SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIBIC

AVALIAÇÃO DE APLICABILIDADE DO COMPOSTO MgB_4O_7 EM CALIBRAÇÕES PADRÕES DE FEIXES DE RADIOTERAPIA.

Desenvolvimento de novos materiais e dispositivos para uso em radioterapia.

Relatório Final
Período da bolsa: de Setembro de 2021 a Agosto de 2022

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq

Orientador: Divanizia de Nascimento Souza
Autor: Daniel Santos Rodrigues

SUMÁRIO

RESUMO 3
1 INTRODUÇÃO 4
2 OBJETIVOS 5
2.1 Objetivos Gerais 5
2.2 Objetivos Específicos 5
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 5
3.1 Radioterapia 5
3.2 Tetraborato de Magnésio 5
3.3 Luminescência 6
3.3.1 Luminescência Opticamente Estimulada (OSL) 7
3.4 Propriedades Dosimétricas 9
3.4.1 Sensibilidade 9
3.4.2 Limite Inferior de Detecção 10
3.4.3 Reprodutibilidade e Homogeneidade 10
3.4.4 Desvanecimento 10
3.4.5 Dependência Energética 11
4 MATERIAIS E MÉTODOS 11
4.1 Síntese do Material 11
4.2 Irradiações e Leituras 12
4.3 Tetraborato de Magnésio como Calibrador de Feixes 12
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 13
6. CONCLUSÃO 16
7. PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS 17
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 17
9. OUTRAS ATIVIDADES 19

RESUMO

A utilização da radioterapia em pacientes que apresentam neoplasia celular é uma atividade cada vez mais constante em serviços de saúde. O correto funcionamento do equipamento utilizado nesse tratamento, sendo comumente um acelerador linear, é a maior preocupação entre os profissionais atuantes no tratamento e órgãos reguladores do serviço de radioterapia. O tetraborato de magnésio é um cristal de estrutura ortorrômbica que possui características mínimas necessárias para sua utilização como um dosímetro OSL na calibração de feixes em serviço de radioterapia. Devido ao seu número atômico efetivo consideravelmente próximo ao tecido mole, a sua baixa de dependência energética e a sua resposta luminescente proporcional à dose recebida, o MgB_4O_7 é classificado como um bom material para ser utilizado como um dosímetro OSL. Considera-se, ainda, que sua aplicação de forma complementar em calibrações dos feixes de aceleradores linear se mostrou produtiva nos testes realizados no modelo Clinac Varian 21EX.

Palavras-chave: Tetraborato de magnésio; dosímetro; radioterapia.

1 INTRODUÇÃO

A utilização da radioterapia em tratamentos clínicos é uma prática cada vez mais recorrente no mundo. O câncer, enquanto uma desordem celular, é um conjunto de doenças que, ao ser comparado com outros casos clínicos, necessitam majoritariamente da realização de radioterapia [1]. A projeção de casos confirmados para o ano de 2030 é de um aumento de 54% em relação aos casos diagnosticados em 2015 [2].

Junto à necessidade clínica de aplicação da radioterapia, é indispensável à ocorrência frequente de ações preventivas que proporcionem um controle de qualidade nos equipamentos emissores de radiação empregados. Faz-se necessário manter esse controle para que ocorra uma padronização das atividades básicas de cada equipamento, a exemplo da quantidade de energia de radiação a que os pacientes estarão expostos [3]. A legislação brasileira que rege os parâmetros de funcionamento desses maquinários é representada, atualmente, pela Norma CNEN NN 6.10 [4]. Nessa resolução são informados os requisitos mínimos para as unidades de funcionamento desse procedimento clínico, existindo também as orientações para manutenção de bom funcionamento e procedimentos para situações de risco. Outros documentos orientam sobre aspectos mais específicos.

A calibração de um acelerador linear, meio pelo qual a radioterapia ocorre, é uma das principais atividades no controle de qualidade [5]. O conhecimento da quantidade de energia a ser entregue aos pacientes através dos feixes de radiação é essencial não somente para um progresso no tratamento clínico, como também na minimização da incidência dos feixes em tecidos saudáveis. Essa calibração ocorre utilizando um sistema de medidas constituído por uma câmara de ionização e um objeto simulador (fantoma), os quais relacionam a dose e a respectiva profundidade de interesse, tendo como objetivo principal garantir que o erro máximo na liberação da dose seja igual ou inferior a 5% [6, 7].

