



DESENVOLVIMENTO DE UM ORGANOGEL SUSTENTÁVEL PARA COLETA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE DISPARO DE ARMAS DE FOGO (OGSR)

Ana Rita O. Silva¹, Elsa L. Nhuch¹, Henri S. Schrekker¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul
ana.oberrather@gmail.com

Palavras-Chave: Química Forense, Poliuretano, Óleo de Mamona

Introdução

Os resíduos orgânicos de disparo de armas de fogo (*Organic Gunshot Residues* – OGSR) constituem uma importante classe de evidências na Química Forense, sendo formados por compostos provenientes da pólvora, aditivos e produtos gerados durante o disparo. Mais de 135 compostos já foram identificados nesses resíduos, os quais podem fornecer informações relevantes para a reconstrução de eventos envolvendo armas de fogo (GOUDSMITS et al., 2015). Entretanto, ainda não existe uma combinação padronizada de métodos de coleta, extração e análise que apresente elevada eficiência para diferentes tipos de superfícies, tornando a etapa de coleta um dos principais desafios da investigação pericial.

Nesse contexto, materiais adesivos com elevada capacidade de captura representam uma alternativa promissora para a coleta de OGSR, podendo aumentar a recuperação dos resíduos e contribuir para análises mais confiáveis. Entre os materiais disponíveis, poliuretanos derivados de óleos vegetais vêm despertando interesse devido à sua versatilidade, facilidade de processamento e menor impacto ambiental. Organogéis são materiais semissólidos constituídos por uma fase líquida contínua imobilizada por uma rede tridimensional formada por um agente estruturante (ROCHA, 2012). O óleo de mamona destaca-se como matéria-prima renovável devido ao seu elevado potencial produtivo no Brasil e às suas propriedades físico-químicas, como estabilidade térmica, viscosidade e elevado índice de hidroxila (OH). Essas são propriedades que favorecem a obtenção de materiais poliméricos com elevada flexibilidade e adesividade.

A síntese de poliuretanos à base de óleo de mamona já foi descrita na literatura, demonstrando propriedades mecânicas e adesivas adequadas para diferentes aplicações (SANTAN et al., 2018; RAGHUNANAN et al., 2018). Entretanto, sua utilização como material para coleta de resíduos orgânicos de disparo ainda permanece pouco explorada. Dessa forma, o desenvolvimento de um organogel obtido a partir de matérias-primas renováveis representa



uma estratégia inovadora, conciliando sustentabilidade e potencial aplicação na Química Forense.

Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar um organogel sustentável à base de óleo de mamona para a coleta de resíduos orgânicos de disparo de armas de fogo, avaliando suas propriedades físico-químicas e seu potencial de aplicação na captura de OGSR em diferentes superfícies.

Material e Métodos

O organogel foi sintetizado a partir de óleo de mamona (castor oil (CO), Sigma-Aldrich) e hexametileno diisocianato (HMDI), empregando a razão mássica de 82,7:17,3 (CO:HMDI). Inicialmente, 6,66 g de óleo de mamona e 1,39 g de HMDI foram homogeneizados por 20 min à temperatura ambiente em agitador magnético, utilizando balão de vidro fechado. A mistura reacional foi vertida em moldes de silicone e submetida à cura em estufa a vácuo a 37 °C durante nove dias.

A caracterização química do organogel foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando um equipamento Nicolet 6700 (Thermo Scientific), com resolução de 4 cm⁻¹ e 64 varreduras. A estabilidade térmica foi avaliada por análise termogravimétrica (TGA), entre 20 e 600 °C, sob atmosfera inerte, registrando-se simultaneamente as curvas de perda de massa e sua derivada (DTG). As propriedades térmicas foram investigadas por calorimetria exploratória diferencial (DSC), por meio de ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento, visando determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) e possíveis eventos térmicos do material.

A eficiência de captura foi inicialmente avaliada utilizando uma solução padrão de difenilamina (20 ppm). Após deposição de 20 µL da solução sobre placa de Petri, o organogel foi mantido em contato com a superfície por 30 s. Em seguida, o material foi submetido a três etapas de extração em banho de ultrassom com acetonitrila (1 × 1000 µL e 2 × 500 µL), e os extratos foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-UV), empregando curva analítica previamente estabelecida.

