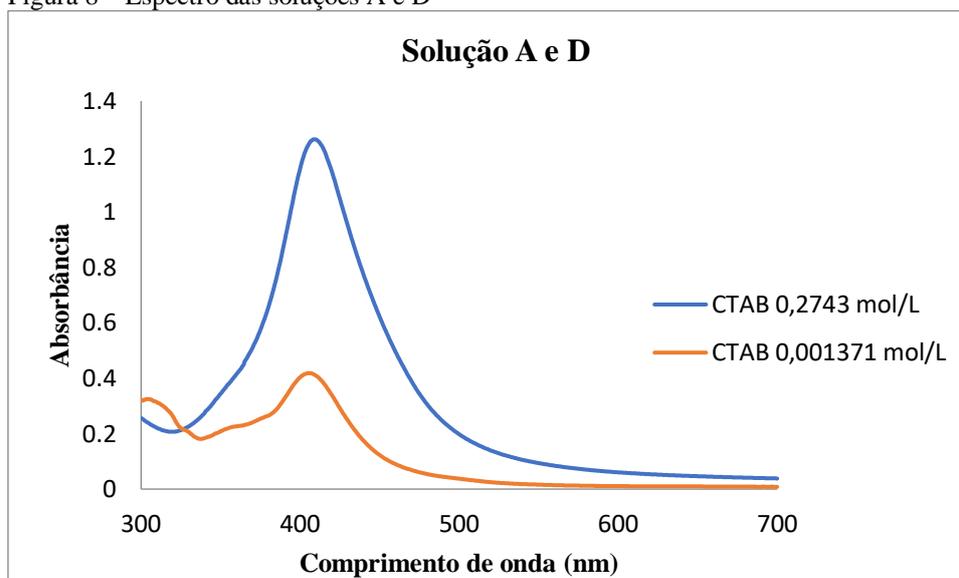


### Caracterização das nanopartículas de prata

A caracterização das AgNP das soluções A e D expostas na Tabela 1, foi feita por espectroscopia de absorção molecular, para examinar como o CTAB influencia no tamanho das nanopartículas de prata. Um estudo com nanopartículas de cobre sugere que o CTAB desempenha um papel crítico no controle do tamanho, onde, o aumento da concentração de CTAB promove um tamanho menor de NP. (CHEN, L., *et al.*, 2006).

Na Figura 8 pode se observar os espectros dessas soluções, onde o comprimento de onda máximo ( $\lambda_{\text{Máx}}$ ) obtido para as soluções A e D se encontram em 409 e 405 nm, respectivamente, com uma absorbância de 1,262 e 0,419 respectivamente.

Figura 8 – Espectro das soluções A e D



Fonte: Próprio autor, 2021.

De acordo com a literatura, o aumento da absorvância é atribuído a um aumento na quantidade de prata reduzida (LUO, 2007), a diminuição da concentração de CTAB na solução D diminuiu a quantidade de AgNP na solução, ou seja, conferiu menor quantidade de prata reduzida e isso explica a causa da diminuição da absorvância, o mesmo é válido para a solução A, que com o aumento da concentração de CTAB ocorreu também o aumento da quantidade de prata reduzida e assim, o aumentou a absorvância.

Através do comprimento de onda é possível analisar o tamanho da NP. O comprimento de onda maior da solução A significa um tamanho de partícula maior, enquanto comprimento de onda menor da solução D sugere um tamanho de partícula menor, isso é explicado pela ressonância plasmonica de superfície (SPR) que sofre influência do tamanho, morfologia, composição, química de superfície e ambiente circundante da NP. À medida que o tamanho da partícula diminui, as alturas dos picos de SPR também diminuem drasticamente, enquanto que, as larguras espectrais tornam-se mais amplas, isso se deve a baixa condutividade eletrônica na camada atômica mais externa, motivada pelas interações químicas, e assim, causa um desvio da banda para o vermelho. (PENG, S., *et al*, 2010)

Entretanto, esperava-se que, com uma a maior quantidade de CTAB na solução, ocorresse à formação de partículas menores. Isso pode ser explicado através do efeito de força iônica, já que o mesmo, influencia no tamanho da partícula e é predominante ao efeito estabilizador do CTAB.

