



Obtenção de Pontos Quânticos de Carbono a partir de resíduo de poliuretano: preparo, caracterização e aplicação na remoção de corantes por fotocatalise

Tomaz A. S. Lima¹(G)*, Paulo S. Neto¹(G), Raquel V. Mambrini¹(PQ)

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Av. Amazonas, 5253 – Nova Suíça, Belo Horizonte, MG, CEP 30421-169. *E-mail: tomaz.alveslima@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho, pontos quânticos de carbono (CDs) foram obtidos por via hidrotermal a partir de resíduos de poliuretano oriundos da indústria de estofados. O material obtido apresentou fotoluminescência verde sob UV-C, estabilidade ao longo de 6 meses e morfologia quase-esférica com distribuição nanométrica. O material foi caracterizado por FTIR, TG, UV-Vis, MEV/MET e potencial zeta. As análises indicaram a presença de grupos funcionais como $-OH$, $-COOH$ e $-NH_2$ na superfície dos CDs, boa estabilidade coloidal e estrutura morfológica predominantemente esférica e homogênea. Os CDs exibiram alta eficiência na degradação fotocatalítica de corantes industriais, atingindo até 98% de remoção, com manutenção de desempenho após cinco ciclos de reuso. Além disso, foi avaliado o grau de mineralização dos corantes por meio das análises de carbono orgânico total (TOC) e espectrometria de massas com ionização por electrospray (ESI-MS), confirmando a degradação parcial a total das estruturas corantes. A abordagem demonstra uma alternativa sustentável para valorização de resíduos poliméricos em tecnologias ambientais.

Pontos Quânticos de Carbono, Poliuretano, Fotocatalise, Nanomateriais, Remoção de Corantes

Introdução

O desenvolvimento de nanomateriais fotocatalíticos(1), como os Carbon Dots (CDs) uma subclasse de pontos quânticos com destacada estabilidade química, fotoluminescência e capacidade de funcionalização tem se mostrado promissor para o tratamento ambiental de efluentes líquidos. A síntese hidrotermal de CDs a partir de resíduos de poliuretano (PU), um polímero amplamente utilizado na forma de espumas para estofados, destaca-se por empregar condições moderadas e precursores sustentáveis. Considerando a toxicidade e a persistência dos corantes industriais em ambientes aquáticos, este trabalho propõe a produção, caracterização e avaliação da eficiência dos CDs na fotodegradação e mineralização desses corantes sob irradiação UV-C. O objetivo deste estudo é demonstrar a viabilidade da aplicação de CDs obtidos a partir de resíduos de PU como fotocatalisadores eficientes na remoção de corantes industriais(2) em meio aquoso, promovendo uma abordagem inovadora e ambientalmente sustentável para o reaproveitamento de resíduos poliméricos.

Experimental

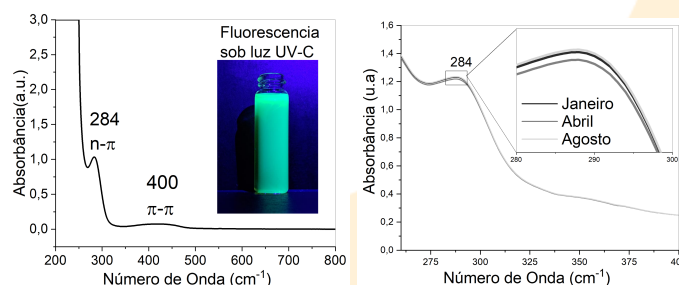
Espumas de poliuretano de estofados foram trituradas, peneiradas (30 mesh) e utilizadas como fonte carbonácea para a síntese de CDs. Cerca de 2,0 g do resíduo foram dispersos em água e submetidos a reação hidrotermal em reator de aço/Teflon®, variando-se temperatura (120–200 °C) e tempo (7–24 h). As

melhores condições foram 200 °C por 14 h. O material obtido foi caracterizado por FTIR, TG, UV-Vis, MEV/MET e potencial zeta. Os CDs foram aplicados na fotodegradação de diferentes corantes industriais, apresentando alta eficiência na remoção em meio aquoso sob irradiação UV-C.