A aplicação prática do organogel foi avaliada em parceria com o Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul (IGP-RS), por meio da coleta de resíduos orgânicos de disparo em amostras obtidas da mão do atirador e de superfícies posicionadas próximas ao disparo, empregando munições convencionais e não tóxicas (NTA). As amostras coletadas foram posteriormente analisadas por HPLC-UV.

Resultados e Discussão

Os espectros de FTIR do organogel sintetizado (**Figura 1**) apresentaram perfil compatível com o descrito por Raghunanan et al. (2018). Observou-se a ausência da banda

característica do grupo isocianato (-NCO) em aproximadamente 2266 cm^{-1} , indicando o consumo dos grupos isocianato do HMDI durante a reação de polimerização. Esse resultado confirma a obtenção do poliuretano derivado de óleo de mamona, evidenciando a eficiência do processo de síntese adotado.

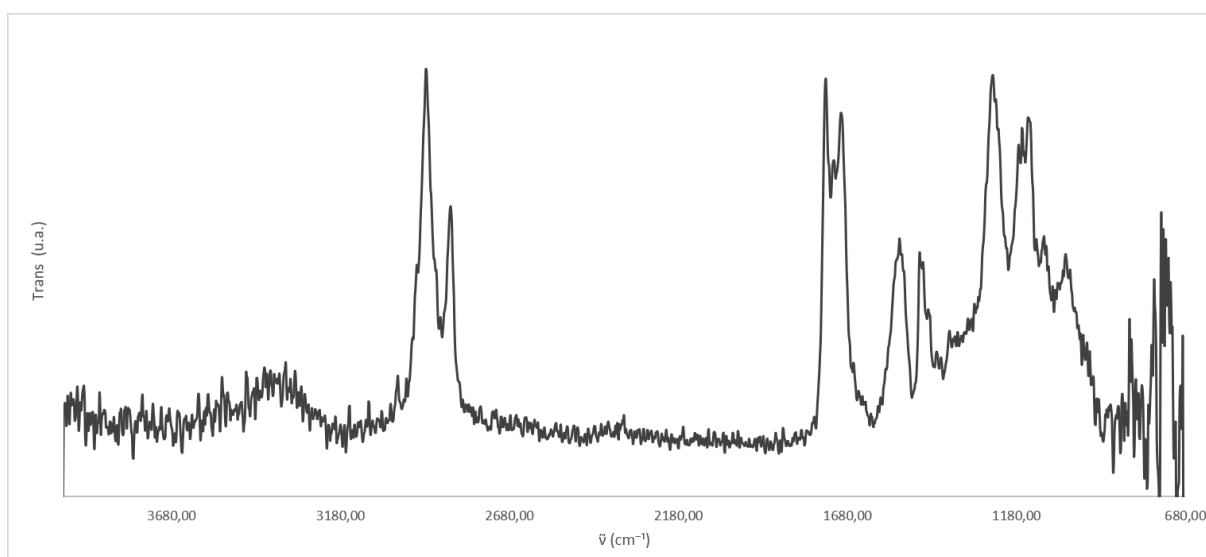


Figura 1. Espectro de FTIR do organogel CO-HMDI sintetizado.

A análise termogravimétrica (**Figura 2**) demonstrou elevada estabilidade térmica do material, com perda de massa inferior a 1% até aproximadamente $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. A principal etapa de degradação ocorreu entre 320 e $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo atribuída à decomposição das ligações uretânicas, enquanto uma segunda etapa, entre 400 e $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi associada à degradação dos segmentos derivados do polioli. O perfil observado, caracterizado por dois eventos distintos de degradação, é consistente com a microseparação entre segmentos rígidos e flexíveis descrita para poliuretanos obtidos a partir de óleo de mamona (RAGHUNANAN et al., 2018). Além disso, o baixo teor de resíduo ao final da análise evidencia que o material apresenta composição predominantemente orgânica.

As curvas de DSC (**Figura 3**) apresentaram elevada reprodutibilidade entre os ciclos de aquecimento e resfriamento, indicando boa estabilidade térmica do organogel. A transição vítrea (T_g), observada entre aproximadamente -60 e $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, demonstra que o material permanece em estado elastomérico à temperatura ambiente, favorecendo sua conformabilidade durante a aplicação. A ausência de eventos de fusão ou cristalização evidencia o caráter predominantemente amorfo do polímero, favorecendo sua conformabilidade e adaptação a diferentes superfícies. Esses resultados corroboram as propriedades mecânicas esperadas para poliuretanos derivados de óleo de mamona descritos por Santan et al. (2018).

