

## USO DE RADIOGRAFIAS DIGITAIS E SIMULAÇÕES DE ATENUAÇÃO DE MASSA NA DETERMINAÇÃO DA RADIOPACIDADE DE MATERIAIS

Lorena da Cunha Furioso (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Viviane Oliveira Soares (Coorientadora), Robson Ferrari Muniz (Orientador), E-mail: rfmuniz@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas e da Terra,  
Maringá, PR.

### Física / Física da Matéria Condensada

**Palavras-chave:** Radiopacidade; atenuação de massa; sistemas vítreos inteligentes.

### RESUMO

O presente trabalho apresenta resultados relacionados à capacidade de sistemas vítreos interagirem com radiação ionizante por meio de radiografias e da relação com os parâmetros de atenuação de massa contra raios X. Foi estudado o vidro da família borofosfatos enriquecido com nióbio. A radiopacidade foi qualificada pelos tons de cinza equivalentes das radiografias, tendo como complemento um penetrômetro de alumínio (Al) de referência na calibração de cores e na equivalência em Al. Além disso, calculamos por meio do programa XCOM (NIST), os coeficientes de atenuação de massa (MAC), relacionando-os com a opacidade do material e a sua composição. Foi observado que à medida que aumentamos o teor de nióbio, a amostra torna-se mais radiopaca, apresentando um MAC mais elevado e uma intensidade de pixels maior. Ao avaliar uma espessura de referência de 2 mm do material vítreo, verificou-se que a radiopacidade variou de 2,4 mm a 4,4 mm de Al, com alterações de nióbio entre 0% e 10% em massa, na composição. Utilizando energia de radiação próxima das empregadas em radiografias odontológicas (70 KeV), a variação na atenuação de massa estabeleceu-se entre 0,2 e 0,4 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Ambas as características representam medidas quantitativas para a determinação da radiopacidade e sua aplicabilidade como implante.

### INTRODUÇÃO

Biovidros são materiais amorfos que apresentam bioatividade. São utilizados na área da saúde e possuem propriedades regenerativas do tecido, reduzindo a probabilidade de rejeição em implantes. Os biomateriais devem possuir propriedades de interação com radiação. A radiopacidade de vidros é uma propriedade que se refere à capacidade deste material bloquear a radiação ionizante (SUR *et al.*, 2011).

O coeficiente de atenuação de massa (MAC) é uma medida da capacidade de um material de reduzir a intensidade da radiação ionizante à medida que ela passa pelo material. Quanto maior for o MAC, maior será a capacidade de bloquear a

radiação ionizante, o que é diretamente vinculado a radiopacidade do material. Para obter uma comparação precisa da capacidade de diferentes materiais de absorver a radiação, é importante usar um método padronizado e bem estabelecido, como a medição do MAC (MEJÍA, 2019).

A *International Standards Organization* (ISO), elaborou normas de padronização de radiopacidade de materiais odontológicos, de modo que a radiopacidade do material deve ser igual ou maior do que a mesma espessura de alumínio. Assim, para determinação e padronização da radiopacidade biovidros, deve-se seguir as normas da ISO (AKCAY *et al.*, 2012). Portanto, o presente trabalho analisou sistemas vítreos em relação a sua capacidade de interagir com a radiação por meio de radiografias digitais, relacionando-os aos parâmetros de atenuação de massa contra raios X.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho envolveu o estudo de amostras bioativas de tipo borofosfatos de cálcio e sódio dopadas com Nióbio ( $B_2O_3-CaO-Na_2O-P_2O_5+Nb_2O_5$ ), sendo sua composição apresentado na Tabela 1. As amostras foram preparadas utilizando a técnica de *melting-quenching*. Após a produção das amostras, estas foram cortadas em dimensões de 2 mm e polidas para remover imperfeições superficiais.