Resultados e Discussão

O sistema selecionado para a síntese dos Carbon Dots (CDs) a partir de resíduos de poliuretano foi aquele realizado a 200 °C por 14 horas (200CD14), que apresentou pH final próximo à neutralidade (6,0), alta condutividade elétrica (282 μS) e fotoluminescência verde. A fotoluminescência, originada de transições eletrônicas em grupos funcionais superficiais, foi confirmada pelo espectro UV-Vis (Figura 1.a), apresentando banda intensa em 284 nm (transição $n \rightarrow \pi^*$ de carbonilas) e banda secundária em 400 nm atribuída a sistemas aromáticos conjugados $\pi-\pi^*$. A estabilidade da emissão fotoluminescente foi mantida por até 6 meses sob exposição à luz natural e UV-C, evidenciando alta fotoestabilidade (Figura 1.b).

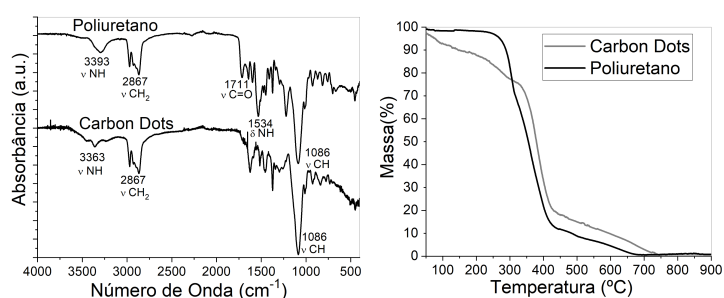
Figura 1. Espectro UV-vis do CD após irradiação de 365 nm por 10 minutos (a) e (b) após 3 e 6 meses de armazenamento.





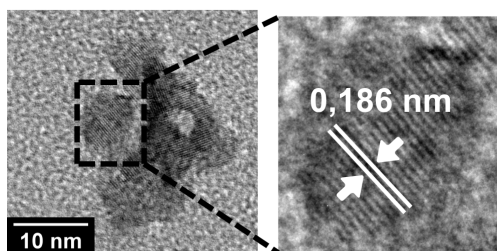
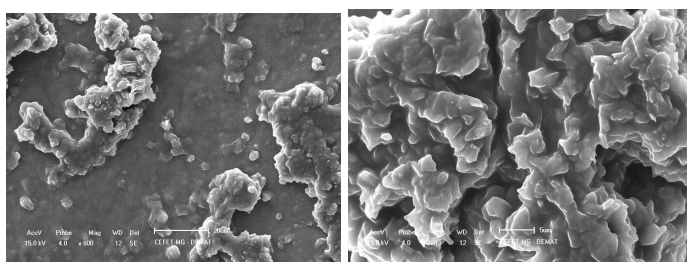
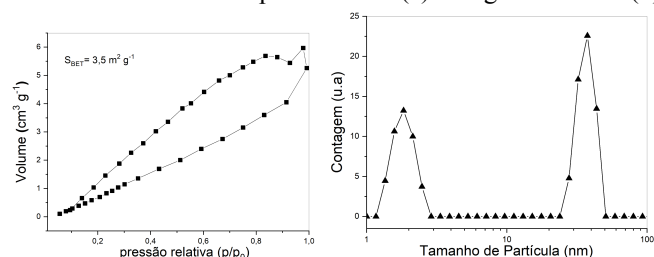
A caracterização por FTIR (Figura 2.a) revelou alterações significativas nos CDs em relação ao poliuretano, com redução da banda C=O (1711 cm^{-1}), manutenção do grupo NH (1534 cm^{-1}) e deslocamento do estiramento NH para 3363 cm^{-1} , indicando funcionalização com grupos -OH, -COOH e -NH₂. A TGA (Figura 2.b) mostrou que o PU se degrada em duas etapas, enquanto os CDs exibem maior estabilidade térmica, refletindo a formação de uma estrutura carbonácea mais condensada.