Sabendo-se que a força iônica é a medida da concentração de íons e que o CTAB é a substância que confere contra-íons, muito CTAB sugere maior quantidade de contra-íons,

portanto, a força iônica do meio é alta, e apesar do CTAB atuar como estabilizante na superfície da NP, a grande concentração de contra-íons, ou seja, o excesso de cargas, acaba por contrair a dupla camada elétrica da NP, permitindo um maior grau de interação partícula-partícula e isso ocasiona um aumento do nível de agregação das NP, a qual transferem matéria e crescem, dessa forma é possível entender porque ocorreu um crescimento um pouco maior da NP com o aumento da quantidade de CTAB. O mesmo é válido para explicar a diminuição do tamanho das NPs devido a menor concentração de CTAB no meio, com a força iônica baixa devido a pouca concentração de contra-íons, a dupla camada elétrica não é contraída, então as NP não interagem muito entre si e dessa forma não conseguem agregar e transferir matéria de uma para outra. (BADAWY, A. M. E. *et al.*, 2010)

Em resumo, o aumento da força iônica comprime a DCE o que aumenta a interação entre as NP que sofrem agregação e isso ocasiona o aumento das NP.

O tamanho da partícula estimado através do cálculo do máximo do espectro de absorção usando o programa Mieplot foi de aproximadamente 32 nm para solução D e 37 nm para solução A.

### **Hidrofilização das espumas poliméricas**

As espumas foram avaliadas qualitativamente a fim de identificar se houve alguma mudança em relação ao seu comportamento hidrofóbico. Para isso, fez-se o teste da gota avaliando visualmente algumas espumas, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do teste da gota em espumas de poliestireno

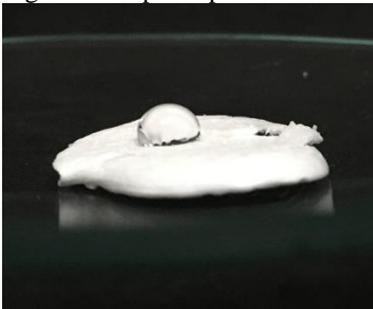
<b>Espumas</b>	<b>Especificações</b>	<b>Resultados</b>
<b>Espuma Pura</b>	Sem CTAB e sem NPAg	Hidrofóbica
<b>Espuma A</b>	CTAB (0,2743 mol/L) e NPAg	Hidrofílica
<b>Espuma B</b>	CTAB (0,002743 mol/L) e NPAg	Hidrofílica
<b>Espuma C</b>	CTAB (0,002057 mol/L) e NPAg	Pouco Hidrofílica
<b>Espuma D</b>	CTAB (0,001371 mol/L) e NPAg	Hidrofóbica

Fonte: Próprio autor, 2021.

Como apresentado acima, foi possível comprovar que ao modificar a quantidade de CTAB usado na espuma de PS, alterou-se também o aspecto hidrofóbico e hidrofílico da mesma.

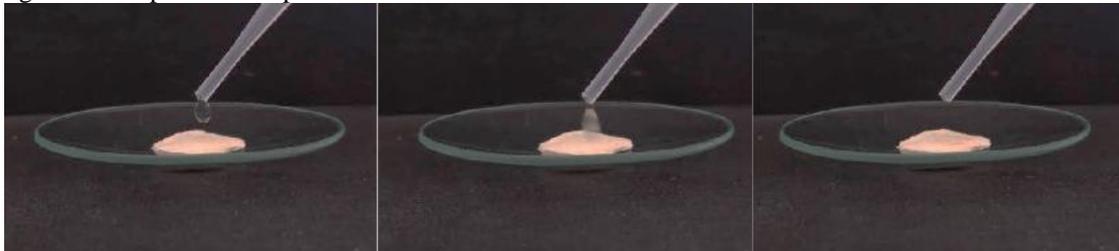
A espuma sem CTAB permaneceu hidrofóbica como já esperado, ao adicionar um mínimo de 0,0026g de CTAB (0,002057 mol/L), é possível notar que a característica hidrofóbica começa a ser modificada. Abaixo encontram-se imagens de alguns testes realizados de acordo com a Tabela 2.