**Tabela 1-** Composição das amostras sintetizadas em % de massa.

Amostra	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
CNBP	60,00	19,00	19,00	2,00	0,00
CNBP_2.5Nb	60,00	17,75	17,75	2,00	2,50
CNBP_5Nb	60,00	16,50	16,5	2,00	5,00
CNBP_7.5Nb	60,00	15,25	15,25	2,00	7,50
CNBP_10Nb	60,00	14,00	14,00	2,00	10,00

As amostras foram caracterizadas por meio de radiografia digital com um equipamento radiográfico periapical e oclusal da marca XDent, modelo X70. O equipamento possui configuração de 70 kVp, 8 mA, e ajuste de exposição de 90 ms. As amostras foram dispostas em uma mesa com um sensor digital e um penetrômetro de alumínio a uma distância variável de 10 a 20 cm, no qual estava protegida com chumbo, para proteção radiológica da exposição de raios X.

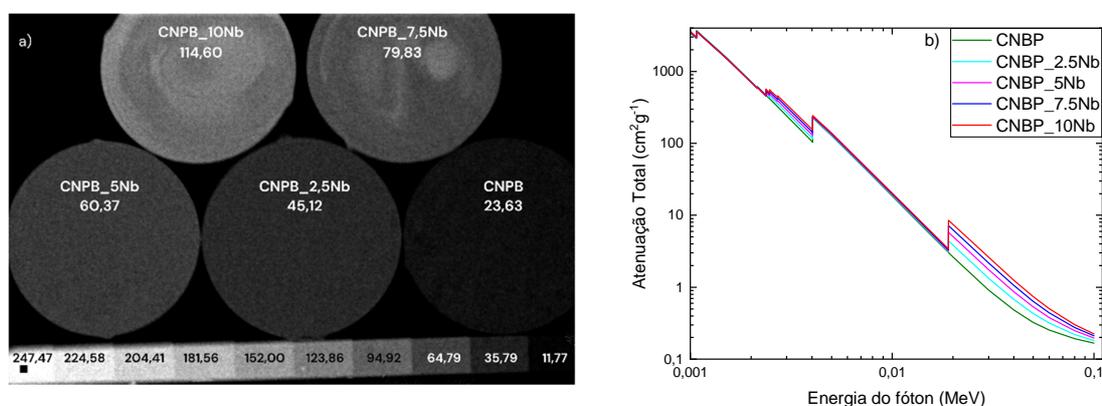
A partir da radiografia digital foi analisado a opacidade das amostras. Os cálculos do coeficiente de atenuação de massa foram obtidos através do programa XCOM (NIST) e correlacionados com os tons de cinza.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das radiografias digitais, foi possível observar que as imagens obtidas apresentaram padrões de cores distintos para cada amostra, e que esses padrões foram progressivamente modificados com a adição do nióbio. Essa diferença das radiografias é devido a capacidade específica de absorção de raios X das amostras,

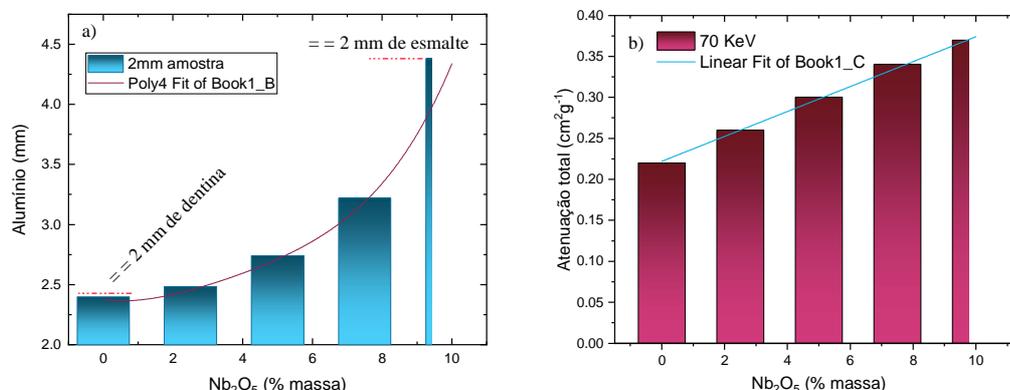
que é influenciada pela presença do nióbio. As opacidades podem ser visualizadas na forma de variações nos níveis de cinza obtidos por *software* de tratamento de imagem.

