



Aproveitamento do resíduo PMMA no desenvolvimento de dispositivos ópticos utilizados em sistemas de telecomunicações baseados em fibras ópticas plásticas

**Kaio Fardim¹, Adilson Ribeiro Prado², Alex do Santos Borges³,
Shirley Peroni Neves Cani⁴**

¹Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Vitória* (kfardim@gmail.com)

² Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Serra* (adilsonp@ifes.edu.br)

³ Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Vitória* (alexb@ifes.edu.br)

⁴ Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Vitória* (shirleypnc@ifes.edu.br)

Resumo

Dentre os resíduos eletrônicos, uns dos mais comuns são monitores de notebooks e de televisores onde está presente o polímero PMMA (Poli-metil-metacrilato). Esse polímero possui alta transparência e por essa razão é uns dos polímeros utilizados na fabricação de fibras e dispositivos ópticos. Neste trabalho é apresentada uma técnica de dopagem do resíduo polimérico PMMA com o Európio a uma taxa de 0,1% em massa, que preserva as características ópticas do PMMA, permitindo ainda a matriz atuar como conversor óptico-óptico ou como amplificador óptico em sistema de telecomunicações baseados em fibras ópticas plásticas. A eficiência fotoluminescente do polímero dopado foi verificada através da análise de seu espectro de excitação, emissão e de tempo de vida. Os resultados mostram que a matriz polimérica dopada atua como um conversor óptico da luz ultra-violeta (328nm) para o vermelho visível (611nm).

Palavras-chave: PMMA. Reutilização. Dispositivos ópticos.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

Use of the PMMA residue in the design of optical devices used in telecommunications systems based on plastic optical fibers

Abstract

The monitors of laptops and televisions are trash most common among electronic waste all around the world. These devices are present polymer has high transparency denominated PMMA (Poly-methyl-methacrylate), being using in manufacturing of fibers and optical devices. In this work, a technique of doping of PMMA with Europium at a rate of 0.1% by mass is presented, which preserves the optical characteristics of the PMMA, allowing matrix to act as an optical-optical converter or as an optical amplifier in a system based on plastic optical fibers. The photoluminescent efficiency of doped polymer was verified by analyzing its excitation and emission, being also determined the life time of excited electrons. Results show that doped polymer matrix acts as an optical converter of ultraviolet light (328 nm) to visible red (612 nm).

Key words: PMMA. Reuse. Optical devices.

Theme Area: Solid Waste



1 Introdução

O lixo eletrônico é um dos resíduos que mais cresce na atualidade, muito disso em razão da melhora da qualidade de vida do ser humano e do aumento do consumo de bens. Além disso, a alta taxa de obsolescência dos equipamentos eletrônicos muito contribui para um maior descarte desse material.(CELINSKI *et al.*, 2013)

Existem diversas dificuldades no tratamento destes materiais, tendo destaque os componentes interconectados e dificuldade na separação dos materiais que o compõem. Por isso, mais e mais se buscam materiais que possuem a capacidade de serem reutilizados de forma simples e barata, para que assim se reduzam os impactos nocivos provocados no meio ambiente ocasionados pelo descarte inadequado do lixo eletrônico.(MOHANTY; MISRA; HINRICHSEN, 2000)

Dessa forma estão sendo desenvolvidas pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos eletrônicos tanto através da separação desses resíduos para reaproveitamento quanto na avaliação dos impactos ambientais gerados. Um dos resíduos eletrônicos mais comuns são monitores de notebooks e de televisores. Nesses equipamentos é possível encontrar o polímero PMMA (poli-metil-metacrilato). Esse polímero é utilizado na difusão da luz de fundo dessas telas devido a sua alta transparência.(LEITE *et al.*, 2014) O PMMA após sua extração possui diversas utilizações: construção de fibras ópticas plásticas, sensores térmicos (LOPEZ *et al.*, 2012), geradores solares (ZARCON *et al.*, 2016), até mesmo em tecnologias de microfluidos (WAN; DEVADAS; YOUNG, 2017). Por essa razão, a extração e o desenvolvimento de novas técnicas de reaproveitamento desse material tem encontrado espaço nas pesquisas científicas e no setor tecnológico.