Figura 9 - Espuma pura hidrofóbica



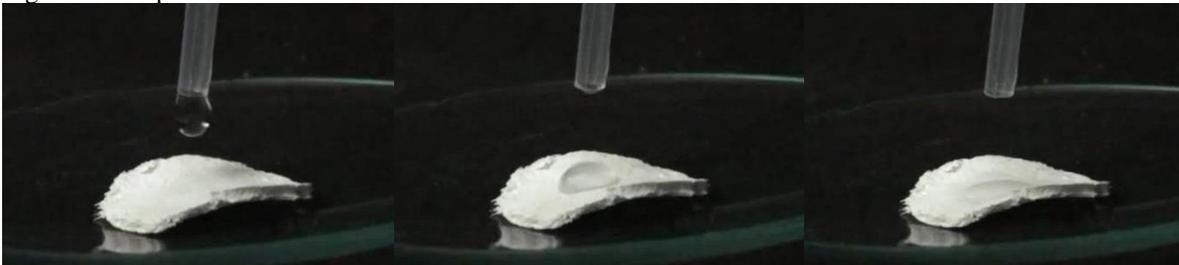
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 10 - Espuma A se apresenta hidrofílica



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 11 - Espuma B hidrofílica



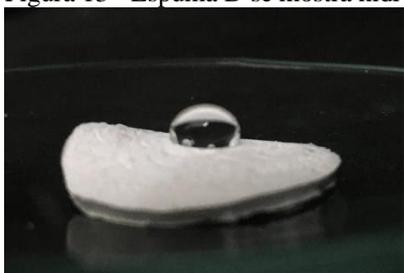
Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 12 - Espuma C se mostra pouco hidrofílica



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 13 - Espuma D se mostra hidrofóbica

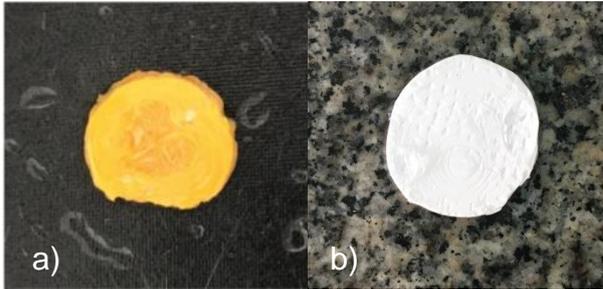


Fonte: Próprio autor, 2021.

É possível que o CTAB tenha convertido a carga superficial negativa da nanopartícula para positiva, mantendo sua estabilidade através da formação de bicamadas e isso a tenha tornado hidrofílica, já que o grupo catiônico no exterior da bicamada possui característica hidrofílica. Pode-se notar que a espuma sem AgNP e sem CTAB (Figura 9) permaneceu hidrofóbica provavelmente pela ausência do CTAB, e com a diminuição de CTAB a hidrofobicidade da espuma também diminuiu. Na Figura 10 e 11, as espumas A e B absorvem a gota imediatamente, a espuma C (Figura 12) precisou de 25 minutos para absorver totalmente a gota de água, enquanto que a espuma D (Figura 13) com 0,001371 mol/L de CTAB não conseguiu absorver a gota em um tempo de 25 minutos.

Para comprovar se o CTAB teria mudado a carga negativa da nanopartícula utilizou-se o alaranjado G, por ser um corante aniônico teria que se ligar aos íons positivos na superfície das AgNP. Como mostrado na Figura 14, mesmo depois da lavagem da espuma com água destilada, a cor permaneceu fixada e a água pós-lavagem, incolor, significando que possivelmente os íons negativos do corante teriam se ligado a superfície da nanopartícula, indicando que a mesma sofreu uma conversão em sua superfície pela bicamada de CTAB, o mesmo teste foi feito em uma espuma pura e foi possível observar que a cor não se fixou na espuma.

Figura 14 - a) Espuma A depois de agitação por 1 hora e 30 minutos - b) Espuma pura depois de agitação por 1 hora e 30 minutos



Fonte: Próprio autor, 2021.

