

IONIC LIQUIDS AS MODULATORS OF STRUCTURE AND PROPERTIES IN GRAPHENE-BASED HYDROGELS

Lucas Belmontt de Juli – lucasjuli.aluno@unipampa.edu.br

Universidade Federal do Pampa / Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Química
Avenida Roraima, 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Caroline Raquel Bender – caroline.bender@ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Química
Avenida Roraima, 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Carolina Ferreira de Matos Jauris – carolina.matos@ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Química
Avenida Roraima, 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Heitor Marconato Mendes – heitor.marconato@acad.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Química
Avenida Roraima, 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Mônica Carla Lopes – monica.lopes@acad.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Química
Avenida Roraima, 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Resumo: A incorporação de líquidos iônicos (LIs) em hidrogéis de grafeno é uma estratégia promissora para modular suas propriedades estruturais, físico-químicas e interfaciais. Neste estudo, hidrogéis de óxido de grafeno reduzido tridimensional (3D-rGO) foram sintetizados via redução hidrotérmica sustentável em etapa única, utilizando ácido ascórbico (5 e 25 mmol L⁻¹) e os LIs à base de colina [Cho][PF₆] e [Cho][NTf₂]. Investigou-se o impacto da adição dos LIs e da concentração do redutor nas características do material. Espectroscopias Raman e FTIR confirmaram que os LIs preservam a estrutura gráfica, enquanto elevam a densidade de defeitos e a funcionalização superficial,

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

evidenciando fortes interações com o grafeno. Isotermas de adsorção-dessorção de N_2 indicaram estrutura mesoporosa, com ganho de área superficial e acessibilidade porosa, sobretudo para o [Cho][PF₆]. Análises de MEV revelaram modificações morfológicas distintas dependendo do ânion do LI. Além disso, medições de ângulo de contato demonstraram modulação seletiva da molhabilidade: manteve-se a hidrofiliabilidade geral, mas aumentou-se a afinidade por líquidos de menor polaridade. Assim, os LIs atuam como moduladores estruturais eficientes, organizando a rede porosa e alterando a interface do material. Esses achados viabilizam o ajuste racional da química de superfície para aplicações em adsorção seletiva. Futuramente, estes hidrogéis serão avaliados na remoção de pesticidas em ecossistemas aquáticos associados ao bioma Pampa.

Palavras-chave: Grafeno; Hidrogéis; Líquidos iônicos; Adsorção; Pesticidas.

1. INTRODUÇÃO

Materiais tridimensionais à base de grafeno têm atraído considerável atenção devido à sua baixa densidade, porosidade interconectada, química de superfície ajustável e alta área interfacial, que os tornam promissores para adsorção, separação e outras aplicações avançadas (Satyam e Patra, 2024) (Jampilek e Kralova, 2022). Hidrogéis de grafeno derivados de óxido de grafeno são atraentes porque sua arquitetura tridimensional ajuda a minimizar o reempilhamento das folhas, preservando sítios ativos acessíveis e vias de transporte (Leão *et al.*, 2022) (Lu *et al.*, 2017). Como resultado, esse tipo de material emergiu como uma plataforma versátil cujo desempenho depende fortemente do equilíbrio entre domínios grafíticos, grupos residuais contendo oxigênio e acessibilidade dos poros (Ashok Sharma *et al.*, 2022) (Jampilek e Kralova, 2022).

Entre as estratégias sintéticas disponíveis, a redução hidrotérmica do óxido de grafeno é a rota mais eficiente para obter materiais monolíticos de óxido de grafeno reduzido tridimensional (3D-rGO) (Leão *et al.*, 2022) (Kamali *et al.*, 2021). Um estudo anterior (Leão *et al.*, 2022) mostrou que o uso de ácido ascórbico como agente redutor possibilitou a formação de materiais 3D-rGO com capacidade de adsorção para espécies catiônicas, e demonstrou-se que o teor do agente redutor afetou fortemente a porosidade, a química da superfície e o comportamento relacionado à adsorção. Essas descobertas indicam que mesmo mudanças sutis durante a redução e a auto-montagem podem alterar significativamente a organização final e as propriedades da rede de grafeno. Nesse contexto, os líquidos iônicos (LIs) são particularmente interessantes, porque suas propriedades físico-químicas podem ser ajustadas pela escolha da combinação de cátions e ânions (Alreshidi *et al.*, 2025) (Frizzo *et al.*, 2015). Devido à sua baixa volatilidade, alta estabilidade térmica e química, e forte capacidade de interação com superfícies orgânicas e inorgânicas, os LIs têm sido explorados como moduladores de nanopartículas, sólidos mesoporosos e matrizes poliméricas, influenciando a agregação, a organização da superfície e a resposta físico-química (Huddleston *et al.*, 1998) (Ziembowicz *et al.*, 2022). Esse comportamento sugere que os LIs também podem interferir na redução e na montagem do óxido de grafeno durante o