Devido a sua alta transparência e baixo índice de refração o PMMA é um polímero que pode substituir o vidro em diversas utilizações. (HSU, 1999) Esta característica do PMMA coloca-o como forte candidato a ser utilizado na fabricação de fibras ópticas plásticas capazes de transmitir altas taxas de bits com qualidade e confiabilidade, e na fabricação de dispositivos e soluções ópticas a serem utilizados em sistemas de telecomunicações baseados em fibras plásticas. (KOIKE; KOIKE, 2011)

Neste trabalho é apresentada uma técnica de dopagem do PMMA encontrado em telas de equipamentos eletrônicos descartadas. O objetivo da dopagem é desenvolver um material que apresenta características de absorção e emissão da luz na faixa do vermelho visível. Este material dopado pode ser empregado na construção de dispositivos ópticos tais como conversores óptico-óptico e amplificadores ópticos. No processo de dopagem é utilizado um composto baseado em terra rara ligado a compostos orgânicos. Esta ligação possibilita que o composto se dissolva mais facilmente em matrizes poliméricas tais como o PMMA.(KURIKI; KOIKE; OKAMOTO, 2002). Para ser utilizado como dopante foi escolhido o terra rara Európio, que após ser ligado a elementos orgânicos gerou o composto $\text{Eu}(\text{BTA})_3(\text{H}_2\text{O})_2$. O Európio foi escolhido em razão da sua forte emissão na região do vermelho visível, 612nm, quando excitado com luz ultravioleta UV.(BINNEMANS, 2005). Na sequência são apresentadas o processo de dopagem, as análises fotoluminescentes realizadas nas amostras dopadas e as considerações finais do trabalho.

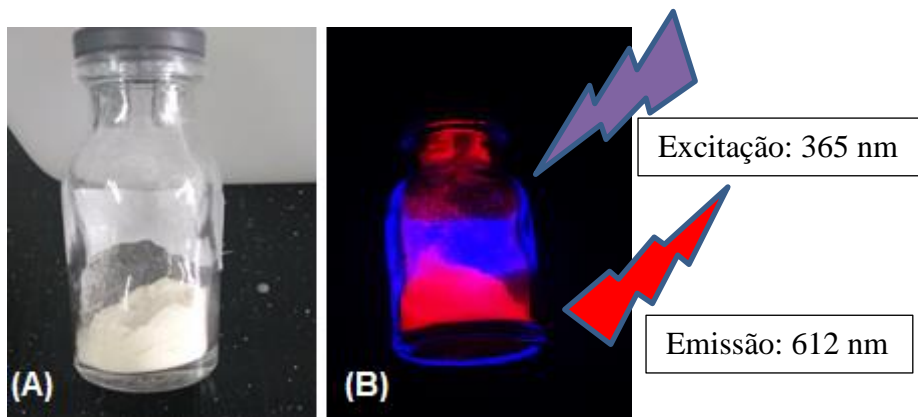
2 Metodologia

O material polimérico PMMA utilizado como matéria base para o desenvolvimento da pesquisa foi obtido a partir da desmontagem das telas de notebooks encontradas em lojas de manutenção e/ou locais de descarte de lixo eletrônico. O PMMA é a placa de fundo dessas telas e é utilizado como difusor de luz. Esse polímero foi separado, limpo e reservado para a dopagem.



O dopante $\text{Eu}(\text{BTA})_3(\text{H}_2\text{O})_2$ foi obtido através da síntese de Eu_2O_3 , Sigma-Aldrich 99%, e o BTA (4,4,4-trifluoro-1-fenil-1,3-butanodiona), Sigma-Aldrich 99%. Dessa forma foi obtido o $\text{Eu}(\text{BTA})_3(\text{H}_2\text{O})_2$, em pó, que já apresenta características de conversão óptica, conforme mostra a Figura 1. Na Figura 1 (A) é possível observar o pó com iluminação ambiente, já em (B) o mesmo foi iluminado com uma luz ultravioleta em torno de 365nm apresentando emissão na faixa do vermelho visível em 612nm.