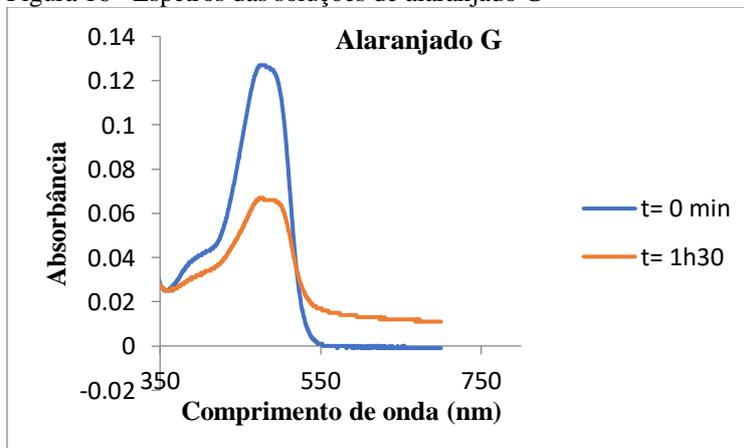
É possível observar uma mudança na cor da solução em que a espuma A foi inserida, como mostrado na Figura 15 à esquerda, têm-se uma solução de alaranjado G ( $10^{-4}$  mol/L) numa coloração mais escura (sol. X), na direita, uma solução de alaranjado G mais clara depois da imersão da espuma A por um tempo de 1 hora e 30 minutos (sol. Y). Os espectros da solução pura (solução X) e da solução de cor mais clara na qual a espuma A foi adicionada (solução Y) se encontram na Figura 16.

Figura 15 - Soluções de alaranjado G



Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 16 - Espectros das soluções de alaranjado G



Fonte: Próprio autor, 2021.

Acima, estão apresentados os espectros da solução pura de alaranjado G e da solução de alaranjado G na qual a espuma ficou imersa, ambas com comprimento de onda máximo ( $\lambda_{\text{Máx}}$ ) de 477nm. Foi possível observar a diminuição da banda de absorção máxima do corante de 0,127 para 0,067, implicando numa redução de 47,25%, onde provavelmente ocorreu uma redução química ou adsorção. (LIU, X., LIANG, M., LIU, M. *et al*, 2016)( VARADAVENKATESAN, T., SELVARAJ, R., VINAYAGAM, R., 2016)( NUNES, Michael Ramos., 2012)

## 5. CONCLUSÃO

- Com a variação da concentração de CTAB na espuma de PS ocorreu uma modificação no tamanho das AgNP, onde, uma maior concentração aumentou a quantidade de prata reduzida e formou partículas de tamanho maiores e a diminuição da concentração de CTAB resultou em partículas de tamanho menor porém ocorreu pouca quantidade de prata reduzida
- Espumas de poliestireno foram hidrofílicas pelas nanopartículas de prata passivadas com moléculas de CTAB formando dupla camada.
- O teste da gota na superfície das espumas de PS mostrou que a hidrofílicidade da espuma muda conforme a concentração de CTAB também muda, na qual, quanto maior a concentração de CTAB maior a hidrofílicidade.
- Observou-se uma redução de 47,25% do corante Alaranjado-G pela espuma de PS contendo AgNP e CTAB. Pesquisas futuras poderão mostrar se essa redução foi química ou se somente ocorreu uma adsorção.

## REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. Benefícios do plástico. **ABIPLAST**, (2019). Disponível em: <[www.abiplast.org.br/sala-de-imprensa/beneficios-do-plastico/#:~:text=O%20pl%C3%A1stico%20%C3%A9%20um%20material,s%C3%A3o%20algumas%20de%20suas%20qualidades.](http://www.abiplast.org.br/sala-de-imprensa/beneficios-do-plastico/#:~:text=O%20pl%C3%A1stico%20%C3%A9%20um%20material,s%C3%A3o%20algumas%20de%20suas%20qualidades.)>. Acesso em: 5 de Fevereiro de 2021.
- ALIZADEH, H.; SALOUTI, M.; SHAPOURI, R. Bactericidal Effect of Silver Nanoparticles on Intramacrophage *Brucella abortus* 544. **Jundishapur Journal of Microbiology**, (2014). DOI:10.5812/jjm.9039. Disponível em: <[www.researchgate.net/publication/264991078\\_Bactericidal\\_Effect\\_of\\_Silver\\_Nanoparticles\\_on\\_Intramacrophage\\_Brucella\\_abortus\\_544](http://www.researchgate.net/publication/264991078_Bactericidal_Effect_of_Silver_Nanoparticles_on_Intramacrophage_Brucella_abortus_544)>. Acesso em: 11 de Abril de 2021.
- ANON, 2015. Determination of HBCD in polystyrene foams with the GC-FID technique. Disponível em: <[www.informea.org/en/determination-hbcd-polystyrene-foams-gc-fid-technique](http://www.informea.org/en/determination-hbcd-polystyrene-foams-gc-fid-technique)>. Acesso em: 29 de Maio de 2021.
- ASSIS, Geovânia Cordeiro de. **Preparação de nanoespumas de poliestireno impregnadas com nanopartículas de SnO<sub>2</sub> : Aplicação em fotocatalise heterogênea**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande –PB, 2016.
- BADAWY, A. M. E., *et al.* Impact of Environmental Conditions (pH, Ionic Strength, and Electrolyte Type) on the Surface Charge and Aggregation of Silver Nanoparticles Suspensions. **Environmental Science & Technology**, (2010). Doi:10.1021/es902240k. Disponível em: <[pubs.acs.org/doi/10.1021/es902240k#](http://pubs.acs.org/doi/10.1021/es902240k#)>. Acesso em: 28 de Maio de 2021.
- BALLOTTIN, Daniela P.M. **Caracterização de nanopartículas de prata e sua aplicação na produção de tecidos antimicrobianos**. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.
- BENEDITO, Aline de Souza; Silva, Fabiana Fanger; Santos, Ísis V. de Sousa. Nanopartículas de prata: aplicações e impacto ambiental. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, (2017). Disponível em: <[revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_16\\_BENEDITO\\_Aline\\_de\\_Souza.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_16_BENEDITO_Aline_de_Souza.pdf)>. Acesso em: 10 de Abril de 2021.
- BESSELING, Ellen *et al.* Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). **Environmental Science & Technology**, (2013). DOI:10.1021/es302763x. Disponível em: <[pubs.acs.org/doi/10.1021/es302763x](http://pubs.acs.org/doi/10.1021/es302763x)>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2021.
- BROWNE, Mark Anthony *et al.* Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. **Current Biology**, (2013). DOI:10.1016/j.cub.2013.10.012. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213012530](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213012530)>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2021.

CARRANÇA, Thais. Consumo de plásticos explode na pandemia e Brasil recicla menos de 2% do material. **BBC News Brasil em São Paulo**, (2020). Disponível em: <[www.bbc.com/portuguese/brasil-55131470](http://www.bbc.com/portuguese/brasil-55131470)>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

CHALMIN, Philippe. The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock. **OpenEdition Journals**, (2019). Edição especial 19. Disponível em: <[journals.openedition.org/factsreports/5071](http://journals.openedition.org/factsreports/5071)>. Acesso em: 2 de Fevereiro de 2021.

CHEN, L., *et al.* The use of CTAB to control the size of copper nanoparticles and the concentration of alkylthiols on their surfaces. **Materials Science and Engineering: A**, 2006. Doi:10.1016/j.msea.2005.09.060. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509305011391](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509305011391)>. Acesso em: 30 de Maio de 2021.

CHRISTOPH *et al.* Aspectos nano de los desechos de plástico. **Publicación Periódica de Laboratorio de Nanotecnología - Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI)**, (2015). Disponível em: <[www.researchgate.net/publication/285236779\\_ASPECTOS\\_NANO\\_DE\\_LOS\\_DESECHOS\\_DE\\_PLASTICO\\_-\\_NANO\\_ASPECTS\\_OF\\_PLASTIC\\_WASTE](http://www.researchgate.net/publication/285236779_ASPECTOS_NANO_DE_LOS_DESECHOS_DE_PLASTICO_-_NANO_ASPECTS_OF_PLASTIC_WASTE)>. Acesso em: 21 de Março de 2021.

DE SOUZA MACHADO, Anderson Abel *et al.* Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. **Global Change Biology**, (2017). DOI:10.1111/gcb.14020. Disponível em: <[onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14020](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14020)>. Acesso em: 9 de Fevereiro de 2021.

DRIS R., GASPERI J., TASSIN B. (2018) Sources and Fate of Microplastics in Urban Areas: A Focus on Paris Megacity. Em: Wagner M., Lambert S. (eds) Freshwater Microplastics. **The Handbook of Environmental Chemistry**, vol 58. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_4).