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

processamento hidrotérmico, afetando assim as características estruturais e interfaciais dos hidrogéis resultantes.

Os líquidos iônicos derivados da colina são especialmente atraentes porque o cátion colina, devido à sua biocompatibilidade aprimorada, menor citotoxicidade e potencial sustentabilidade, fornece uma plataforma útil para o projeto de materiais funcionais (Moshikur *et al.*, 2020) (Beck *et al.*, 2025). Ao mesmo tempo, a natureza do ânion pode influenciar fortemente o comportamento interfacial, uma vez que PF6⁻ e NTf2⁻ diferem em tamanho, forma molecular, simetria e propriedades físico-químicas, como transporte de carga, viscosidade e densidade (Zhou *et al.*, 2019) (Dos Santos e Cordeiro, 2015). Tais diferenças podem afetar diretamente como essas espécies iônicas interagem com folhas de grafeno parcialmente reduzidas, grupos residuais contendo oxigênio e domínios confinados dentro da estrutura tridimensional.

Com base no sistema 3D-rGO relatado anteriormente por (Leão *et al.*, 2022), este trabalho investiga o efeito da incorporação de [Cho][PF6] e [Cho][NTf2] durante a síntese hidrotérmica em uma única etapa de hidrogéis de grafeno preparados com diferentes concentrações de ácido ascórbico. O objetivo é compreender como esses líquidos iônicos influenciam a redução e a reorganização da estrutura do óxido de grafeno e se eles podem atuar como moduladores eficazes das propriedades estruturais, de superfície e interfaciais de materiais 3D-rGO. Ao correlacionar dados espectroscópicos, de propriedades térmicas, morfológicas, texturais, de carga superficial e de molhabilidade, este estudo busca esclarecer o papel da química dos líquidos iônicos na otimização de hidrogéis de grafeno para aplicações relacionadas à adsorção e outras aplicações interfaciais.

E, na sequência, explorar as capacidades adsorptivas e de filtragem dos hidrogéis com LIs, de pesticidas em ambientes aquáticos, nas proximidades de lavouras no Bioma Pampa, como parte de um tratamento ambiental para esses sítios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Síntese dos líquidos iônicos

A síntese dos líquidos iônicos (LI's) hexafluorofosfato de colina ([Cho][PF6]) e bis(trifluorometilsulfonyl)amida de colina ([Cho][NTf2]) foi realizada seguindo os procedimentos descritos na referência, (Yoshizawa-Fujita *et al.*, 2011).

2.2. Preparação do óxido de grafeno

O óxido de grafeno (GO) utilizado na síntese foi obtido por meio da oxidação do grafite, conforme descrito anteriormente por Kamali *et al.*, 2021. Para obter o óxido de grafeno (GO), o Gr-O previamente sintetizado foi esfoliado em um banho ultrassônico (SP Labor, modelo SP-UL, 50 kHz) por 30 minutos, resultando em aproximadamente 500 mg de GO.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

2.3. Preparação de nanomateriais tridimensionais à base de grafeno

O óxido de grafeno reduzido tridimensional (3D-rGO) foi sintetizado de acordo com um método previamente publicado por Leão et al. (2022) usando ácido ascórbico (AAc) como agente redutor. O rendimento da síntese variou de 60% a 80%, dependendo da quantidade de agente redutor e dos grupos funcionais remanescentes. Os materiais foram denominados 3D_rGO05 e 3D_rGO25, de acordo com a concentração de AAc utilizada (5 e 25 mmol L⁻¹, respectivamente) e 3D_rGO05-[Cho][PF₆], 3D_rGO25-[Cho][PF₆], 3D_rGO05-[Cho][NTf₂] e 3D_rGO25-[Cho][NTf₂] para hidrogéis na presença de LIs.