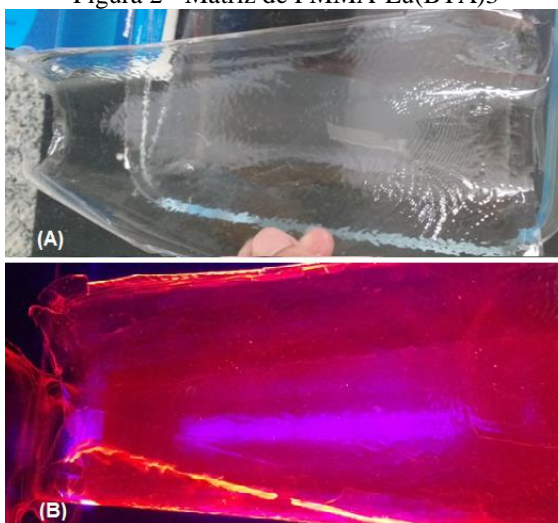
Figura 1 - $\text{Eu}(\text{BTFA})_3(\text{H}_2\text{O})_2$ sintetizado em laboratório.



Fonte: O autor

Com o composto pronto prosseguiu-se a dopagem do PMMA. Nesta etapa foi separado 1,0g de PMMA que foi triturado e adicionado a um béquer junto com 100mg do dopante, concentração de 0,1% em massa. No béquer foi adicionado aproximadamente 200mL de acetona a uma temperatura de 22°C sob agitação por aproximadamente três horas até a formação de uma solução homogênea. Ao final da total solubilização do PMMA e do $\text{Eu}(\text{BTA})_3(\text{H}_2\text{O})_2$, a solução resultante foi derramada em uma placa de petri, onde foi deixada para evaporação do solvente, à temperatura de 4°C, durante um período de 48 h, até a formação de um filme transparente. O filme resultante apresentou alta emissão da luz vermelha quando excitada no UV conforme ilustra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (A) é mostrada a matriz formada a 0,1 % e em (B) essa matriz iluminada com UV a 365nm.

Figura 2 - Matriz de PMMA- $\text{Eu}(\text{BTA})_3$



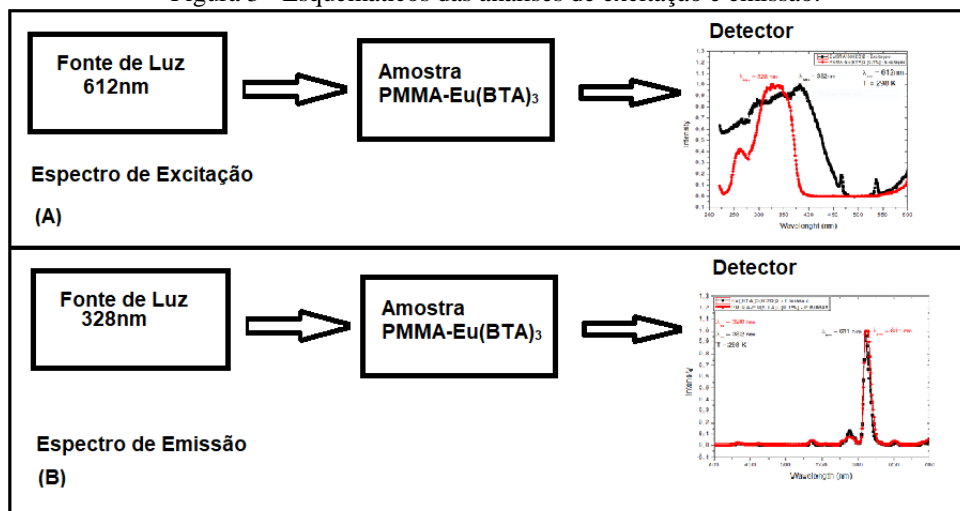
Fonte: O Autor

A matriz polimérica dopada, apresentada na Figura 2, foi submetida a análises utilizando



um espectrofotômetro, Agilent Cary Eclipse UV 60, onde foi possível avaliar as características ópticas principais do composto. O espectrofotômetro realiza duas análises principais: excitação e emissão. A excitação é importante para verificar a região do espectro onde há maior absorção de energia por parte do material, ou seja, em qual comprimento de onda ele terá a maior eficiência de absorção. Já o espectro de emissão mostra o comprimento de onda onde o material analisado emite luz ao ser excitado. Na Figura 3 (A) é ilustrado o esquemático da análise de excitação. Nesta análise as amostras são excitadas com o comprimento de onda de 612nm, que corresponde ao pico de emissão do Európio (BINNEMANS, 2005), e com este procedimento é possível obter o espectro onde as amostras apresentam maior absorção de energia. Na Figura 3 (B) é ilustrado o esquemático da análise de emissão. A obtenção do espectro de emissão funciona da seguinte maneira; o equipamento excita as amostras com o comprimento de onda de maior excitação, ou seja 328nm, e varre todo o espectro a partir do ponto de excitação registrando a intensidade e o comprimento de onda da emissão.