Figura 2. (a) Espectro FTIR do Poliuretano e do CD; (b) curva TG do Poliuretano e do CD



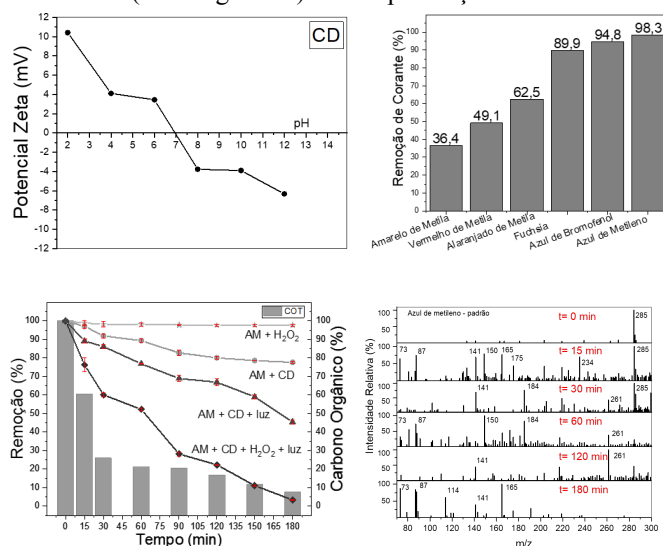
A análise BET (Figura 3.a) indicou isoterma tipo III com histerese discreta, sugerindo baixa afinidade por N₂ e área superficial de 3,5 m²/g. A distribuição de tamanho (Figura 3.b) revelou CDs isolados de 1,8 nm e aglomerados de 37 nm, compatíveis com os clusters observados no MEV (Figura 3.c), que mostrou morfologia heterogênea e porosa. A MET (Figura 3.d) confirmou forma quase-esférica e domínios grafiticos com espaçamento de 0,186 nm, evidenciando estrutura parcialmente ordenada.

Figura 3.(a)Curva Adsorção e Dessorção de Nitrogênio,(b) Tamanho de Partícula para o CD. (c) Imagem MET e (d) MEV



O potencial zeta dos CDs variou com o pH, apresentando carga positiva de até +11 mV em pH 2 e negativa de -6 mV em pH 12, com ponto isoelétrico próximo a 7, influenciando as interações eletrostáticas com contaminantes. Na aplicação fotocatalítica, os CDs degradaram eficientemente corantes aniônicos e catiônicos, com destaque para o azul de metileno, cuja remoção ultrapassou 98% em 180 minutos sob UV-C com H₂O₂. A eficiência foi mantida por cinco ciclos, indicando potencial de reuso. A cinética mostrou predomínio de radicais superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$), com contribuição menor de $\bullet\text{OH}$, confirmada por testes de captura. A mineralização parcial foi evidenciada por 92% de redução no TOC e pela ESI-MS, que demonstrou desaparecimento do pico do azul de metileno (m/z 285) e formação de fragmentos intermediários em baixa concentração.

Figura 4.(a) Potencial Zeta,(b) Remoção de diversos corantes. (c) Cinética de degradação do azul de metileno ao longo de 180 minutos e variação do teor de carbono orgânico total (TOC) (d)Espectros de ESI (+) -MS para a cinética de remoção de Azul de Metileno (50 mg L⁻¹) na presença do CD e H₂O₂.



Conclusões

Pontos quânticos de carbono (CDs) foram sintetizados via rota hidrotermal a partir de resíduos de poliuretano, apresentando fotoluminescência verde, estabilidade coloidal e alta eficiência na degradação de corantes sob radiação UV-C. O sistema 200CD14 atingiu até 98% de remoção de azul de metileno, mantendo o desempenho após múltiplos ciclos. O estudo evidencia uma abordagem sustentável para a produção de nanomateriais aplicados ao tratamento de efluentes.

Agradecimentos

FAPEMIG, CNPQ, CAPES, CEFET-MG e Laboratório GCPT.

Referências

- (1) N. Slepíková Kasálová, P. Slepíčka, V. Švorčík, *Carbon nanostructures, nanolayers, and their composites*, Nanomaterials, 11 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11092368>.
- (2) A. Krishna Moorthy et al., *Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae*, Environ Toxicol Pharmacol, 82 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103552>.