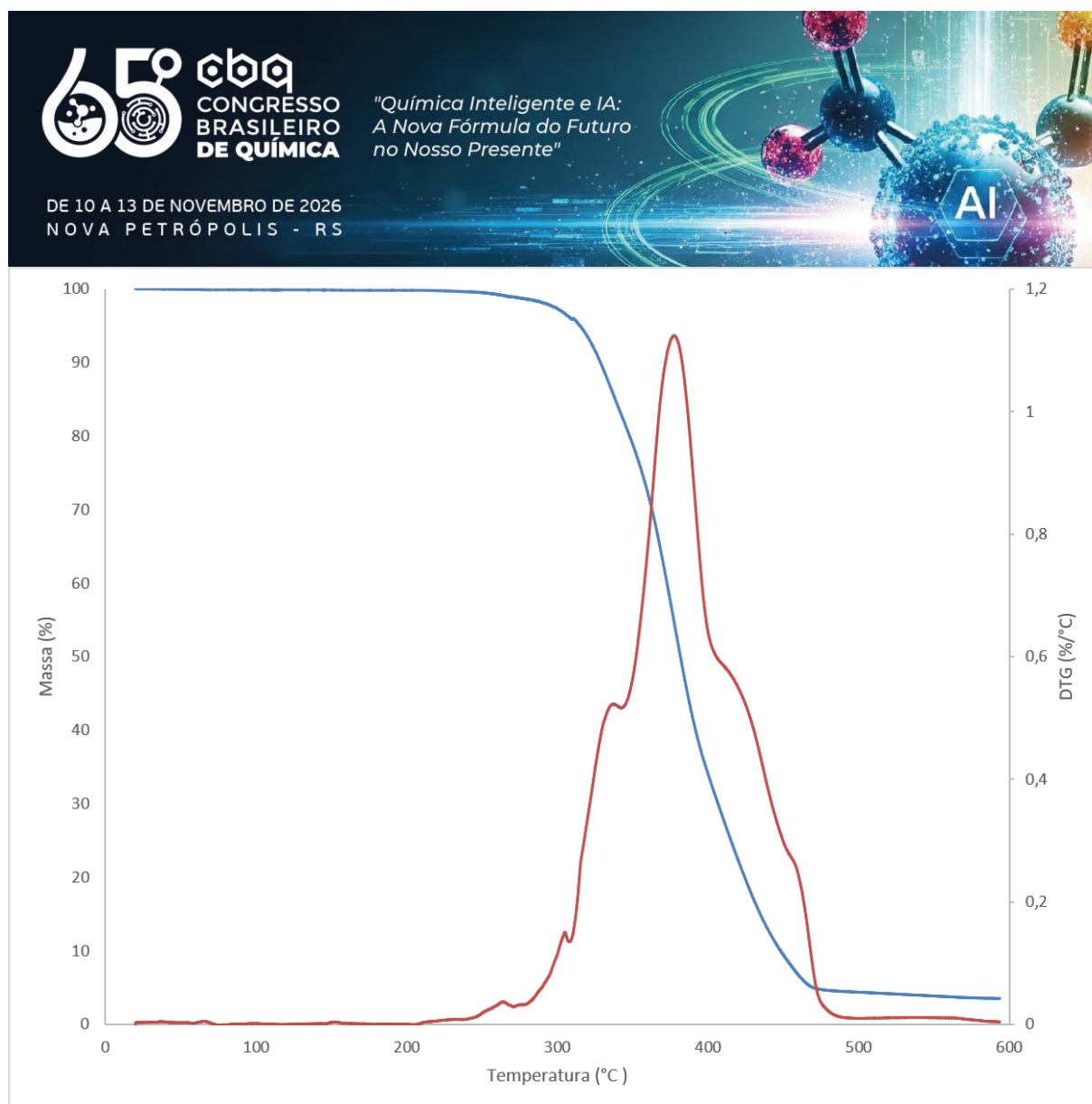


Figura 2. Curvas termogravimétrica (TGA) e de sua derivada (DTG) do organogel CO-HMDI.