2.3 Caracterização

Os espectros Raman foram obtidos utilizando o microscópio Raman confocal SENTERRA (Bruker), com o laser operando em 532 nm. Os dados de FTIR foram coletados no modo de reflectância total atenuada (ATR) utilizando um espectrômetro FTIR PerkinElmer Spectrum-Two (PerkinElmer, EUA) na faixa de número de onda de 400 a 4000 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ e 64 varreduras. Os experimentos de TGA foram realizados utilizando um analisador termogravimétrico Q5000 (TA Instruments Inc., EUA).

Os dados obtidos foram processados utilizando o software OriginPro® 2025 (Northampton, MA, EUA). A análise SEM-FEG foi utilizada para a caracterização morfológica das superfícies das partículas, avaliação do tamanho das partículas, análise da superfície fraturada e análise de defeitos. As imagens foram coletadas com um Microscópio Eletrônico de Varredura SIGMA 300 VP.

Os espectros UV-Vis de estado sólido foram avaliados usando um espectrofotômetro Shimadzu UV-2600, equipado com um rolamento de esferas de integração ISR-2600. As isotermas de adsorção e dessorção foram obtidas usando um analisador de área superficial e porosidade Micromeritics ASAP 2020 com um banho de nitrogênio líquido a 77 K.

2.4 Testes de adsorção

Os testes de adsorção, prévios, foram realizados no Laboratório de Análises de Resíduos de Pesticidas (LARP) e no Laboratório de Estudos de Propriedades e Interações Intermoleculares (LEPIIN), da UFSM, onde cada pesticida foi agitado em mesa agitadora, e a cada 10 minutos, na primeira hora, e 20 minutos, até totalizar 4 horas, foram retiradas alíquotas para posterior análise, das propriedades e interações entre os hidrogéis com e sem LIs e os pesticidas (2,4-D e Tebuconazol).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como esperado, todos os materiais de GO reduzidos com ácido ascórbico apresentaram uma estrutura bem definida que assume uma forma cilíndrica a partir do béquer após ser removido da autoclave (Leão et al., 2022).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br

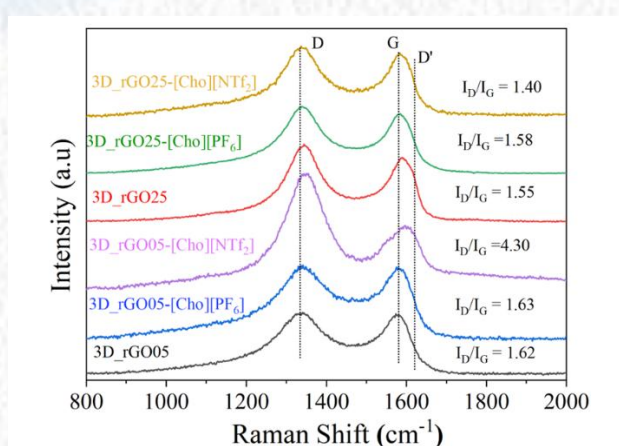


www.abes-rs.org.br

Após, realizou-se a liofilização, para garantir a remoção completa da umidade e manter a estrutura 3D do material, as amostras foram caracterizadas para verificar o efeito da adição de ILs ao 3D-rGO05 e ao 3D-rGO25.

Os espectros Raman de esponjas de grafeno tridimensionais (3D-rGO) sintetizadas com diferentes teores de óxido de grafeno reduzido, na presença e ausência de ILs de colina contendo ânions NTf_2^- e PF_6^- . Os espectros foram coletados na faixa de $1000\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$, permitindo a análise das bandas D e G características de materiais de carbono à base de grafeno.

Figura 1. Raman spectra of pristine and ionic-liquid-modified 3D-rGO hydrogels prepared with 5 and 25 mmol L^{-1} of ascorbic acid.