Figura 3 - Esquemáticos das análises de excitação e emissão.



Fonte: O Autor

3 Resultados

Foram realizadas análises no composto $\text{Eu(BTA)}_3(\text{H}_2\text{O})_2$ e na matriz dopada PMMA- Eu(BTA)_3 com o intuito de se avaliar a capacidade desse complexo ser utilizado como um conversor óptico-óptico. Foi utilizada a espectrofotometria para analisar as características de excitação, emissão e de tempo de vida da matriz polimérica dopada.

Os espectros de excitação e emissão do polímero dopado foram comparados com os espectros do próprio dopante utilizado, $\text{Eu(BTA)}_3(\text{H}_2\text{O})_2$, para que assim fosse possível avaliar a qualidade da dopagem e a interação polímero-dopante na matriz gerada. Na Figura 4 é apresentado o resultado da análise de excitação do polímero. Pela figura é possível inferir que houve uma interação entre o PMMA e o dopante, haja vista que a região de excitação foi deslocada de 382nm (composto puro) para 328nm (matriz polimérica dopada), essa interação deve ter ocorrido através da substituição da molécula de água do dopante por uma interação com os monômeros do polímero, o que é um excelente resultado, pois é conhecido da literatura que moléculas de água suprimem a emissão da luminescência destes tipos de compostos. (ZIEMAN *et al.*, 2008)

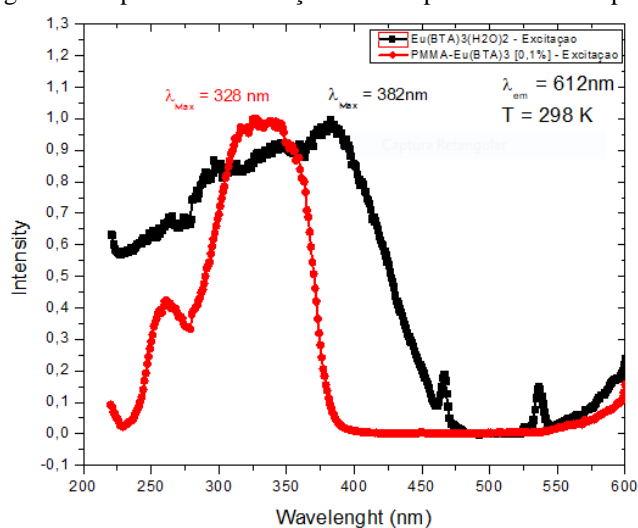
Pode-se observar também na Figura 4 que a banda de excitação do polímero dopado é uma banda larga, com aproximadamente 50nm de largura, o que é um bom resultado, dessa forma há um maior aproveitamento da energia recebida pelo polímero para uma possível conversão óptico-óptico.



Na Figura 5 é mostrado o espectro de emissão. É possível visualizar que as amostras apresentam um pico de emissão no comprimento de onda de 611nm que próximo ao comprimento de emissão do dopante, o que já era esperado devido à alta especificidade do Európio. Esse resultado demonstra a característica de conversão óptica do polímero dopado, que quando excitado com luz UV em torno de 365nm emite luz na região do vermelho visível.