ELABD, Yossef A. ; Napadensky, Eugene. Sulfonation and characterization of poly(styrene-isobutylene-styrene) triblock copolymers at high ion-exchange capacities. **Polymer**, (2004). DOI:10.1016/j.polymer.2004.02.061. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386104001971#!](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386104001971#!)>. Acesso em: 7 de Março de 2021.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. Plastic pollution. **Britannica Academic, Encyclopædia Britannica**, (2020). Disponível em: <[academic-eb-britannica.ez121.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/plastic-pollution/477253#article-contributors](http://academic-eb-britannica.ez121.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/plastic-pollution/477253#article-contributors)>. Acesso em: 3 de Fevereiro de 2021.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. Polystyrene. **Britannica Academic, Encyclopædia Britannica**, (2016). Disponível em: <[academic-eb-britannica.ez121.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/polystyrene/60723](http://academic-eb-britannica.ez121.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/polystyrene/60723)>. Acesso em: 10 de Março de 2021.

EPS Brasil. Aplicações. **EPS Brasil**, (2014). Disponível em: <[www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html](http://www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html)>. Acesso em 10 de Março de 2021.

GLOBAL BUSINESS INTELLIGENCE, (GBI) Research, Polystyrene (PS) and expandable polystyrene (EPS) global market to 2020 – Continued development in the construction (EPS) and packaging (PS) end-use segments to accelerate future demand. **GBI Research**, January 2012, Report No. GBICH0059MR.

HOLLAMBY, M. J. Separation and Purification of Nanoparticles in a Single Step. **Langmuir**, (2010). DOI:10.1021/la904225k. Disponível em: <pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la904225k>. Acesso em: 4 de março de 2021.

IDER, M. *et al.* Silver Metallic Nanoparticles with Surface Plasmon Resonance: Synthesis and Characterizations. **Journal of Cluster Science**, (2016). DOI:10.1007/s10876-016-1080-1. Disponível em: <link.springer.com/article/10.1007%2Fs10876-016-1080-1>. Acesso em: 20 maio de 2021.

JIANG, J., OBERDÖRSTER, G., BISWAS, P. Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticle dispersions for toxicological studies. **Journal of Nanoparticle Research**, (2008). Doi:10.1007/s11051-008-9446-4. Disponível em: <link.springer.com/article/10.1007/s11051-008-9446-4>. Acesso em: 28 de Maio de 2021.

JIN, Y. *et al.* Efficient bacteria capture and inactivation by cetyltrimethylammonium bromide modified magnetic nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, (2015). DOI:10.1016/j.colsurfb.2015.10.009. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092777651530240X>. Acesso em: 2 de Abril de 2021.

KIM, J. S. *et al.* Antimicrobial effects of silver nanoparticles. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, (2007). DOI:10.1016/j.nano.2006.12.001. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1549963406003467>. Acesso em: 11 de Abril de 2021.

LIM, J. *et al.* Surface Modification of Citrate-Capped Gold Nanoparticles Using CTAB Micelles. **Bull. Korean Chem. Soc.**, (2014). DOI:10.5012/bkcs.2014.35.8.2567. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/273013043\_Surface\_Modification\_of\_Citrate-Capped\_Gold\_Nanoparticles\_Using\_CTAB\_Micelles>. Acesso em: 6 de Abril de 2021.

LIU, X., LIANG, M., LIU, M. *et al.* Highly Efficient Catalysis of Azo Dyes Using Recyclable Silver Nanoparticles Immobilized on Tannic Acid-Grafted Eggshell Membrane. **Nanoscale Res Lett**, 2016. Doi:10.1186/s11671-016-1647-7. Disponível em: <nanoscalereslett.springeropen.com/articles/10.1186/s11671-016-1647-7>. Acesso em: 30 de Maio de 2021.

LUO, Yonglan. Preparation of silver nanoparticles by heating a quaternary ammonium polyelectrolyte-AgNO<sub>3</sub> aqueous solution in basic conditions. **Indian Journal of Chemistry**, (2007). Disponível em: <nopr.niscair.res.in/handle/123456789/2155>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

M. B. C. DA COSTA, Maria Eloir. Cultivo de orquídeas em isopor. Depositante: Maria Eloir Macena Bezerra Corrêa da Costa. MU 8900609-7 U2. Depósito: 24 de Abril de 2009. Concessão: 21 de dezembro de 2010. Disponível em:

<[www.escavador.com/patentes/310426/cultivo-de-orquideas-em-isopor](http://www.escavador.com/patentes/310426/cultivo-de-orquideas-em-isopor)>. Acesso em: 10 de Março de 2021.