A espectroscopia Raman foi utilizada para investigar a organização estrutural de hidrogéis à base de grafeno e o efeito da incorporação de líquidos iônicos na estrutura de carbono. Como mostrado na Figura 1, todas as amostras exibiram as bandas D e G características de materiais derivados de grafeno, localizadas em $1336\text{--}1343\text{ cm}^{-1}$ e $1568\text{--}1597\text{ cm}^{-1}$, respectivamente. A banda D está relacionada a modos vibracionais ativados por defeitos, incluindo bordas, vacâncias e desordem estrutural na rede de carbono sp^2 , enquanto a banda G corresponde ao modo de estiramento no plano de átomos de carbono com hibridização sp^2 (Malard *et al.*, 2009).

As amostras de 3D-rGO sem IL apresentaram razões I_D/I_G de 1,62 para 3D_rGO05 e 1,55 para 3D_rGO25, indicando que a maior concentração de ácido ascórbico promoveu uma reorganização mais eficaz da estrutura 3D do carbono. Essa tendência é corroborada pelo deslocamento da banda G de 1593 cm^{-1} em 3D_rGO05 para 1583 cm^{-1} em 3D_rGO25, bem como pelo deslocamento da banda D de 1343 para 1336 cm^{-1} . Em conjunto, essas alterações sugerem que o aumento da concentração do agente favoreceu uma redução mais extensa e um rearranjo estrutural da rede de óxido de grafeno, resultando em uma estrutura de carbono comparativamente mais organizada na amostra 3D_rGO25 (Leão *et al.*, 2022).

De modo geral, os resultados de Raman demonstram que o efeito da incorporação do líquido iônico depende fortemente tanto da natureza do ânion quanto da concentração de ácido ascórbico. Enquanto o [Cho][PF₆] induziu mudanças comparativamente sutis, o [Cho][NTf₂] produziu

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



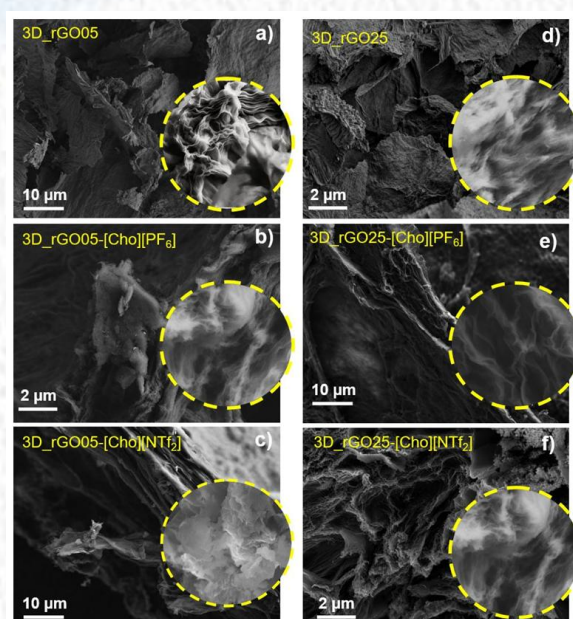
abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

uma modulação muito mais pronunciada da organização estrutural, especialmente sob condições redutoras mais brandas.

Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de hidrogéis sintetizados com 5 e 25 mg de ácido ascórbico.



As imagens de MEV (Figura 2) do 3D_rGO05 (a) e seus compósitos com LIs (b-c). A estrutura do 3D_rGO05 apresenta uma rede porosa e enrugada de folhas de grafeno. Com a adição de [Cho][PF₆] (b), surgem agregados densos e domínios heterogêneos, indicando fortes interações LI-grafeno. Por outro lado, [Cho][NTf₂] promove um revestimento mais suave e uma integração mais homogênea na estrutura do 3D_rGO05. A amostra 3D_rGO25 (d) exibe lamelas mais espessas e uma estrutura mais densa em comparação com o 3D_rGO05. A incorporação de [Cho][NTf₂] (f) leva a uma distribuição mais uniforme ao longo das folhas, enquanto [Cho][PF₆] (e) induz morfologias mais rugosas com agregações irregulares, sugerindo interações LI-grafeno distintas.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

