

Resposta radiológica de sementes guia de lantânio em implantes braquiterápicos

L. S. R. Silva¹; É. D. P. Machado¹; T. P. R. Campos²; W. S. Roberto³

¹Departamento de Engenharia de Materiais - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEP: 30510-000, Belo Horizonte – MG, Brasil.

²Departamento de Engenharia Nuclear - Universidade Federal de Minas Gerais, CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil.

³Departamento de Física e Matemática - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEP: 30510-000, Belo Horizonte – MG, Brasil.

lais26@globu.com

(Recebido em 29 de março de 2013; aceito em 15 de julho de 2013)

Foram sintetizadas sementes cerâmicas incorporadas com La-139 para serem utilizadas como guias radiológicos em implantes braquiterápicos. Esta síntese foi realizada através do método sol-gel. As sementes obtidas foram submetidas aos processos de caracterização de Microscopia Eletrônica de Varredura, Difração de raios-X e Espectroscopia de raios-X por dispersão em energia. Além disso, foi feito o cálculo de contraste gerado em um filme radiográfico pelas sementes de lantânio, samário e hólmio. Teste radiológico em um fantoma em diferentes configurações de profundidade com sementes metálicas e de lantânio também foi realizado. Com base nos valores de contraste calculados, pode-se concluir que as sementes de lantânio são eficientes como guias radiológicos ao serem implantadas juntamente com sementes puras de Ho-165 e Sm-152.

Palavras-chave: braquiterapia, sementes cerâmicas de lantânio, contraste radiológico.

Radiological response of lanthanum guiding seeds in brachytherapy implants

Ceramic seeds with La-139 incorporated were synthesized to be used as radiological guides in brachytherapy implants. The synthesis was performed based on the sol-gel method. The seeds were subjected to characterization by Scanning Electron Microscopy, X-ray diffraction and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy. Furthermore, the contrast from a radiographic film was evaluated to lanthanum, samarium and holmium seeds. Radiological response on a phantom at different depths with lanthanum seeds and metal seeds was also investigated. Based on the values of contrast, the synthesized lanthanum seeds can be considered efficient as radiological guides when implanted together with pure Ho-165 and Sm-152 seeds.

Keywords: brachytherapy, lanthanum ceramic seeds, radiological contrast.

1. INTRODUÇÃO

A braquiterapia é uma modalidade de radioterapia utilizada no tratamento de câncer na qual são implantadas fontes radioativas próximas ao sítio tumoral. Essas fontes apresentam-se na forma de fios ou sementes metálicas, que são respectivamente temporários e permanentes, e na maioria das vezes têm como nuclídeo emissor o iodo-125^{1, 2, 3, 4, 5}.

Estudos recentes mostraram que o uso de sementes de vidros bioativos, desenvolvidos pela técnica sol-gel, incorporados com Sm-152 ou Ho-165 são eficientes no controle de linhagens tumorais e podem substituir as sementes convencionais no tratamento por braquiterapia. Além disso, tais sementes apresentam a propriedade de biocompatibilidade, biodegradabilidade e podem reduzir o custo do tratamento^{6, 7}.

O nuclídeo Sm-153 apresenta meia-vida de 46 horas, Ho-166 de 26,8 horas e I-125 de 59 dias. Os valores de meia-vida mais curtos do samário e do hólmio, se comparados ao do iodo são uma vantagem para o uso destes elementos em sementes para tratamentos por braquiterapia, visto que produzem alta taxa de dose absorvida. Outra vantagem está relacionada à quantidade de energia emitida. Enquanto o I-125 emite fótons de 27 keV, o Sm-153 emite partículas betas de 820, 710 e 640 keV, com energia média de 290 keV, com penetração máxima de 3,0 mm,

além de emissão gama de 103 keV de energia, o que garante uma dose maior e ao mesmo tempo localizada, reduzindo o risco de danos aos órgãos próximos ao tumor⁸. Já o Ho-166 emite raios-beta de 1.89 MeV e raios-gama de 80 keV, principalmente. A biocompatibilidade e biodegradabilidade puderam ser demonstradas em implantes em fígado de coelhos⁹.