O tetraborato de magnésio é um material que se encontra em ascensão quanto a sua usabilidade como dosímetro TL/OSL. Características como linearidade, sensibilidade e curva dose-resposta se apresentam adequadas quando comparadas às de outros materiais [8]. Devido a seu potencial dosimétrico, estudos da aplicabilidade do MgB_4O_7 em dosimetria de feixes de radiação são cada vez mais recorrentes na literatura , tendo maior enfoque para sua usabilidade como calibrador paralelo à forma convencional, orientado pela *International Comission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) [9].

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

- Avaliar a aplicação do MgB_4O_7 na dosimetria de feixes de radioterapia.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir o MgB_4O_7 pela rota do estado sólido;
- Aferir a dopagem do tetraborato de magnésio com cério e lítio;
- Aplicar o MgB_4O_7 como dosímetro OSL

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Radioterapia

A radioterapia é um tratamento clínico que utiliza radiações ionizantes no combate ou redução de células neoplásicas [10]. Na maioria dos casos, seu método de aplicação ocorre por meio de um acelerador linear, que consiste na utilização de partículas de elétrons aceleradas por uma diferença de potencial em um sistema a vácuo para a geração de energia (elétrons-volt). Apesar de seu elevado custo tecnológico, esse equipamento fornece alta precisão na entrega da dose, seja ela superficial ou profunda, no alvo em tratamento. Existem fontes de materiais radioativos, como a de cobalto-60, que foram largamente empregados em radioterapia, mas deixaram de ser devido ao decaimento radioativo típico do composto por sua emissão contínua de fótons, que tornava necessário a troca de fonte, o que representava dificuldades operacionais [11].

3.2 Tetraborato de Magnésio

O tetraborato de magnésio é composto por uma complexa estrutura cristalina ortorrômbica [12] formado por um átomo de magnésio (Mg), quatro átomos de boro (B) e sete átomos de oxigênio (O). A partir de meados de 1980 foram iniciados os estudos da sua dopagem com elementos de terras raras [13] para obtenção de melhores resultados dosimétricos, uma vez que esse material sem dopantes (puro) não apresenta resultados satisfatórios.

A dopagem do tetraborato de magnésio pode ser feita com diversos elementos, sendo registrado na literatura estudos principalmente com disprósio (MgB_4O_7:Dy), túlio (MgB_4O_7:Tm), cobre (MgB_4O_7:Cu), manganês (MgB_4O_7:Mn), samário (MgB_4O_7:Sm) e térbio (MgB_4O_7:Tb) [13]. Com o avanço das rotas de produção do tetraborato de magnésio, houve a possibilidade de realizar a dopagem do material com mais de um elemento, como disprósio e sódio (MgB_4O_7:Dy,Na), assim como disprósio, cálcio e sódio (MgB_4O_7:Dy,Ca,Na), a fim de trazerem benefícios às propriedades dosimétricas do tetraborato [14]. Para este trabalho foram feitas dopagem do tetraborato de magnésio com cério e lítio (MgB_4O_7:Ce,Li).

Para que um material seja considerado como um bom dosímetro, espera-se que possua, entre outros requisitos, um número atômico efetivo próximo ao do tecido humano, que é definido em aproximadamente Z_{eff} =7,5 [14]. O tetraborato de magnésio possui grande potencial para esse fim, uma vez que, além de possuir um número atômico efetivo por volta de Z_{eff} =8,4 , apresenta bons parâmetros de linearidade de dose absorvida, sensibilidade e emissão termoluminescente em intervalo de temperatura adequado quando comparada a de outros materiais [15].