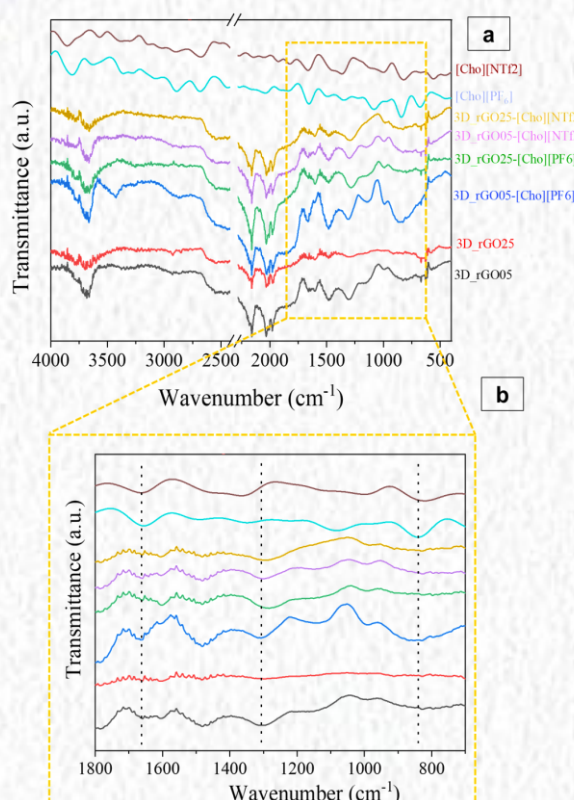


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 3. a) Espectros FTIR-ATR de hidrogéis 3D-rGO puros e modificados com líquido iônico, preparados com 5 e 25 mmol L⁻¹ de ácido ascórbico. 4000 – 400 cm⁻¹. b) O detalhe destaca a região de impressão digital, onde mudanças espectrais sutis após a adição do líquido iônico sugerem modulação da via de redução e do ambiente químico da superfície da rede de grafeno.



Os espectros de FTIR indicam que a presença de líquidos iônicos afetou o ambiente químico da estrutura do grafeno de forma mais evidente do que forneceu assinaturas nítidas e isoladas das próprias espécies iônicas. Os espectros das amostras de 3D-rGO puras, especialmente a 3D-rGO25, exibem um perfil menos estruturado, consistente com um maior grau de redução e uma menor contribuição de grupos residuais contendo oxigênio. Em contraste, os materiais contendo líquidos iônicos exibem uma região de impressão digital mais complexa e absorções mais amplas, sugerindo que

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

os líquidos iônicos interferem na redução hidrotérmica e na reorganização do GO, mantendo assim uma química de superfície mais heterogênea.

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para avaliar o efeito da incorporação do líquido iônico na estabilidade térmica dos hidrogéis de grafeno. Todas as amostras exibiram perfis de perda de massa em múltiplos estágios, indicando a presença de domínios termicamente instáveis distintos na rede 3D-rGO.

A TGA (Figura 4) revelou que a incorporação do líquido iônico modificou significativamente o comportamento de decomposição térmica dos hidrogéis de grafeno. A amostra 3D_rGO25 original exibiu um perfil de perda de massa em múltiplos estágios, com eventos de baixa temperatura a 126 e 177 °C e uma etapa principal de decomposição centrada em 575 °C. Em materiais de óxido de grafeno e grafeno parcialmente reduzido, as perdas de massa na região de baixa temperatura são comumente atribuídas à liberação de água adsorvida e à decomposição de grupos lábeis contendo oxigênio, enquanto o principal evento de alta temperatura está associado à degradação da estrutura de carbono mais reorganizada. Nesse sentido, o perfil térmico da amostra 3D_rGO25 original é consistente com o comportamento esperado de materiais à base de óxido de grafeno reduzido relatados na literatura (Leão *et al.*, 2022) (Park *et al.*, 2011).

Figura 4. Análise termogravimétrica de hidrogéis de grafeno puros e modificados com líquido iônico. (a) Curvas TGA de 3D_rGO25, 3D_rGO25-[Cho][PF6] e 3D_rGO25-[Cho][NTf2]. (b) Curvas TGA e DTG de 3D_rGO25 puro. (c) Curvas TGA e DTG de 3D_rGO25-[Cho][PF6]. (d) Curvas TGA e DTG de 3D_rGO25-[Cho][NTf2].