Um problema no uso das sementes de Sm-153 e Ho-166 é que estas apresentam pouca nitidez quando submetidas aos espectros de raios-X médico, o que dificulta a confirmação do local de implante das mesmas. Como uma tentativa de solucionar este problema foram sintetizadas sementes de Sm-152 e Ho-166 incorporadas com bário, zircônio e titânio com o objetivo de atingir radiopacidade adequada, porém a adição destes elementos à semente resultou em uma redução na concentração do nuclídeo emissor. Com o intuito de produzir sementes Sm-153 e Ho-166 puras, de alta concentração, para ativação em baixo fluxo de nêutrons, se faz necessário guias radiológicos².

A solução para este problema foi encontrada no desenvolvimento de sementes cerâmicas incorporadas com La-139. Estas sementes foram sintetizadas através do método sol-gel para servirem como guias quando implantadas juntamente com as sementes de Sm-152 e Ho-166 puras. Além disso, com o objetivo de aumentar a biocompatibilidade e biodegradabilidade das mesmas, o elemento cálcio foi acrescentado à sua composição química.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para síntese das sementes de La-139, através da rota sol-gel, foi preparada uma solução contendo TEOS ($C_8H_{20}O_4Si$ - Aldrich), nitrato de cálcio ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ - Labsynth), solução de ácido nítrico $2N(HNO_3$ - Labsynth) como catalisador, água deionizada e cloreto de lantânio ($LaCl_3 \cdot 7H_2O$ - Aldrich). A solução formada foi submetida a vácuo e transferida para uma forma de polietileno. A amostra passou pelo processo de gelação a temperatura ambiente e posteriormente pelos processos de secagem e envelhecimento em diferentes rampas de temperatura e por último as sementes passaram por tratamento térmico a 600 °C. Estes procedimentos foram realizados no Departamento de Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais.

Com o intuito de analisar a estrutura morfológica das sementes, a amostra foi submetida a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no equipamento SSX-150 microscopio (SHIMADZU). Para realização deste processo a amostra foi previamente revestida por uma fina camada de ouro no equipamento QuickCoater (SANYU ELECTRON). Foram geradas imagens de alta resolução que permitiram uma análise adequada da estrutura das sementes¹⁰.

Para identificar as fases presentes na amostra foi realizada análise por difração de raios-X no equipamento DRX7000 (SHIMADZU). A Espectroscopia de raios-X por Dispersão em Energia (EDX), realizada no equipamento EDX - ny Ray 720 (SHIMADZU), foi feita para avaliar a porcentagem em peso de cada elemento presente na amostra.

As análises por MEV, DRX e EDX foram realizadas no Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

As sementes cerâmicas de lantânio foram submetidas a um espectro de raios-X com fatores de exposição de 50 kV e 100 mA por 0.15 s, no aparelho portátil X-ray BR-200, juntamente com as sementes de samário e hólmio com o objetivo de comparar o contraste gerado pelas mesmas no filme radiográfico. As porcentagens de hólmio e samário nas sementes utilizadas são, respectivamente, 23,1% e 23,6%¹⁰.

O filme radiográfico obtido foi digitalizado e suas diferentes intensidades de cinza foram medidas através do software ImageDIG. A equação utilizada para o cálculo de densidade óptica foi:

$$D.O. = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

onde, D.O. é a densidade óptica do filme, I_0 é a intensidade de cinza do filme não exposto e I é a intensidade de cinza do filme exposto¹¹. Com base nos valores obtidos de densidade óptica, foram calculados os valores de contraste gerados nos filmes radiográficos através da equação:

$$C = \frac{D.O.back - D.O.semente}{D.O.back} \quad (2)$$

em que C é o contraste, D.O.back é a densidade óptica do background e D.O.semente é a densidade óptica da semente em questão no filme radiológico.

Além disso, também foram realizados testes radiológicos em um fantoma de mama em diferentes configurações de profundidade. Sementes de lantânio foram implantadas em uma profundidade de 6,0 cm e sementes metálicas na profundidade de 7,0 cm. As imagens foram geradas utilizando o aparelho portátil X-ray BR-200 e em seguida foram digitalizadas. Posteriormente foi feito o cálculo de contraste e a comparação dos valores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes cerâmicas sintetizadas, compostas de Si, Ca e La, possuem 0.6 mm de diâmetro e 1.6 mm de comprimento.

A Figura 1, obtida na Microscopia Eletrônica de Varredura, mostrou que as partículas da amostra estão organizadas na forma de aglomerados porosos.

