



POLÍMEROS CONDUTORES: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Frederico L. Silva, Guilherme M. e Souza, Gustavo C. Carvalho, Miguel B. Baraldi, Pedro L. A. Dourado. Frederico.lago@usp.br, guilherme.medeiros.souza@usp.br, gustavo.costa.carvalho@usp.br, pedro.dourado@usp.br, miguel.baraldi@usp.br

Palavras-chave: Polímeros Condutores; Polímeros eletroativos; blindagem a radiação

RESUMO

1. Introdução

Os polímeros condutores, que também são conhecidos por polímeros eletroativos, são matérias compostos por macromoléculas que apresentam a propriedade de conduzir corrente elétrica e, como consequência, apresentam outras propriedades que tornam esse material único. Essas características possibilitam um grande âmbito de pesquisas e aplicações.

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho é compreender as nuances dos polímeros eletroativos, tais como mecanismos e aplicações e, a partir disso, vislumbrar de que maneira esse conteúdo pode promover inovação e em quais áreas.

3. Método

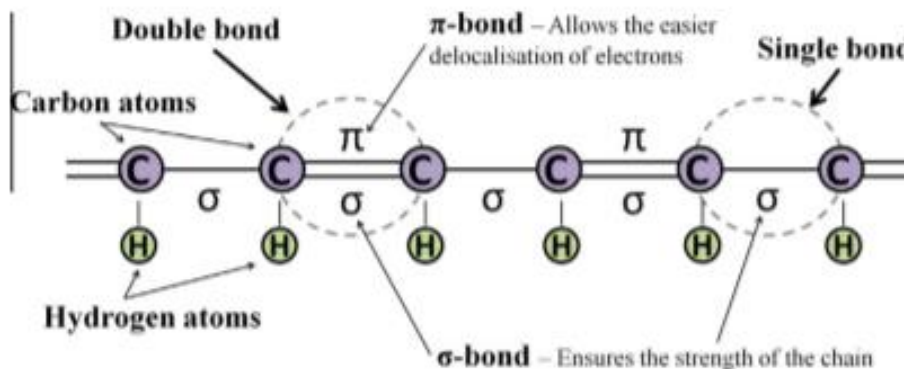
Para a discussão desse assunto, utilizou-se da revisão de literatura de diversas fontes, como artigos e livros, para estudar o estado da arte referente aos polímeros condutores.

4. Discussão

A condutividade nos polímeros surge de uma combinação de diversos fatores. De maneira geral, os polímeros condutores podem conduzir cargas através da facilidade que os elétrons saltam dentro e entre as cadeias do polímero (GHASEMI-MOBARAKEH; PRABHAKARAN; MORSHED, 2011).

Os polímeros possuem dois tipos de ligações. As simples são chamadas de σ e são quimicamente fortes. Porém as ligações duplas ou triplas também contém uma ligação (π) quimicamente mais fraca. Os orbitais-p das séries de ligações π se sobrepõem, permitindo que os elétrons sejam facilmente deslocalizados, ou seja, eles não pertencem a um único átomo, mas para um grupo de átomos e movem-se livremente entre os átomos. Outro fator para a condutividade desses polímeros são os dopantes. O polímero é sintetizado em sua forma oxidada e condutora e somente na presença da molécula dopante (carga / ânion negativo) é que a coluna de ligações e cargas são estabilizadas (BALINT; CASSIDY; CARTMELL, 2014). Conforme a figura 1 abaixo.

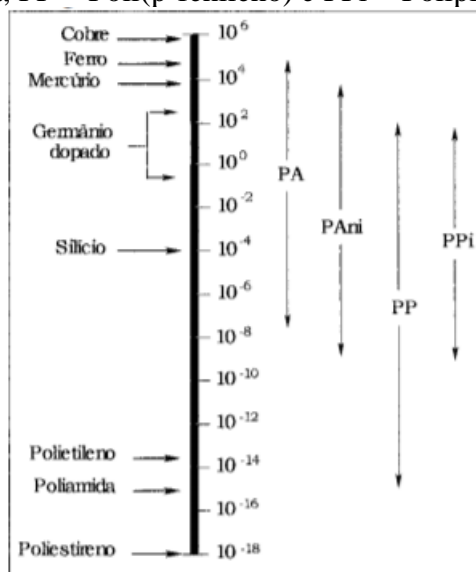
Figura 1 – Esquema simplificado das ligações do polímero.



Fonte: (BALINT; CASSIDY; CARTMELL, 2014)

Analisando a condutividade elétrica, muitos polímeros condutores estão na mesma faixa de grandeza da maioria dos semicondutores inorgânicos, conforme a figura 2. Os semicondutores inorgânicos possuem um baixo número de portadores (na ordem de 10^{16} a 10^{18} cm^{-3}), mas possuem altas mobilidades (10^2 a 10^5 $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). Esta alta mobilidade é devida ao alto grau de cristalinidade e pureza destes materiais, bem como ao número relativamente baixo de defeitos presentes na sua estrutura. Já os polímeros condutores, possuem um grande número de portadores (10^{21} a 10^{23} cm^{-3}), mas uma baixíssima mobilidade (10^{-4} a 10^{-5} $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) devido, principalmente, ao grande número de defeitos estruturais através da reticulação e desordenamento das cadeias (ZARBIN, 2000).