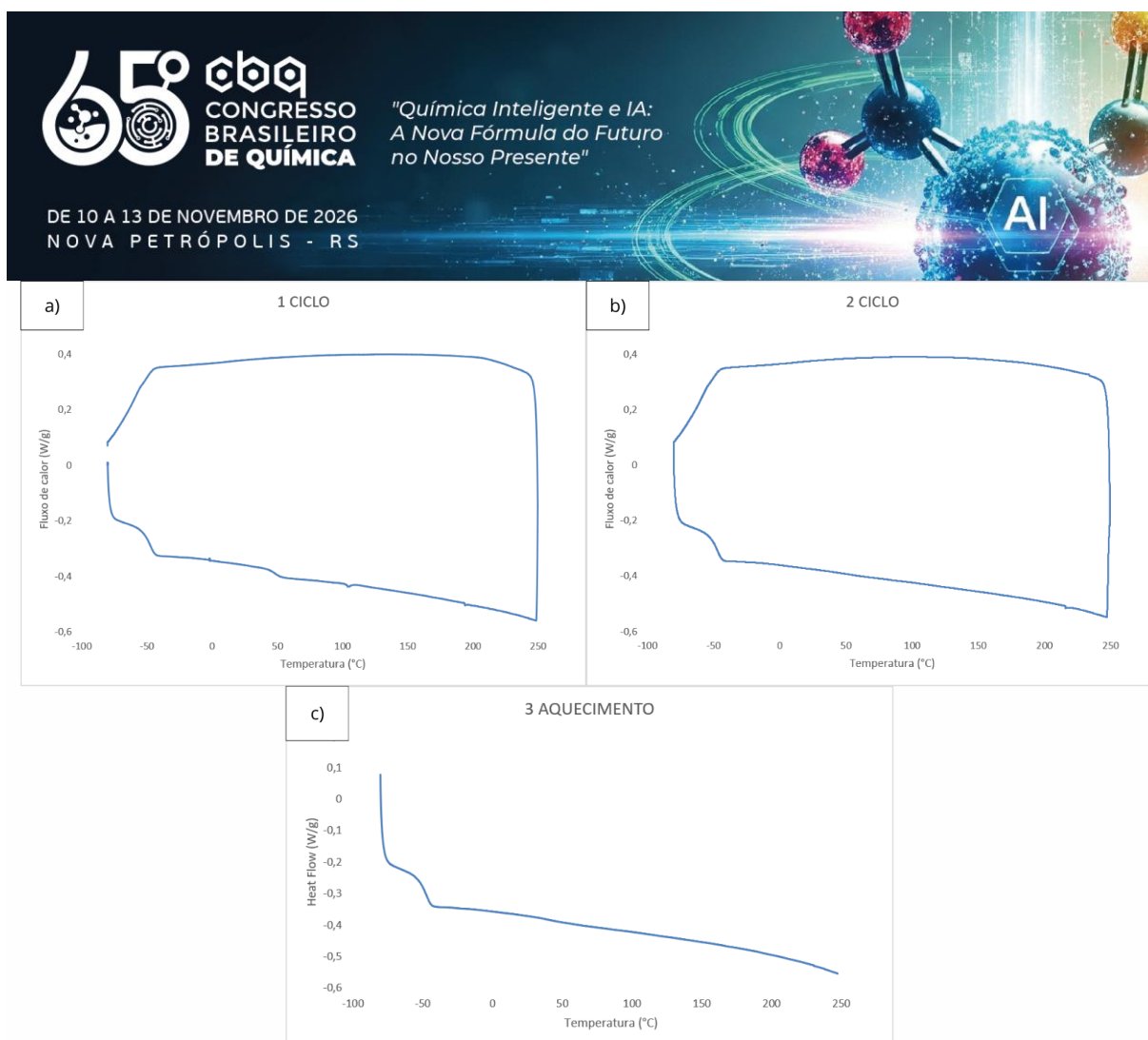


Figura 3. Curvas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) do organogel CO-HMDI: (a) primeiro ciclo de aquecimento e resfriamento; (b) segundo ciclo de aquecimento e resfriamento; (c) aquecimento do terceiro ciclo.

Os ensaios preliminares de captura utilizando difenilamina como composto modelo demonstraram que o organogel apresenta capacidade de adsorção de resíduos orgânicos, permitindo sua posterior recuperação e análise por HPLC-UV (**Figura 4**). Complementarmente, os testes realizados em parceria com o Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul (IGP-RS) confirmaram a viabilidade da aplicação do material na coleta de resíduos orgânicos de disparo provenientes tanto da mão do atirador quanto de superfícies próximas ao disparo, utilizando munições convencionais e não tóxicas (**Figura 5**). A detecção dos compostos por HPLC-UV confirma o potencial do organogel como ferramenta para coleta de OGSR em aplicações de Química Forense.