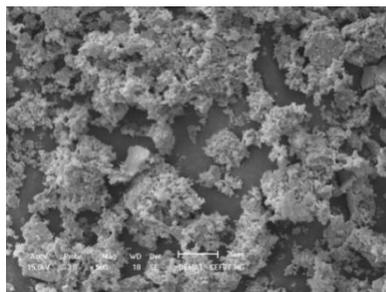


Figura 1: Imagem obtida por MEV do pó da amostra de sementes de [Si: Ca: La].

As sementes de lantânio possuem escamas em sua superfície, como pode ser visto na Figura 2, o que pode aumentar a aderência das mesmas ao tecido humano e acelerar seu processo de biodegradação².

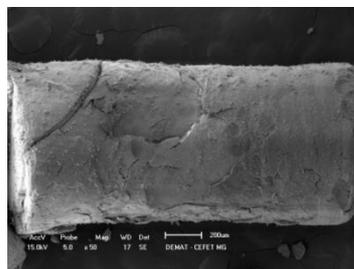


Figura 2 - Imagem obtida por MEV da semente de [Si: Ca: La].

Na difração de raios-X foi possível identificar a presença de fases cristalinas na amostra, o que pode ser observado no difratograma apresentado na Figura 3.

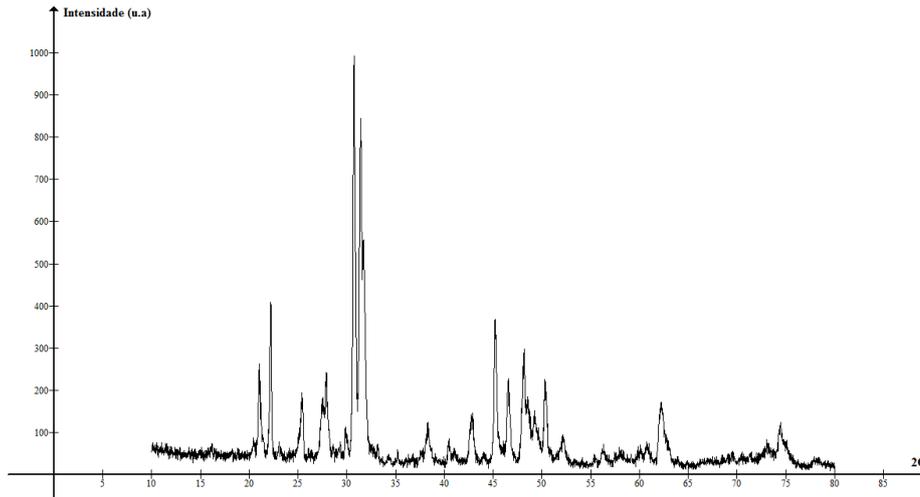


Figura 3: Difratoograma da amostra de sementes cerâmicas de lantânio.

Cálculos estequiométricos teóricos da porcentagem em peso dos elementos ($W_e\%$) presentes na amostra foram realizados e os valores obtidos foram próximos aos encontrados através da Espectroscopia de raios-X por Dispersão em Energia ($W_m\%$).

Tabela 1: Porcentagens em peso teóricas ($W_e\%$) e mensuradas por EDX ($W_m\%$).

Elementos	$W_e\%$	$W_m\%$
Si	23	23
Ca	15	18
La	62	54
V	0	5

Na figura 4, relativa aos resultados obtidos por EDX, é possível identificar os elementos presentes na amostra. Uma possível explicação para a presença de vanádio nos resultados por EDX seria a proximidade do seu valor de K_α (4.95 keV) ao valor de L_β do lantânio (5.04 keV).¹² Isso pode ter ocorrido devido a um processo de calibração inadequado do equipamento utilizado. Deste modo, a porcentagem em peso mensurado por EDX do lantânio pode ser considerada 59%.

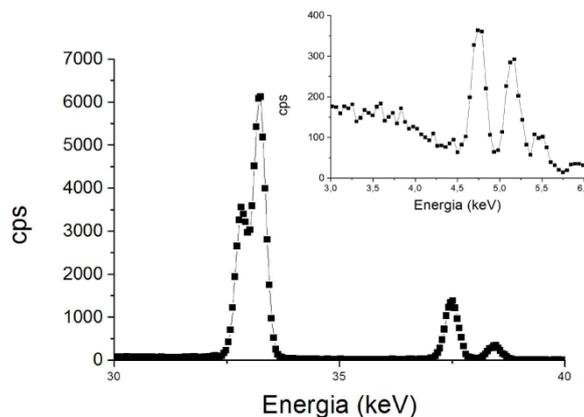


Figura 4: Gráfico referente aos resultados obtidos por EDX.