Figura 2 – Comparação da condutividade dos polímeros condutores PA = Poliacetileno, PAni = Polianilina, PP = Poli(p-fenileno) e PPI = Polipirrol.



Fonte: (ZARBIN, 2000)

Os polímeros condutores (PCs) possuem uma facilidade na sua modificação, devido a sua possível complexidade molecular; portanto, a incorporação de grupos funcionais para melhora das propriedades elétricas e magnéticas se dá de maneira facilitada. A interpretação dos sinais elétricos, em aplicações de sensores ou biossensores (uma vez que os polímeros são amplamente utilizados em aplicações biológicas e biomédicas), ocorre com elevada eficiência; além da possibilidade de regeneração e simples manutenção dos mesmos após algum impacto ou desgaste. Há ampla investigação e realização de modelos matemáticos das respostas elétricas dos PCs, no cenário contemporâneo de algumas linhas de pesquisa que contribuem, assim, para a precisão de sistemas que utilizam este material. (TKACH; VASYL; YAGODYNETS, 2012)

O grau de inovação e desenvolvimento desses compostos é um fator de fomento de pesquisas, o que se torna essencial com a ampla gama de possibilidades de aditivação, fácil preparação e



variação do comportamento de condução, intrínseco (que são condutores, independente de fatores externos) ou extrínseco (que depende de fatores externos para a condutância). Uma vantagem, crucial para algumas aplicações é a baixa densidade destes compostos, resultando em estruturas leves. Essa classe de polímeros possui a característica de multifuncionalidade, podendo ser usados como blindagens para ondas eletromagnéticas, não permitindo a passagem das mesmas para alguns componentes sensíveis a variação delas, devido a absorção de amplas faixas de interferências eletromagnéticas, com eficiências da ordem de 90% em amostras de apenas 1mm em baixas intensidades (de 4 a 10 dB). (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000)

Condutividade dos polímeros eletroativos é similar aos semicondutores inorgânicos, utilizados em muitas aplicações. Em casos extremos, é possível chegar em valores próximos da condutividade de alguns metais, como mercúrio e ferro. (ZARBIN, 2000)

Um problema associado aos PCs é a instabilidade eletroquímica, pois algumas reações podem ser estimuladas devido ao potencial fornecido pela fonte de energia, superando a energia de ativação de algumas reações. Esse fenômeno resulta na oscilação da resposta em alguns sensores. (TKACH; VASYL; YAGODYNETS, 2012)

Assim como é visto na maioria dos polímeros, que não são de engenharia, esses compostos possuem baixas propriedades mecânicas, o que pode ser uma limitação em algumas áreas. Para tentar melhorar seu desempenho e sua processabilidade é necessário a utilização de uma matriz, acarretando em gastos e preocupação com a adesão composto-matriz. (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000) O grande número de defeitos estruturais como reticulações e desordem nas cadeias são as principais causas da condutividade não tão elevada da maioria dos polímeros condutores, em relação aos metais. (ZARBIN, 2000)

Conhecidas as propriedades e todas as características que os polímeros necessitam para ser considerados condutores, pode-se pensar nas aplicações para este tipo de material. Assim, muitas aplicações no ramo tecnológico vêm sendo estudadas e desenvolvidas, onde pode-se basear, por exemplo, na condutividade do polímero condutor ou de uma blenda do polímero condutor com um polímero convencional. Deve-se basear também, em propriedades eletroquímicas de oxi-redução do polímero além de considerar um fator muito importante que influencia neste tipo de material é a morfologia ou microestrutura do polímero. Logo, nos dias de hoje já é visto muitas aplicações para este tipo de material, principalmente no ramo tecnológico, como pode ser visto na figura 3 (ZARBIN, 2000).

Figura 3 – Aplicações de polímeros condutores



Fonte: (ZARBIN, 2000)



Assim, os polímeros condutores dependem diretamente das suas morfologias e microestruturas, ou seja, há presença de fatores como descontinuidades, reticulações, que são determinadas pela síntese, fazendo com que algumas variáveis sejam dificilmente controladas. Portanto, o desafio em questão nas aplicações, está em encontrar polímeros condutores que possuem, de certa forma, maior homogeneidade para que as características que esse material possui seja bem aproveitada, contendo assim, uma maior estabilidade, baixa concentração de defeitos, gerando maiores valores de condutividade, o que é uma das principais propriedades que este material necessita possuir para atingir as aplicações nos dias de hoje (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