3.3 Luminescência

A luminescência é um fenômeno de emissão de luz que ocorre em materiais específicos quando submetidos a algum tipo de estímulo. Registros de luminescência de variados tipos [Tabela 1] são encontrados na literatura, sendo majoritariamente descritos de acordo com seus específicos tipos de estímulos. O fenômeno luminescente também é classificado de acordo com seu tempo - em segundos - de resposta (T_c) [16], sendo nomeado de fluorescência quando o processo de emissão é direto ($T_c < 10^{-8}$ s) e de fosforescência quando o processo ocorre de modo lento ($T_c > 10^{-8}$ s).

Tabela 1 - Tipos de luminescência e seus respectivos estímulos [14 - adaptada].

Principais tipos de luminescência	**Estímulo**
Catodoluminescência	Feixe de elétrons
Fotoluminescência	Fótons

Triboluminescência	Forças mecânicas
Radioluminescência	Radiação ionizante
Termoluminescência	Calor
Luminescência opticamente estimulada	Luz
Quimiluminescência	Reações químicas
Sonoluminescência	Ondas sonoras

Para a realização das análises em dosimetria das radiações necessárias para este trabalho, restringiu-se apenas a aplicação da técnica de luminescência opticamente estimulada (OSL).

3.3.1 Luminescência Opticamente Estimulada (OSL)

A luminescência opticamente estimulada se caracteriza pela emissão de luz por um material isolante ou semicondutor quando submetido a um estímulo óptico [16]. Esse fenômeno luminescente ocorre após a prévia absorção de energia de radiação a que o meio material é exposta. A ocorrência dessa emissão de luz se dá quando existe transferência de energia. Após serem excitados, os elétrons saem de seu estado fundamental na camada de valência para um estado mais energético, ou seja, mais distante do seu núcleo. Ao retornarem ao seu estado fundamental, fótons de luz são emitidos devido a sobra de energia da transição de elétrons da camada mais energética para a menos energética [12].

O modelo de bandas descreve teoricamente o processo luminescente que ocorre em um material a partir de um estímulo externo. Previamente, o material é excitado por uma fonte de radiação ionizante, fazendo com que elétrons, no seu estado estável na banda de valência, passem pela condição instável da banda de condução (a), indo para centros de captura de carga - armadilhas de elétrons (b-T) - que se encontram acima do nível de energia de Fermi (e), no estado metaestável na banda proibida. De forma paralela, os buracos deixados pelos elétrons na camada de valência também se movimentam para armadilhas (b-R) que se encontram abaixo do nível de energia de Fermi. Quando fornecido energia suficiente para os elétrons deixarem

esse centro de armadilhamento (c-T), passando pela banda de condução eles se recombinam com os buracos que ainda se encontram armadilhados (R), ocorrendo à liberação de energia em forma de luz visível [Figura 1]. Para que o material volte ao seu estado original, é necessário um fornecimento de energia superior à utilizada no procedimento primário [17].