As densidades ópticas das sementes de Sm-152, Ho-165, La-139 foram avaliadas no filme radiográfico gerado pela incidência de raios-X. Com base nestes valores o cálculo de contraste radiológico foi realizado. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

De acordo com a Tabela 2 as sementes de lantânio são as que possuem melhor radiopacidade no filme radiográfico.

Tabela 2: Cálculos de densidade óptica e contraste radiológico para as sementes [Si: Ca: Sm], [Si: Ca: Ho] e [Si: Ca: La].

Nuclídeo Emissor	Densidade óptica	Desvio padrão da densidade óptica	Contraste radiológico
Sm-152	0,422	0,035	0,543
Ho-166	0,328	0,035	0,595
La-139	0,381	0,010	0,711

Os resultados dos testes radiológicos em um fantoma de mama em diferentes configurações de profundidade estão registrados na Tabela 3. De acordo com estes dados, as sementes de lantânio apresentam maior contraste radiológico quando comparadas com as sementes metálicas.

Tabela 3: Densidade óptica e contraste das sementes implantadas em um fantoma de mama.

Semente	Profundidade (cm)	Densidade Óptica	Contraste Radiológico
Lantânio	6,0	0,673	0,347
Metálica	7,0	0,691	0,335

É interessante observar que mesmo a semente de lantânio estando a uma profundidade menor, ou seja, mais distante do filme radiográfico em relação à semente metálica, ela apresentou uma maior radiopacidade.

4. CONCLUSÃO

Sementes compostas de Si, Ca e La, foram sintetizadas e caracterizadas. A resposta radiológica destas sementes, mensurada pelo contraste, apresentou-se superior a das sementes de Ho ou Sm e de segmentos metálicos. O alto número atômico do lantânio, associado à sua alta concentração nas sementes justifica a radiopacidade das mesmas em filmes radiográficos. Tendo em vista as características apresentadas, conclui-se que as sementes de La-139 podem ser usadas como guias quando implantadas juntamente com as sementes de Sm-152 ou Ho-165 puras.

1. Nogueira LB, Campos TPR. Nuclear characterization and investigation of radioactive bioglass seed surfaces for brachytherapy via scanning electron microscopy. *J Sol-Gel Sci Technol* 2011; 58: 251-258.
2. Nogueira LB, Campos TPR. Radiological response of ceramic and polymeric devices for breast brachytherapy. *ApplRadiatIsot* 2012; 70: 663-669.
3. Roberto WS, Pereira MM, Campos TPR. Analysis of Bioactive Glasses obtained by sol-gel processing for radioactive implants. *Mater Res* 2003; 6: 123-127.
4. Roberto WS, Pereira MM, Campos TPR. Structure and Dosimetric Analysis of Biodegradable Glasses for Prostatic Cancer Treatment. *Artif Organs* 2003; 27: 420-424.
5. Valente ES, Campos TPR. Gamma spectrometry and chemical characterization of ceramic seeds with samarium-153 and holmium-166 for brachytherapy proposal. *ApplRadiatIsot* 2010; 68: 2157 – 2162.
6. Brinker CJ, Scherer GW. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Harcourt Brace & Company; 1990.

7. Valente ES, Cuperschmid EM, Campos TPR. Characterization of Ceramic Seeds with Samarium-153 for Use in Brachytherapy. *Mater Res* 2011; 3: 1-4.
8. Roberto WS. Desenvolvimento e análises de sementes sintetizadas através da rota sol-gel para implantes em tumores de próstata. Belo Horizonte. Tese de Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares - Departamento de Engenharia Nuclear, UFMG; 2004.
9. Campos, T. P. R., Andrade, J. P. L., Costa, I. T., Silva, C. H. T. Study of the Sm-153 seeds degradation and evaluation of the absorbed dose in rabbit's liver implants. *Progress in Nuclear Energy.*, v.50, p.757 - 766, 2008.
10. Dedavid BA, Gomes CI, Machado G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: Edipucrs; 2007.