Os polímeros condutores possuem a capacidade de variar a condutividade com a frequência de radiação incidente. Este fato leva à ideia de aplicar este material à blindagem de radiação como foi citado previamente. A busca pelo estudo neste campo de aplicação tem como objetivo substituir outros materiais absorvedores convencionais, como ferritas, partículas metálicas e de carbono. Esse desejo de mudança convém do fato de que esses polímeros são fáceis de preparar e de obter MAR (Materiais Absorvedores de Radiação) com menor massa específica (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

Os materiais absorvedores de radiação apresentam diversas aplicações, como televisores, celulares, computadores, equipamentos de comunicação, entre outros, a fim de se evitar que haja interferência nos circuitos eletrônicos desse equipamento gerado por motores elétricos ou redes de alta tensão, além de minimizar a emissão de radiações danosas ao meio ambiente (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

A absorção de frequência ocorre devido à capacidade de trocar energia eletromagnética por energia térmica, de modo que possa ocorrer relaxações nas cadeias poliméricas para que haja essa conversão, o que justifica a evolução das propriedades dielétricas que os polímeros condutores possuem (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

Os polímeros condutores para blindagem, entretanto, possuem dificuldade de processamento, dada sua insolubilidade em solventes comuns e à sua infusibilidade.

Os tipos de materiais absorvedores devem ser escolhidos a partir da frequência a ser utilizada. As classes são divididas em duas: materiais densos compostos por uma única fase e materiais compostos por pelo menos duas fases. Utiliza-se a primeira classe para frequências cuja a faixa de absorção é mais larga. Além disso, as propriedades do material devem ser homogêneas. Para a segunda classe, é envolvida a presença de dispersão de uma carga que apresenta propriedades magnéticas ou dielétricas em uma matriz isolante (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

Os polímeros condutores para blindagem podem ser produzidos a partir da síntese do polímero polianilina, ou PANi, a qual é sintetizada quimicamente em um reator de vidro usando uma solução de $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ como oxidante. As blendas são posteriormente preparadas no misturador mecânico e, por fim, mede-se a refletividade (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

Apesar de não existirem aplicações para a finalidade de blindagem utilizando-se de polímeros condutores, é notável a capacidade de aplicá-los ao meio. O que, de fato, seria de fundamental consideração para o seu uso em substituição aos metais, está relacionado com a diversidade de caminhos que podem ser utilizados para a preparação destes materiais. Ademais, não se pode relevar a baixa massa específica que esses materiais apresentam, o que se insere às aplicações descritas no inserto deste material inovativo (FAEZ; REZENDE; MARTIN, 2000).

5. Conclusão

Portanto, pode-se concluir a partir desse trabalho, que aliar a propriedade de condução elétrica a materiais poliméricos converge para um novo campo de aplicações seja otimizando produtos já existentes ou até mesmo servido como pioneiro para novas implementações tecnológicas. Assim com a maioria das descobertas, e da ciência de materiais como um todo, existem limitações ligadas as propriedades de interesse que devem ser consideradas para otimização de projetos e pesquisas na área, principalmente para um campo de conhecimento tão inexplorado como o discutido acima. Por fim, conclui-se que o investimento de tempo e recursos nos polímeros condutores é válido e



promissor, tanto para a área acadêmica, mas também para o âmbito industrial e social no Brasil e no mundo.

6. Referências

FAEZ, Roselena; REZENDE, Mirabel C.; MARTIN, Inácio M. and DE PAOLI, Marco-A.. **Polímeros condutores intrínsecos e seu potencial em blindagem de radiações eletromagnéticas.** *Polímeros* [online]. 2000, vol.10, n.3, pp.130-137. ISSN 0104-1428.

BALINT, R.; CASSIDY, N. J.; CARTMELL, S. H. Acta Biomaterialia Conductive polymers : Towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, v. 10, n. 6, p. 2341–2353, 2014.

FAEZ, R.; REZENDE, M. C.; MARTIN, I. M. Polímeros Condutores Intrínsecos e Seu Potencial em Blindagem de Radiações Eletromagnéticas. v. 10, p. 130–137, 2000.

GHASEMI-MOBARAKEH, L.; PRABHAKARAN, M. P.; MORSHED, M. Application of conductive polymers , scaffolds and electrical stimulation for nerve tissue engineering. n. January, 2011.

TKACH, V. V.; VASYL, V.; YAGODYNETS, I. A investigação matemática do desempenho de biossensores eletroquímicos enzimáticos baseados nos polímeros condutores Introdução Os polímeros condutores têm sido intensamente investigados durante as quatro últi-. v. 41, n. 2, p. 203–216, 2012.

ZARBIN, A. J. G. A obtenção dos polímeros condutores, com exceção do po- liacetileno, é bastante simples, sendo o método eletroquímico 204. v. 23, n. 2, 2000.

Kim DH, Richardson-Burns SM, Hendricks JL, Sequera C, Martin DC. Effect of immobilized nerve growth factor on conductive polymers: electrical properties and cellular response. *Adv Funct Mater* 2007;17:79–86.