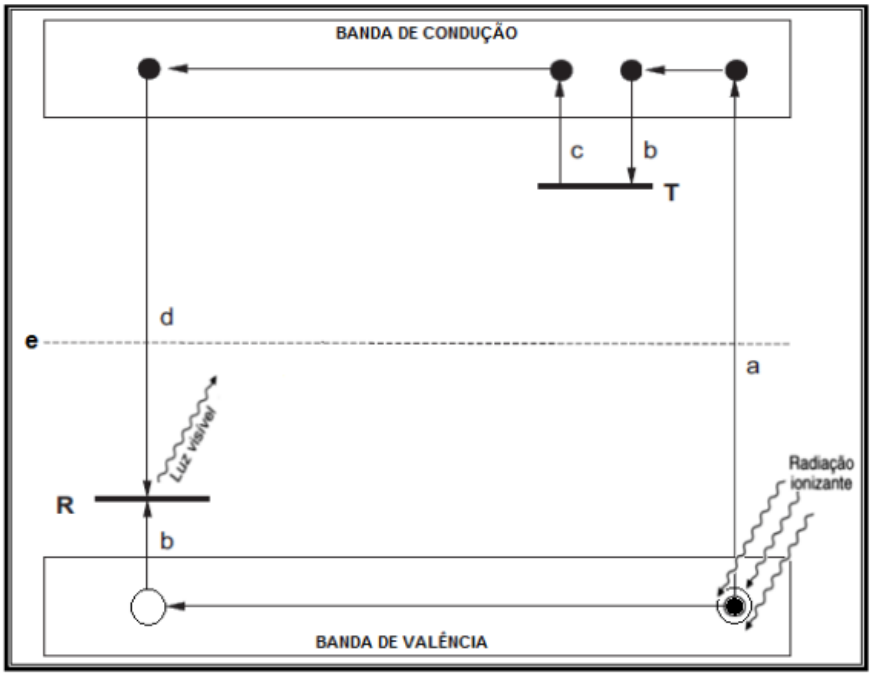

Figura 1 - Representação do modelo de bandas no processo de luminescencia [17].

A utilização desse fenômeno luminescente na dosimetria das radiações é feita através da leitura de curva de decaimento exponencial da luminescencia do material. Sua representação é feita por meio de gráfico que mostra a intensidade da luz emitida em unidades arbitrárias em função do tempo de emissão de luz.

Diferente da TL, a curva de emissão OSL é representada pelo decaimento exponencial da intensidade luminescente em função do tempo, como mostrado na Figura 2. O estímulo óptico da OSL, realizado com LED's ou lasers, pode ser aplicado de duas formas, sendo uma de modo contínuo, quando a intensidade e comprimento de onda são constantes, e a outra de modo alternado, quando estímulo de luz é pulsado em intervalos de tempo curtos [12].

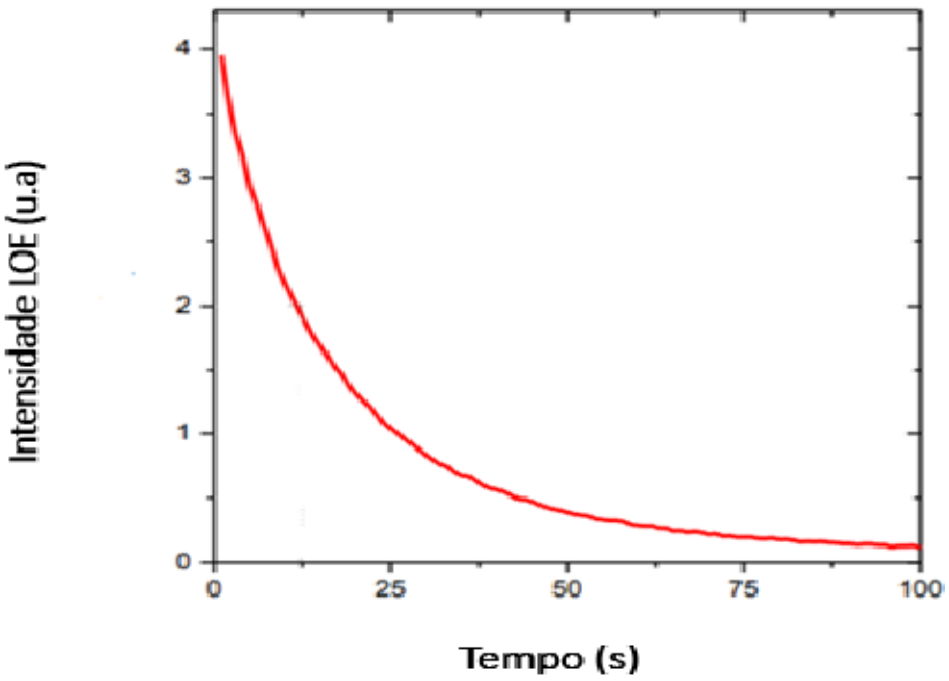

Figura 2 - Curva OSL típica do BeO [18].

Diversos aspectos, sejam eles positivos ou negativos, podem ser observados na técnica OSL. O primeiro deles é que, por possuir estímulo óptico, pode ser feito em temperatura ambiente. A luminencencia opticamte estimulada interfere minimamente na integridade do material dosímetro, uma vez que o estímulo óptico é considerado menos agressivo [16]. Diferente de outros modos de leitura de sinal, pode-se realizar várias medidas OSL em uma mesma amostra. Por fim, outra caracteristica é a pouca oferta de materiais diferenciados que possam ser empregados nessa técnicoa.