Na Figura 1.a), é apresentada uma escala de tons de cinza que varia de 0 a 255, juntamente com os valores do penetrômetro divididos em 10 níveis (variando de 11,77 a 247,47), cada um com um incremento de 1 mm. As escalas são exibidas abrangendo desde o vidro 0Nb, que possui o menor valor de cinza (23,63), até o vidro dopado com 10Nb, exibindo maior valor na escala (114,60). Na Figura 1.b), é possível analisar os valores do MAC. Uma correspondência direta é observada, na qual o vidro de maior coeficiente de atenuação também é o que apresenta maior nível de cinza, ou seja, maior radiopacidade.



**Figura 1** – a) Histograma apresentando os níveis de cinza das radiografias digitais. b) Cálculo do coeficiente de atenuação com base na densidade, composição química e energia dos fótons incidentes no material (XCOM-NIST).

Realizamos cálculos de padronização em relação a 2 mm das amostras com o milímetro equivalente de alumínio ( $\text{mmEq}/\text{Al}$ ). Além disso, determinamos o valor de atenuação da radiação para uma energia próxima da região de 70 KeV, a mesma utilizada em radiografias convencionais. Os resultados estão apresentados nas Figuras 2a) e 2b).



**Figura 2** – a) Relação entre 2 mm do vidro borofosfatos dopado com Nióbio e  $\text{mmEq}/\text{Al}$ . b) Atenuação total para energia próxima da região de 70 KeV.

Além de garantir uma precisão nas análises de opacidade das radiografias, as normas definidas pela ISO conferem que o vidro seja distinguível em imagens adjacentes à dentina, já que o mmEq/Al da amostra deve ser igual, ou maior, que a do alumínio, que tem radiopacidade equivalente à da dentina. Enquanto o aumento da atenuação de massa é linear com a quantidade de nióbio, o mmEq/Al apresentou um comportamento polinomial. Todas as amostras apresentam conformidade com as diretrizes da ISO, no qual uma espessura de 2 mm da amostra corresponde a 4,38 mmEq/Al na presença de 10% de nióbio. Essa proporção é suficiente para conferir propriedades radiopacas à amostra, tornando-a adequada para procedimentos odontológicos (esmalte e dentina). Além disso, a amostra mais opaca exibe uma atenuação total de cerca de 0,4 cm<sup>2</sup>/g a uma região de 70 keV.

## CONCLUSÕES

Em síntese, exploramos a interação de sistemas vítreos com radiação, através de radiografias e atenuação de massa. A incorporação de nióbio aumentou a radiopacidade, associada a maiores coeficientes de atenuação e intensidade em radiografias. A variação da composição influenciou a radiopacidade de 2,4 a 4,4 mmEq/Al. A conformidade com a ISO confirmou aplicabilidade em implantes. A atenuação de massa oscilou entre 0,2 e 0,4 cm<sup>2</sup>/g a um espectro de energia na região de 70 keV, comum nas radiografias odontológicas. Esses resultados têm implicações cruciais para escolha e desenvolvimento de biomateriais radiopacos.

## AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC, CNPq, Fundação Araucária, UEM, LRMV e todos os envolvidos pela colaboração, com auxílio financeiro e disponibilização de laboratórios, para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AKCAY, I.; ILHAN, B.; DUNDAN, N. Comparison of conventional and digital radiography systems with regard to radiopacity of root canal filling materials. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 8, p. 730–736, ago. 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2591.2012.02026.x>. Acesso em 16 ago. 2023.

SUR, J.; ENDO, A.; MATSUDA, Y.; ITOH, K.; KATOH, T.; ARAKI, K.; OKANO, T. A measure for quantifying the radiopacity of restorative resins. **Oral Radiology**, v. 27, n. 1, p. 22–27, 7 jun. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11282-010-0055-4>. Acesso em 15 ago. 2023.

MEJÍA, G. A. C. **Development of radiopaque biohydroxyapatite/bioglass coatings deposited by thermal spray for biomedical applications.** 2019. 171 p. Tese (Doutorado em Materiais). Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados del Insituto Politécnico National, Santiago de Querétaro, 2019.