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



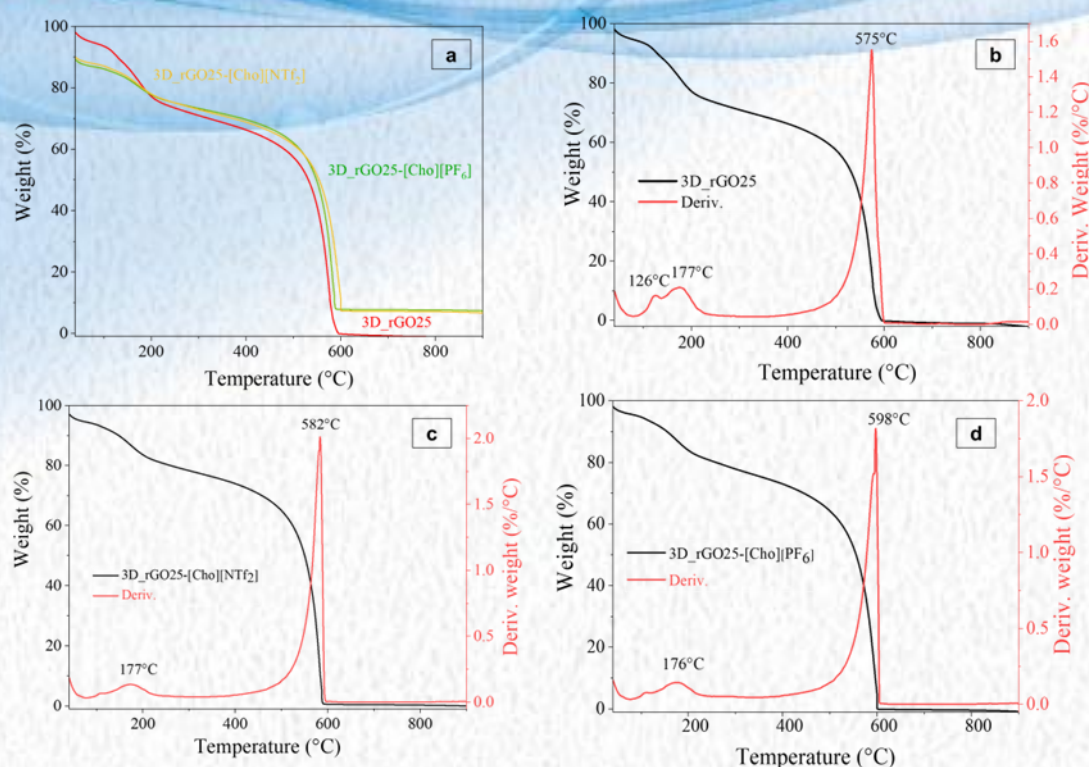
(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



A análise termogravimétrica (TGA) revelou que a incorporação do líquido iônico modificou significativamente o comportamento de decomposição térmica dos hidrogéis de grafeno. A amostra 3D_rGO25 original (Fig. 4b) exibiu um perfil de perda de massa em múltiplos estágios, com eventos de baixa temperatura a 126 e 177 °C e uma etapa principal de decomposição centrada em 575 °C. Em materiais de óxido de grafeno e grafeno parcialmente reduzido, as perdas de massa na região de baixa temperatura são comumente atribuídas à liberação de água adsorvida e à decomposição de grupos lábeis contendo oxigênio, enquanto o principal evento de alta temperatura está associado à degradação da estrutura de carbono mais reorganizada. Nesse sentido, o perfil térmico da amostra 3D_rGO25 original é consistente com o comportamento esperado de materiais à base de óxido de grafeno reduzido relatados na literatura (Leão *et al.*, 2022) (Park *et al.*, 2011).