3.4 Propriedades Dosimétricas

Para que um material seja considerado como um dosímetro OSL é necessário que ele possua características específicas que validam sua eficiência e aplicabilidade dosimétrica. As características mais relevantes estão apresentadas a seguir.

3.4.1 Sensibilidade

A sensibilidade pode ser intuitivamente definida como o quão sensível um material é

para detectar doses de radiação. Essa sensibilidade pode sofrer influências diversas, inclusive do próprio processo de leitura do sinal luminescente [19]. A determinação da sensibilidade (S) pode ser feita através da razão entre a intensidade luminescente emitida pela amostra e a dose absorvida [18], conforme a Equação (1):

$$S = \frac{\text{Intensidade}}{\text{Dose}} \tag{1}$$

3.4.2 Limite Inferior de Detecção

A dose mínima detectável (LID) por um dosímetro é o menor valor de energia de radiação que pode ser captado pelo material [13]. Além de sua aplicação na dosimetria pessoal, o conhecimento desse limite inferior pode ser utilizado na aplicação em todo o campo da dosimetria de baixas doses. Sua representação é feita pela média das leituras (B) e o desvio padrão (σ_B) das leituras dos dosímetros não irradiados, sendo também inserido um fator de calibração (f_c) [18], como descrito na Equação (2):

$$\text{LID} = (B + 3\,\sigma_B)f_c \tag{2}$$

3.4.3 Reprodutibilidade e Homogeneidade

Para que um material seja considerado como dosímetro é necessário que sua leitura seja reprodutível. A reprodutibilidade é a repetição individualizada dos resultados luminescentes após várias leituras OSL em um dosímetro, esperando-se um alto índice de proximidade entre os resultados. A homogeneidade, por sua vez, trata-se do conjunto de resultados individuais que, juntos, apresentam um baixo percentual de diferença quanto aos seus resultados [16].

3.4.4 Desvanecimento

O desvanecimento, comumente conhecido como *fading*, é o processo de perda da intensidade luminescente do material com o passar do tempo [20]. É desejável que um dosímetro possua um baixo *fading*, uma vez que sua aplicabilidade é melhor quando o intervalo entre a irradiação e a leitura do sinal pode ser longo.

O modelo de bandas também é utilizado para a explicação desse fenômeno [21]. Os elétrons e os buracos que se recombinam na armadilha abaixo do nível de energia de Fermi após a excitação e estímulo podem ter liberação espontânea dos seus portadores de cargas, fazendo com que sejam capturados em armadilhas mais rasas, proporcionando a perda da intensidade luminescente.

3.4.5 Dependência Energética

A dependência energética do sinal luminescente de um material consiste na variação do sinal com a variação da energia da radiação ao qual foi submetido, considerando-se uma mesma dose. Idealmente é esperado que não haja variação luminescente em decorrência da energia da radiação a qual um dosímetro seja exposto [16].

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Síntese do Material

Para a obtenção do tetraborato de magnésio dopado com cério e lítio (MgB_4O7:Ce,Li), adotou-se a síntese do estado sólido como rota de produção. Na síntese desse material foram utilizados como reagentes e dopantes, ambos em forma de pó, o óxido de magnésio, ácido bórico, carbonato de cério e o carbonato de lítio, os quais são listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Reagentes, purezas e marcas dos materiais utilizados na produção [22 - adaptado]

Elementos		**Pureza**	**Marca**
Reagente	MgO	99,9%	Merck
	H_3BO_3	99,9%	Merck
Dopantes	$Ce_2(CO_3)_3*H_2O$	99,9%	Sigma / Aldrich
	$LiCO_3$	99,9%	Sigma / Aldrich

Utilizou-se, para os reagentes, a proporção estequiométrica de 12,78% de óxido de magnésio e 87,21% de ácido bórico. Para os dopantes cério e lítio, suas concentrações foram, respectivamente, 0,5% e 0,1% em relação à massa total do tetraborato de magnésio.