Figura 4. (a) Aspecto macroscópico do organogel CO-HMDI; (b) ensaio de captura utilizando solução padrão de difenilamina (DPA).

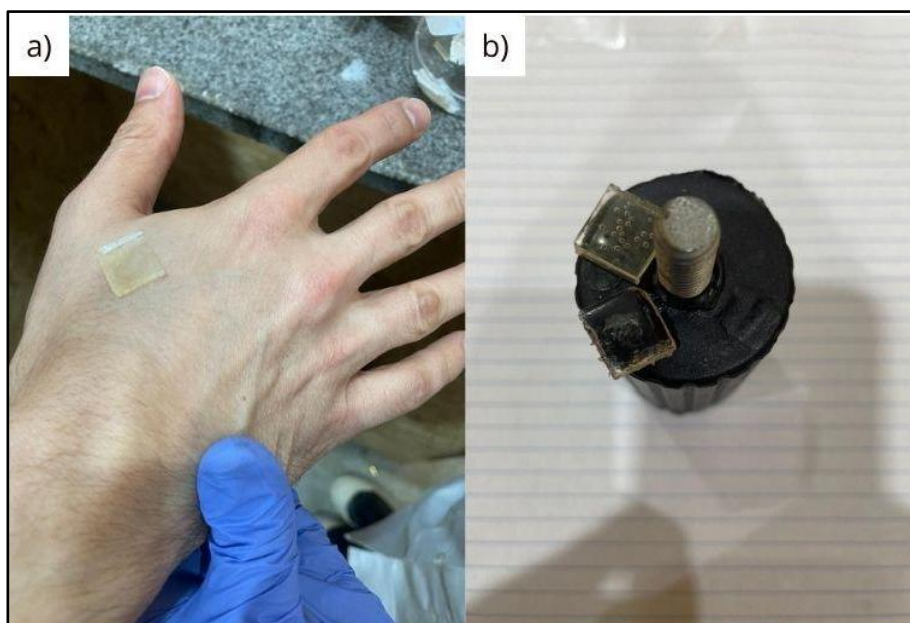


Figura 5. Avaliação da aplicação do organogel na coleta de OGSR: (a) coleta na mão do atirador após os disparos; (b) coleta em superfície posicionada próxima ao disparo.

De forma integrada, os resultados obtidos demonstram que o organogel desenvolvido reúne propriedades químicas, térmicas e mecânicas compatíveis com sua aplicação como material adesivo para coleta de resíduos orgânicos de disparo. Embora a quantificação da eficiência de recuperação ainda esteja em andamento, os resultados preliminares evidenciam o potencial do material como uma alternativa sustentável para aplicações periciais.



Conclusões

O organogel à base de óleo de mamona foi sintetizado com sucesso por meio da reação entre óleo de mamona e HMDI, apresentando características compatíveis com um poliuretano. Os ensaios térmicos demonstraram elevada estabilidade térmica, comportamento predominantemente amorfo e temperatura de transição vítrea inferior à temperatura ambiente, indicando propriedades adequadas para sua aplicação como material adesivo. Os ensaios preliminares de captura, utilizando difenilamina como composto modelo e amostras obtidas em testes realizados no IGP-RS, demonstraram a viabilidade da coleta e posterior detecção de resíduos orgânicos de disparo por HPLC-UV. Esses resultados evidenciam o potencial do organogel como uma alternativa sustentável para aplicações em Química Forense, embora estudos adicionais de validação e quantificação da eficiência de recuperação ainda sejam necessários.

Agradecimentos

Agradecemos ao IGP-RS pela parceria.

Referências

- GOUDSMITS, E.; SHARPLES, G. P.; BIRKETT, J. W. **Recent trends in organic gunshot residue analysis.** *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 74, p. 46–57, 2015.
- RAGHUNANAN, L. C. et al. **Molecular insights into the mechanisms of humidity-induced changes on the bulk performance of model castor oil derived polyurethane adhesives.** *European Polymer Journal*, v. 101, p. 291–303, 2018.
- ROCHA, J. C. B. **Obtenção e caracterização de organogéis de óleo de soja preparados com cera de cana-de-açúcar e suas frações.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- SANTAN, H. D. et al. **Structure-property relationships in solvent-free adhesives derived from castor oil.** *Industrial Crops and Products*, v. 121, p. 90–98, 2018.