Como abordado no início desse trabalho, realizou-se testes de adsorção com dois pesticidas, (2,4-D e Tebuconazol), para na sequência, realizar-se mais testes e ambientes aquáticos em lavouras na região da Fronteira-Oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Figura 5. Perfis cinéticos comparativos de adsorção de pesticidas por hidrogéis de grafeno com adição de líquidos iônicos.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



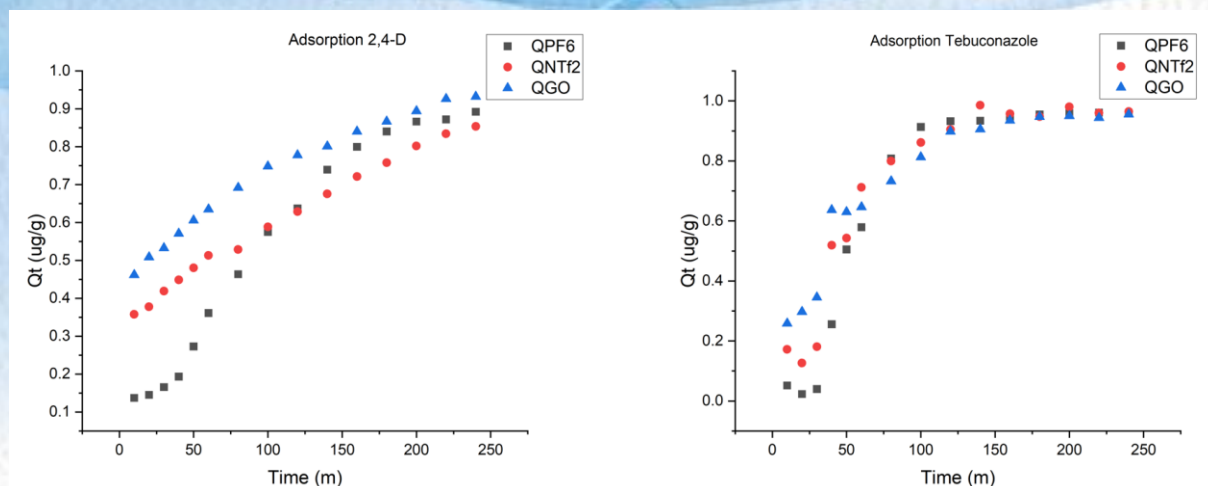
(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



Os ensaios de adsorção (Figura 4) demonstraram que a incorporação dos LIs [Cho][NTf₂] e [Cho][PF₆] aos hidrogéis de óxido de grafeno não promoveu aumento significativo da capacidade máxima de adsorção dos pesticidas avaliados. Para o 2,4-D, o hidrogel de GO puro apresentou os maiores valores de adsorção ao longo de todo o experimento, sugerindo que a presença dos LIs pode ter reduzido a acessibilidade aos sítios ativos ou alterado os mecanismos de difusão do contaminante na matriz polimérica. Em contrapartida, para o tebuconazol, observou-se que os materiais contendo LIs apresentaram cinética de adsorção semelhante ou ligeiramente mais rápida nas etapas iniciais do processo, alcançando valores de equilíbrio próximos aos do hidrogel sem modificação. Esses resultados indicam que, embora os LIs não tenham aumentado a capacidade adsorptiva final dos hidrogéis, sua presença influenciou o perfil cinético e as interações adsorvente-adsorbato, especialmente para o composto [Cho][NTf₂], mais hidrofóbico, sugerindo potencial para aplicações futuras envolvendo seletividade na adsorção de diferentes contaminantes.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a incorporação de líquidos iônicos (LIs) modula efetivamente as propriedades estruturais, físico-químicas e interfaciais de hidrogéis de óxido de grafeno reduzido em 3D (3D-rGO). Foi demonstrado que a modulação desses materiais à base de grafeno depende do ânion do LI. Os LIs promovem uma arquitetura porosa mais acessível e apresentam interações mais eficazes com a rede de grafeno, de acordo com os ânions PF₆⁻ e NTf₂⁻. A estrutura do LI também impacta a afinidade interfacial por líquidos apolares, com [Cho][NTf₂] promovendo maior oleofilicidade à estrutura da rede 3D do hidrogel. Em vez de demonstrar diretamente uma adsorção superior, os resultados aqui apresentados estabelecem como os LIs à base de colina ajustam descritores relevantes para a adsorção, como distribuição de defeitos, acessibilidade dos poros e molhabilidade dinâmica. Essas descobertas demonstram o potencial dos LIs à base de colina para modular a arquitetura