No processo de produção do material, inicialmente, em um almofariz de ágata foram homogeneizados os reagentes e dopantes. Após esse processo, o composto resultante foi submetido a 100 °C por 24 horas em uma estufa para que a água produzida na reação fosse evaporada.

Estando seco, o material que saiu da estufa foi calcinado em um forno tipo mufla a 900 °C por 7 horas. Sucessivamente, os grãos resultantes foram separados por granulometria em uma peneira de 75 -150μm para obtenção de cristais com tamanhos dentro de um intervalo conhecido.

Para modelar o material no formato de pastilha, utilizou-se uma prensa hidráulica, aplicando uma pressão de 711 *psi* em quantidade de pó previamente medida em uma balança de precisão. Uma vez prensado, o material foi sinterizado, obtendo-se pastilhas com 3,17 mm de diâmetro, 0,9 mm de espessura e 10 mg de massa.

4.2 Irradiações e Leituras

Para determinar a dependência energética e a resposta OSL do MgB_4O_7:Ce,Li, foi utilizado feixes de raios X de um equipamento Pantak/Seifert, com qualidade padrão para a radiologia diagnóstica e energias iguais a 38, 48, 65 e 83 keV. Irradiações com raios gama de ^{137}Cs (662 keV) e ^{60}Co (1250 keV) também foram realizadas, sendo a dose absorvida de 100 mGy. Exposições com feixes de fótons mais energéticos, de 6 e 10 MV, foram feitas em um acelerador linear da Clinac Varian 21EX.

As medidas OSL das pastilhas de MgB_4O_7:Ce,Li foram realizadas em uma leitora Risø TL/OSL, tendo como estímulo a aplicação de LEDs azuis no modo de onda contínua.

4.3 Tetraborato de Magnésio como Calibrador de Feixes

As calibrações convencionais aplicadas em aceleradores lineares são feitas com um sistema dosimétrico constituído de uma câmara de ionização e um eletrômetro [7]. Esse conjunto dosimétrico comumente é depositado dentro de um fantoma de água na hora da exposição dos feixes, sendo esse procedimento necessário para que se possa ter uma dimensão de profundidade da dose recebida.

A busca deste trabalho é apresentar o MgB_4O_7:Ce,Li como um material dosímetro alternativo aplicável na calibração de feixes de aceleradores lineares. Para avaliar tal possibilidade, as pastilhas foram posicionadas entre placas de água sólida (fantoma de água

sólida), com 1 cm de espessura cada uma, sendo a última placa superior distanciada em 100 cm da fonte de energia, como indica a Figura 3.

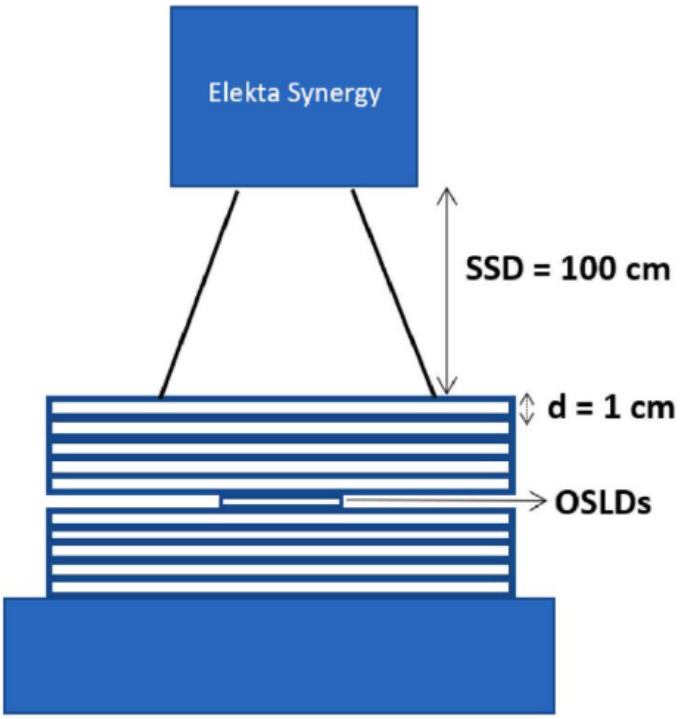

Figura 3 - Diagrama de calibração de feixes de radioterapia com material sensor [23]

Para manter o rigor nos programas de controle de qualidade, o tetraborato de magnésio dopado com cério e lítio pode ser um material a ser aplicado de forma paralela e complementar aos protocolos de calibração estabelecidas pela *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM) [24] e da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA)[25].