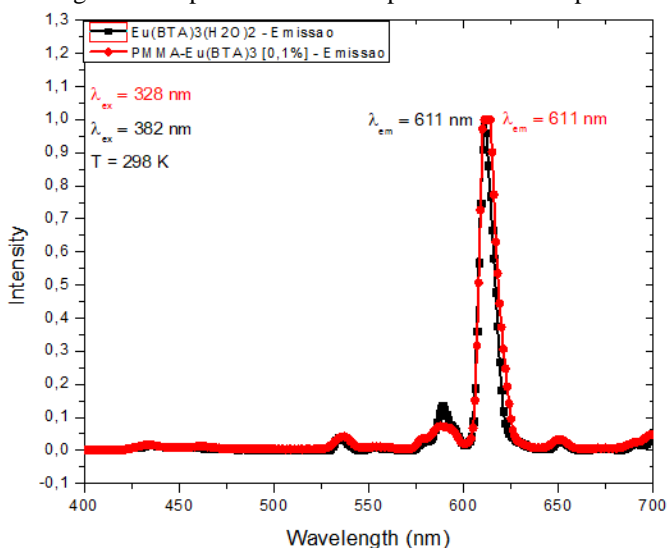
Também foi analisada a característica de tempo de vida do polímero dopado, essa característica é importante para aplicações que envolvem transmissões binárias em fibras ópticas. O tempo de vida determina qual a taxa mínima de transmissão de bits do sistema. Para o polímero dopado a 0,1 % foi encontrado um valor de T_b (taxa de bits) mínima de 2,8 Kbps, o que é um valor interessante, haja vista que as transmissões ópticas ocorrem em taxas superiores a megabits por segundo. Este resultado mostra que é possível a utilização da matriz dopada em dispositivos ópticos que processam altas taxas de bits.

Figura 4 - Espectro de Excitação medido para o PMMA dopado



Fonte: O Autor

Figura 5 - Espectro de emissão para o PMMA dopado



Fonte: O Autor

4 Conclusão

Este trabalho propõe uma técnica de dopagem do polímero PMMA extraído de lixo eletrônico com o elemento terra rara Európio. As análises de excitação, emissão e tempo de



vida realizadas na matriz polimérica dopada com o Európio a uma porcentagem de 0,1% mostraram que este material apresenta características fotoluminescentes que o habilita a ser utilizado no desenvolvimento de alguns dispositivos ópticos tais como conversores de comprimento de onda e amplificadores ópticos. Estes dispositivos podem ser utilizados em sistemas de comunicação baseada em fibras ópticas plásticas transmitindo elevadas taxas de bits.

Além do enfoque científico e inovador este trabalho também propõe uma forma alternativa de sustentabilidade ambiental e econômica através da reutilização do PMMA encontrado em lixos eletrônicos.

Referências

- BINNEMANS, K. Rare-earth beta-diketonates. **Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths**, v. 35, n. 5, p. 107–272, 2005.
- CELINSKI, T. M. *et al.* Gestão do REEE: desafios e oportunidades. **IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, v. 2010, p. 1–4, 2013.
- HSU, S. L. Poly(methyl methacrylate). In: **Polymer Data Handbook**. [s.l.] Oxford University Press, Inc., 1999. p. 1264.
- KOIKE, Y.; KOIKE, K. Progress in low-loss and high-bandwidth plastic optical fibers. **Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics**, v. 49, n. 1, p. 2–17, 2011.
- KURIKI, K.; KOIKE, Y.; OKAMOTO, Y. Plastic optical fiber lasers and amplifiers containing lanthanide complexes. **Chemical Reviews**, v. 102, n. 6, p. 2347–2356, 2002.
- LEITE, S. T. . *et al.* **Reciclagem de polímeros para aplicação em telecomunicações** V Encontro Científico de Física Aplicada Reciclagem. **Anais...BlucherProceedings**, 2014
- LOPEZ, I. S. *et al.* Europium complex-based thermochromic sensor for integration in plastic optical fibres. **Optical Materials**, v. 34, n. 8, p. 1447–1450, 2012.
- MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; HINRICHSSEN, G. Biofibres , biodegradable polymers and biocomposites : An overview. v. 24, p. 1–24, 2000.
- WAN, A. M. D.; DEVADAS, D.; YOUNG, E. W. K. Sensors and Actuators B : Chemical Recycled polymethylmethacrylate (PMMA) microfluidic devices. **Sensors & Actuators: B. Chemical**, v. 253, p. 738–744, 2017.
- ZARCONE, R. *et al.* Building integrated photovoltaic system for a solar infrastructure : Liv-lib ' project. **Energy Procedia**, v. 91, p. 887–896, 2016.
- ZIEMANN, O. *et al.* **POF Handbook**. [s.n.], 2008.