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

do 3D-rGO e fornecem uma base mecanística para o projeto racional de hidrogéis de grafeno para sorção ambiental seletiva. Para trabalhos futuros, o próximo passo será avaliar sistematicamente o desempenho desses hidrogéis de grafeno modificados com LIs na adsorção de contaminantes de matrizes ambientais aquosas, a fim de correlacionar suas propriedades estruturais e interfaciais ajustáveis com a eficiência e seletividade da adsorção.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) – edital 09/2023; nº 24/2551-0001571-0.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

REFERÊNCIAS

ALRESHIDI, Maha Awjan *et al.* A review on the evolution of ionic liquids: Sustainable synthesis, applications, and future prospects. **Materials Today Sustainability**, v. 31, n. 101160, p. 101160, 2025.

ASHOK SHARMA, Sachin Sharma *et al.* The significance of graphene based composite hydrogels as smart materials: A review on the fabrication, properties, and its applications. **FlatChem**, v. 33, n. 100352, p. 100352, 2022.

BECK, Thaissa S. *et al.* Physicochemical and biological properties of new anionic surface-active ionic liquids derived from choline and carboxylate anions. **Journal of Molecular Liquids**, v. 440, n. 128927, p. 128927, 2025.

DOS SANTOS, Daniel J. V. A.; CORDEIRO, M. Natália D. S. Effect of replacing [NTf₂] by [PF₆] anion on the [BMIm][NTf₂] ionic liquid confined by gold. **Molecular Simulation**, v. 41, n. 5–6, p. 455–462, 2015.

FRIZZO, Clarissa P. *et al.* Structural and physical aspects of ionic liquid aggregates in solution. In: **Ionic Liquids - Current State of the Art**. [S.l.]: InTech, 2015.

HUDDLESTON, Jonathan G. *et al.* Room temperature ionic liquids as novel media for ‘clean’ liquid–liquid extraction. **Chemical Communications (Cambridge, England)**, n. 16, p. 1765–1766, 1998.

ISA ZIEMBOWICZ, Francieli *et al.* Thermodynamics of aggregation and modulation of Rheo-Thermal properties of hydroxypropyl cellulose by imidazolium ionic liquids. **Journal of Molecular Liquids**, v. 359, n. 119314, p. 119314, 2022.

JAMPILEK, Josef; KRALOVA, Katarina. Advances in biologically applicable graphene-based 2D nanomaterials. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 11, p. 6253, 2022.

KAMALI, Mohammadreza *et al.* Nanostructured materials via green sonochemical routes - Sustainability aspects. **Chemosphere**, v. 276, n. 130146, p. 130146, 2021.

LEÃO, Mayara B. *et al.* Eco-friendly, non-toxic and super adsorbent hydrogels based on graphene. **Materials Chemistry and Physics**, v. 288, n. 126408, p. 126408, 2022.

LU, Hao *et al.* Applications of graphene-based composite hydrogels: a review. **RSC Advances**, v. 7, n. 80, p. 51008–51020, 2017.

MALARD, L. M. *et al.* Raman spectroscopy in graphene. **Physics Reports**, v. 473, n. 5–6, p. 51–87, 2009.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

MD MOSHIKUR, Rahman *et al.* Biocompatible ionic liquids and their applications in pharmaceuticals. **Green Chemistry: An International Journal and Green Chemistry Resource: GC**, v. 22, n. 23, p. 8116–8139, 2020.

PARK, Sungjin *et al.* Hydrazine-reduction of graphite- and graphene oxide. **Carbon**, v. 49, n. 9, p. 3019–3023, 2011.

SATYAM, Satyam; PATRA, Sanjukta. Innovations and challenges in adsorption-based wastewater remediation: A comprehensive review. **Heliyon**, v. 10, n. 9, p. e29573, 2024.

YOSHIZAWA-FUJITA, Masahiro *et al.* Proton transport properties in an ionic liquid having a hydroxyl group. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 13, n. 29, p. 13427–13432, 2011.

ZHOU, Hancheng *et al.* Effect of ionic composition on physicochemical properties of mono-ether functional ionic liquids. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 24, n. 17, p. E3112, 2019.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br