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alguns dos resultados discutidos a seguir foram também apresentados em trabalhos de Souza et al [22, 23].

A resposta OSL do MgB_4O_7:Ce,Li quando irradiado com dose absorvida de 0,1 Gy de fonte de ^{137}Cs apresenta uma variação de 17% em comparação com a resposta para energias

abaixo de 100 keV, como apresentado na Figura 4. Para energias acima de 100 keV, o material apresentou uma baixa dependência energética, tendo uma representação gráfica linear a partir dessa energia.

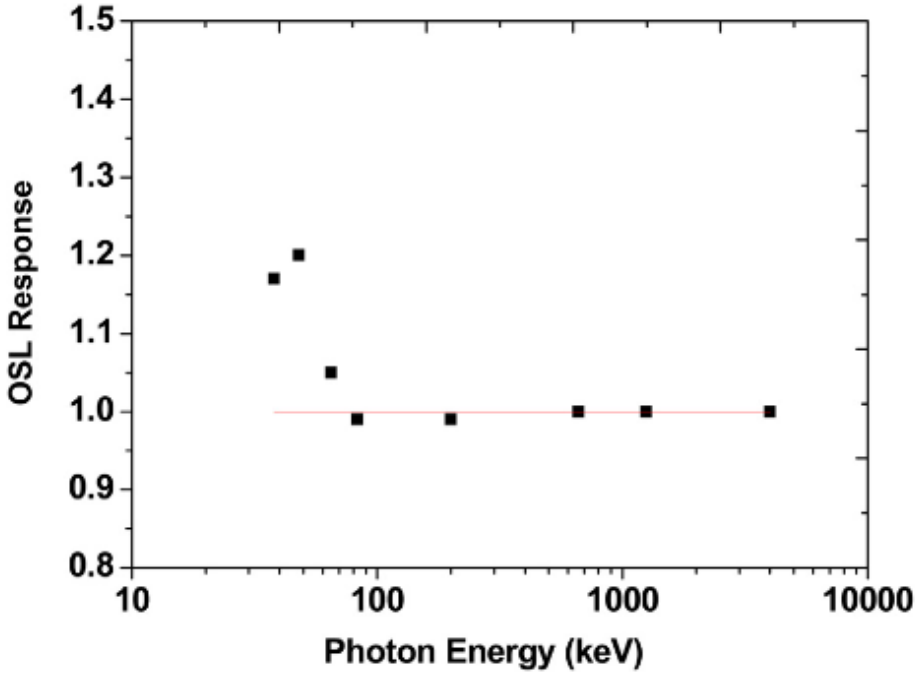

Figura 4 - Dependência Energética do MgB_4O_7:Ce,Li irradiado com ^{137}Cs.

A intensidade de resposta OSL do tetraborato de magnésio varia em relação à dose de exposição [Figura 5]. Quando produzido com ^{11}B, e submetido a feixes de fótons de 6 e 10 MV, as respostas luminescentes do MgB_4O_7:Ce,Li não apresentam grande variação, sendo relativamente parecidas na relação dose-resposta. Entretanto, quando o material é produzido com ^{10}B e sujeito a um feixe de fótons de 10 MV, o composto apresenta um leve aumento em sua intensidade luminescente comparado ao ^{11}B.

