ESTUDO DA DINÂMICA DE REAÇÃO DO FLUIDO CORPORAL SIMULADO - SBF

Henry Melcher Aquino (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Sophia Hellen de Assis Domingues (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mariana Sversut Gibbin Brandão (Coorientadora), Francielle Sato (Orientadora). E-mail: fsato@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra / Física /Física da Matéria Condensada.

Palavras-chave: Material Bioativo; Cinética de Dissolução; Espectroscopia Óptica.

RESUMO

O Simulated Body Fluid (SBF) é uma solução iônica desenvolvida para simular o plasma sanguíneo. Esta semelhança permite que sejam feitas análises *in vitro* de materiais a fim de avaliar o seu potencial bioativo. Um material bioativo é capaz de interagir com tecidos hospedeiros, por meio de trocas iônicas. Por isso, o estudo da imersão do material nesse fluido pode trazer informações relevantes sobre as possíveis interações, assim como sua capacidade de interação. Análise elementar pode ser utilizada para avaliar esses fluidos, entretanto a preparação da amostra necessita de procedimento analítico complexo. Neste contexto, as técnicas espectroscópicas podem oferecer vantagens, por demandar de mínima preparação das amostras, que motivou este trabalho a avaliar a aplicabilidade da espectroscopia de absorção no UV-Vis e a FTIR para o estudo pós-imersão em SBF de vidros bioativos. Além disso, parâmetros relevantes para técnica Lente Térmica foram investigados, para que posteriormente seja possível avaliar seu potencial como técnica de análise de fluidos utilizados em ensaios de bioatividade, permitindo assim compreender a cinética de liberação iônica do material no fluido.

INTRODUÇÃO

Um biomaterial é um material capaz de interagir com tecidos ou fluidos biológicos sem causar respostas inflamatórias e efeitos adversos no organismo, podendo ser utilizado em tratamentos protéticos e terapêuticos (Kokubo, 2006). Sendo assim, deve-se levar em consideração a compatibilidade biológica do material, propriedades mecânicas químicas e estruturais.

Os testes de bioatividade de um material são realizados por diferentes metodologias dependendo do objetivo da análise e das condições experimentais adotadas, no caso dos ensaios acelulares *in vitro* ao entrar em contato com soluções específicas, avalia-se a precipitação de camada apatítica em sua superfície, essa camada é o indicativo principal da capacidade do biomaterial em se ligar com o osso vivo.

Nesse contexto, destaca-se o uso do SBF, uma solução iônica que simula a composição do plasma sanguíneo humano, promovendo trocas iônicas com o biomaterial, e formando a camada apatítica. Levando em consideração a composição do SBF, bem como sua dinâmica de reação com vidros bioativos, faz-se necessário estudos da cinética de dissolução dos biomateriais em água, para um melhor entendimento dos mecanismos físico-químicos envolvidos, e a aplicabilidade das técnicas espectroscópicas e fototérmicas em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Neste contexto, foi investigado o vidro bioativo de Boro-Cálcio imerso em água e SBF em diferentes períodos, por meio das espectroscopias de absorção no ultravioleta-visível e infravermelho médio, além de medidas de índice de refração como investigação inicial da influência dos parâmetros ópticos para aplicação da técnica de Lente Térmica (LT).

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação de amostras

Neste estudo, o vidro escolhido foi o sistema vítreo binário 60% B_2O_3 e 35% CaO, denominado BIN. As amostras vítreas foram imersas tanto em água como em SBF, com o objetivo de avaliar sua liberação iônica, íons de boro e cálcio, por meio das técnicas espectroscópicas. Os vidros foram inseridos nas soluções e após um determinado intervalo de tempo: 3 horas, 6 horas, 12 horas, 24 horas, 4 dias, 7 dias e 14 dias, as soluções foram filtradas em uma membrana de 0,22 µm e congeladas para minimizar possíveis interações ou alterações químicas até a realização das análises.

Técnicas de análise

O SBF foi analisado antes e após imersão do BIN por meio da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR-ATR), utilizando um espectrômetro (Bruker, Vertex 70v). As medidas foram realizadas após a secagem da solução, à temperatura ambiente, sobre o cristal do ATR. Os espectros foram coletados no intervalo espectral de 4000 a 400 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} e média de 128 varreduras por espectro.

Os espectros de absorbância das soluções de cálcio (SCa) foram obtidas utilizando um espectrofotômetro (PerkinElmer, Lambda 1050) com resolução espectral de 1 nm. As amostras foram condicionadas em cubetas de acrílico (L= 1 cm), adicionando-se 1 mL de Arsenazo III a 10 µL de solução de cálcio e, após 2 minutos, 1 mL de água ultrapura. As medidas foram realizadas no intervalo espectral de 450 a 700 nm, em triplicatas, com água ultrapura de referência. Para a construção da curva de calibração, foi utilizada uma solução padrão de cálcio com concentração de 1000 ppm (Pd-Ca). As SCa foram preparadas com concentrações de 400, 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,2, 3,1 e 1,6 ppm. A curva de calibração obtida a partir dessas soluções foi utilizada como referência para a determinação da

concentração de cálcio nas soluções de SBF após os diferentes períodos de imersão do material vítreo.