MANCINI, Sandro Donnini. Reciclagem de polímeros. **UNESP**, (2019). Disponível em: <[www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/SandroD.Mancini/7-polimerosrec.pdf](http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/SandroD.Mancini/7-polimerosrec.pdf)>. Acesso em: 12 de Março de 2021.

MEKHZOOM *et al.* Recent Advances in Polymer Recycling: A Short Review. **Current Organic Synthesis**, (2017). DOI: 10.2174/1570179413666160929095 017. Disponível em: <[www.researchgate.net/publication/314255254\\_Recent\\_Advances\\_in\\_Polymer\\_Recycling\\_A\\_Short\\_Review](http://www.researchgate.net/publication/314255254_Recent_Advances_in_Polymer_Recycling_A_Short_Review)>. Acesso em: 8 de Março de 2021.

MIELCZARSKI J.A. *et al.* Modification of polystyrene surface in aqueous solutions. **J Colloid Interface Sci.** (2011). DOI: 10.1016/j.jcis.2011.05.068. Disponível em: <[pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21802090/](http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21802090/)>. Acesso em: 2 de Abril de 2021.

MULFINGER, L. *et al.* Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. **Journal of Chemical Education**, (2007). DOI:10.1021/ed084p322. Disponível em:<[pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed084p322](http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed084p322)>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

NUNES, Michael Ramos. **Desenvolvimento de materiais híbridos a base de sílica contendo o grupo orgânico iônico 1,4-diazoniabicyclo[2.2.2]octano e nanopartículas de ouro e paládio**. Dissertação (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2012.

PENG, S., *et al.* Reversing the size-dependence of surface plasmon resonances. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2010. Doi:10.1073/pnas.1007524107. Disponível em:<[www.pnas.org/content/107/33/14530](http://www.pnas.org/content/107/33/14530)>. Acesso em: 30 de Maio de 2021.

PEREIRA A. A. C. *et al.* **Estudo da solubilidade do poliestireno (PS) e da policaprolactona (PCL) em diferentes solventes orgânicos**. In: CBECiMat - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal, RN, Brasil.

RANI, Manviri *et al.* Hexabromocyclododecane in polystyrene based consumer products: An evidence of unregulated use. **Chemosphere**, (2014). DOI:10.1016/j.chemosphere.2014.02.022. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514002252](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514002252)>. Acesso em: 23 de Março de 2021.

RILLIG, Matthias C. Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil?. **Environmental Science & Technology**, (2012). DOI:10.1021/es302011r. Disponível em: <[pubs.acs.org/doi/10.1021/es302011r](http://pubs.acs.org/doi/10.1021/es302011r)>. Acesso em: 9 de Fevereiro de 2021.

RILLIG, Matthias C.; Lehmann, Anika. Microplastic in terrestrial ecosystems. **Science**, (2020). DOI:10.1126/science.abb5979. Disponível em: <[science.sciencemag.org/content/368/6498/1430](http://science.sciencemag.org/content/368/6498/1430)>. Acesso em: 17 de Fevereiro de 2021.

RODRIGUES *et al.* Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): um estudo bibliográfico. **Revista Iberoamericana Polímeros y Materiales Polímeros**,

(2017). Disponível em: <reviberpol.files.wordpress.com/2019/06/2017-18-3-da-silva-rodrigues-y-col.pdf>. Acesso em 9 de Março de 2021.

SIGMA-ALDRICH. **Orange G**, 2021. Disponível em:<www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/o7252?lang=pt&region=BR&cm\_sp=Insite\_-caContent\_prodMerch\_gruCrossEntropy\_-\_prodMerch10-1>. Acesso em: 28 de Maio de 2021.

SINGH *et al.* Novel Floating Ag<sup>+</sup>-Doped TiO<sub>2</sub>/Polystyrene Photocatalysts for the Treatment of Dye Wastewater. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, (2014). DOI: 10.1021/ie502911a. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/278149607\_Novel\_Floating\_Ag-Doped\_TiO2Polystyrene\_Photocatalysts\_for\_the\_Treatment\_of\_Dye\_Wastewater>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2021.

SUŁKOWSKI, Wiesław W. *et al.* Chemical Recycling of Polystyrene. Sulfonation with Different Sulfonation Agents. **Molecular Crystals and Liquid Crystals**, (2010). DOI:10.1080/15421401003720140. Disponível em: <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15421401003720140>. Acesso em: 4 de Abril de 2021.

TABEKH, H; Kurdi, M. H.; Aji, Zaki. Sulphonation of expanded polystyrene waste with commercial sulphuric acid for potential use in removal of heavy metals from contaminated waters. **Polimeri**, (2015). Disponível em: <www.researchgate.net/publication/306212810\_Sulphonation\_of\_expanded\_polystyrene\_waste\_with\_commercial\_sulphuric\_acid\_for\_potential\_use\_in\_removal\_of\_heavy\_metals\_from\_contaminated\_waters>. Acesso em: 3 de Abril de 2021.

THOMPSON, R. C. *et al.* Our plastic age. **Phil. Trans. R. Soc. B**, (2009). DOI: 10.1098/rstb.2009.0054. Disponível em: <royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2009.0054>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2021.

VAHIDI, K. *et al.* The effect of varying the introduction mode of reactants on electrical, physical and thermal stability properties of polypyrrole synthesized with CTAB. **AIP Advances**, (2017). DOI:10.1063/1.4998727. Disponível em: <aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4998727>. Acesso em: 8 de Abril de 2021.

VARADAVENKATESAN, T., SELVARAJ, R., VINAYAGAM, R. Phyto-synthesis of silver nanoparticles from *Mussaenda erythrophylla* leaf extract and their application in catalytic degradation of methyl orange dye. **Journal of Molecular Liquids**, 2016. Doi:10.1016/j.molliq.2016.06.064. Disponível em:<www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732216303932>. Acesso em 31 de Maio de 2021.

VIEIRA, Laís de souza. **Síntese e caracterização de nanopartículas de ouro encapadas com prata**. Curso de Engenharia Química, Universidade do Vale do Paraíba - UniVap, Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo - FEAU, São José do Campos - SP, 2012.

VU, X. H., *et al.* Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, 2018. Doi:10.1088/2043-6254/aac58f. Disponível em:<iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6254/aac58f>. Acesso em: 29 de Maio de 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, *The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics* (2016, [www.ellenmacarthurfoundation.org/publications](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications)).

YOUGEN *et al.* Preparation of monodisperse polystyrene/silver composite microspheres and their catalytic properties. **Colloid Polym Sci**, (2012). DOI: 10.1007/s00396-011-2555-0. Disponível em: <[link.springer.com/article/10.1007/s00396-011-2555-0#rightslink](http://link.springer.com/article/10.1007/s00396-011-2555-0#rightslink)>. Acesso em 9 de fevereiro de 2021.

ZHANG, Q. *et al.* New insights into nanocomposite adsorbents for water treatment: A case study of polystyrene-supported zirconium phosphate nanoparticles for lead removal. **Journal of Nanoparticle Research**, (2011). DOI:10.1007/s11051-011-0521-x. Disponível em: <[www.researchgate.net/publication/225546777\\_New\\_Insights\\_into\\_Nanocomposite\\_Adsorbents\\_for\\_Water\\_Treatment\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Polystyrene-Supported\\_Zirconium\\_Phosphate\\_Nanoparticles\\_for\\_Lead\\_Removal](http://www.researchgate.net/publication/225546777_New_Insights_into_Nanocomposite_Adsorbents_for_Water_Treatment_A_Case_Study_of_Polystyrene-Supported_Zirconium_Phosphate_Nanoparticles_for_Lead_Removal)>. Acesso em: 15 de Março de 2021.

ZHANG, W.; QIAO, X.; CHEN, J. Synthesis and characterization of silver nanoparticles in AOT microemulsion system. **Chemical Physics**, (2006). DOI:10.1016/j.chemphys.2006.09.029. Disponível em:<[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301010406005222](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301010406005222)>. Acesso em: 22 de maio de 2021.