A técnica de LT também apresenta potencial para o estudo de meios de imersão de ensaios de bioatividade, uma vez que seu sinal depende das propriedades termo-ópticas do meio, incluindo o coeficiente de variação do índice de refração (n) com a temperatura (dn/dT). Visto isso, foi obtido o n, em duplicata, em função da temperatura utilizando o refratômetro digital ATAGO, modelo RX-5000 ALPHA para as diferentes concentrações de solução de cálcio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1(a), observa-se o aumento progressivo da banda em 650 nm com o aumento da concentração de cálcio. Esse comportamento está associado à formação do complexo entre os íons Ca^{2+} que interage com o arsenazo III, cuja resposta espectral aumenta proporcionalmente à quantidade de cálcio presente na solução (Kovalent, 2026). A partir dessa relação, foi construída uma curva de calibração, permitindo determinar uma relação linear entre a concentração de cálcio presente e a intensidade de banda.

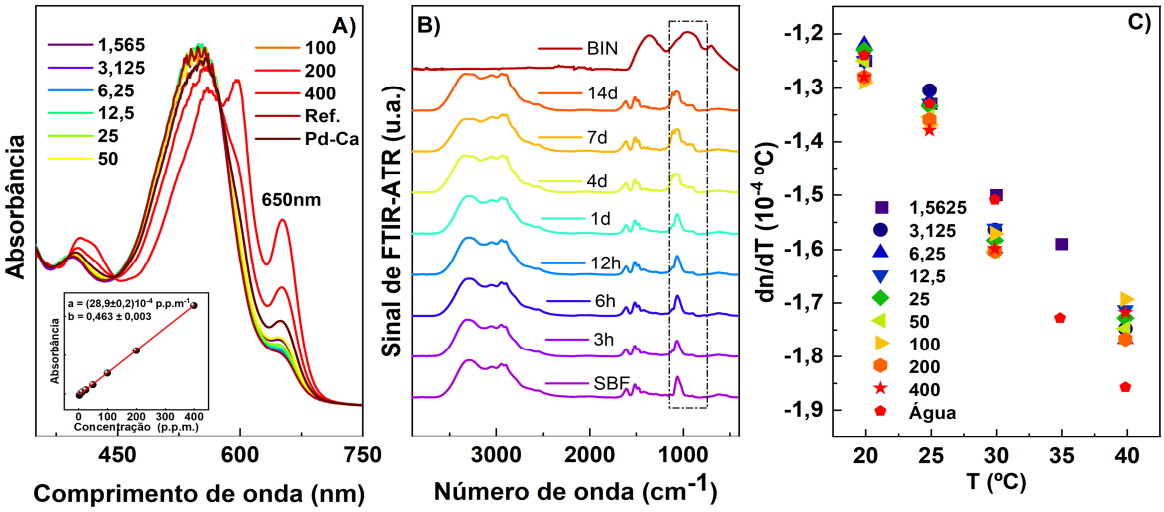


Figura 1 – a) Espectros de absorbância para diferentes concentrações de cálcio. b) Espectros FITR de BIN imerso em SBF em diferentes períodos. c) dn/dT das concentrações de cálcio.

A técnica de FTIR-ATR permitiu evidenciar uma possível interação entre o biomaterial BIN e a solução SBF na região 1170 e 760 cm^{-1}, conforme observado na Figura 1(b). A primeira região está relacionada a estiramentos assimétricos de B-O de grupos diborato e, a segunda região está associada à modos de vibração de estiramento de boro e oxigênio de grupos trigonais de boro, respectivamente, de acordo com dos Santos (2023). Essas modificações são crescentes com o tempo de imersão, sendo possível também relacionar a liberação de boro com o aumento da banda espectral.

Quanto ao comportamento observado na Figura 1(c), embora as soluções de cálcio apresentem tendência semelhante à da água para o dn/dT, os valores obtidos são distintos, especialmente a 25 °C, temperatura de interesse para as medidas de lente térmica. Essa diferença pode influenciar o parâmetro termo-óptico do meio e, consequentemente, contribuir para uma diferenciação no sinal de lente térmica em relação à água.

CONCLUSÕES

As diferentes técnicas empregadas permitiram avaliar a interação do BIN com o SBF. A análise por FTIR evidenciou alterações associadas às espécies de boro, enquanto o método colorimétrico com Arsenazo III, utilizando a espectrofotometria UV-Vis, possibilitou a determinação do cálcio. A caracterização do índice de refração em função da temperatura também forneceu informações relevantes para a aplicação da técnica de lente térmica. Como perspectiva, pretende-se utilizar a lente térmica para o estudo direto da interação de biomateriais com SBF e, posteriormente, explorar seu potencial para a análise quantitativa dessas interações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro. A UEM, COMCAP e Prof. Dr. Anderson Sampaio pelo suporte técnico-científico, assim como minha orientadora Dra. Prof. Francielle Sato e coorientadora Dra. Mariana Sversut Gibbin Brandão.

REFERÊNCIAS

DOS SANTOS, H. **Estudo da influência na resposta bioativa de vitrocerâmicas produzidas a partir do sistema vítreo boro-sódio-cálcio com diferentes tamanhos de partículas.** Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR (Brasil). Programa de Pós-graduação em Física, 2023. Disponível em: http://www.pfi.uem.br /wp-content/uploads/2025/09/Dissertação-de-Mestrado-Henrique-dos-Santos.pdf.

KOKUBO, T.; TAKADAMA, H. **How useful is sbf in predicting in vivo bone bioactivity?** Biomaterials, 27(15):2907–2915, 2006. Disponível em: https://pubmed.ncbi. Nlm.nih.gov/16448693/.

KOVALENT. **Cálcio arsenazo III WS: instrução de uso.** Revisão 8. São Gonçalo: Kovalent, RJ. Disponível em: https://grupokovalent.com.br/wp-content/uploads/2026 /07/BL0258-REV08-06-2026-CALCIO-ARSENAZO-III-WS.pdf?_=1787344988.9476.