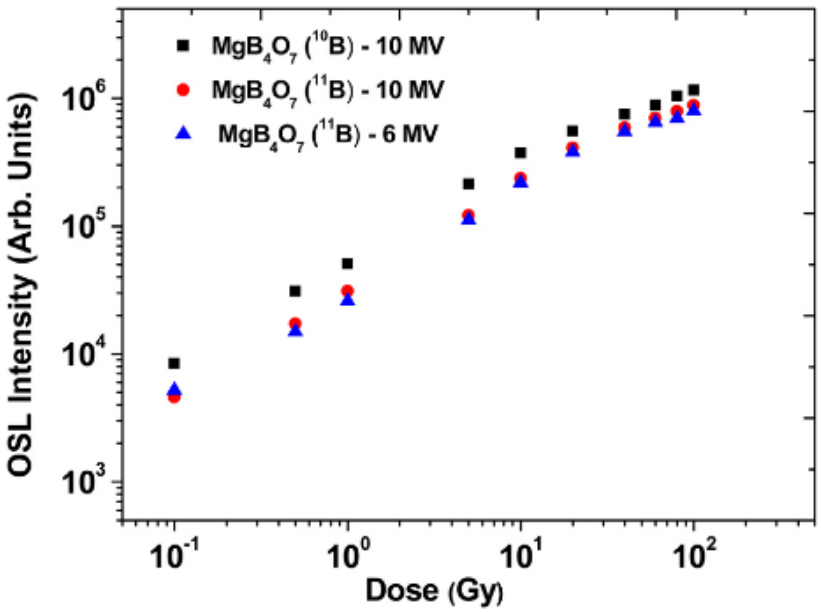

Figura 5 - Resposta OSL em função da dose absorvida

Na resposta da intensidade OSL em relação ao tempo, nota-se, na Figura 6, que a curva de decaimento exponencial do MgB_4O_7:Ce,Li é consideravelmente mais brusca em comparação ao decaimento de um dosímetro comercial de Al_2O_3:C, mesmo as duas amostras tendo sido irradiadas com 0,5Gy de fótons de 10 MV.

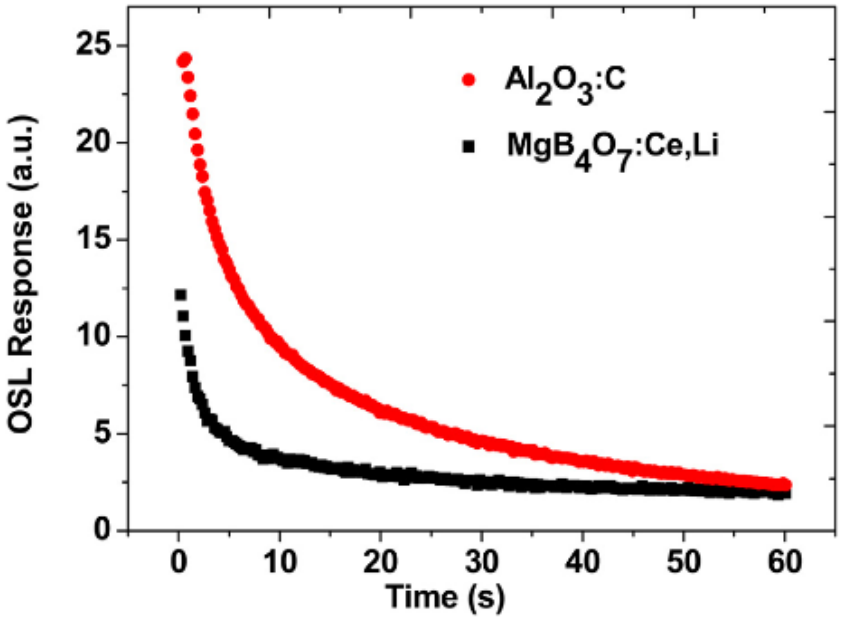

Figura 6 - Curva de decaimento OSL.

Para aplicação prática como dosímetro, o material precisa ter um número atômico efetivo (Z_{eff}) próximo ao do tecido humano (Z_{eff} = 7,5). Na Figura 7 é possível observar que esse valor para o tetraborato é fixado em um número entre 8 e 8,5, sendo notavelmente próximo ao tecido mole. Ainda quando comparado a outros dosímetros comerciais, o MgB_4O_7:Ce,Li é o que mais se aproxima do ideal para aplicação em dosimetria de feixes de radioterapia.

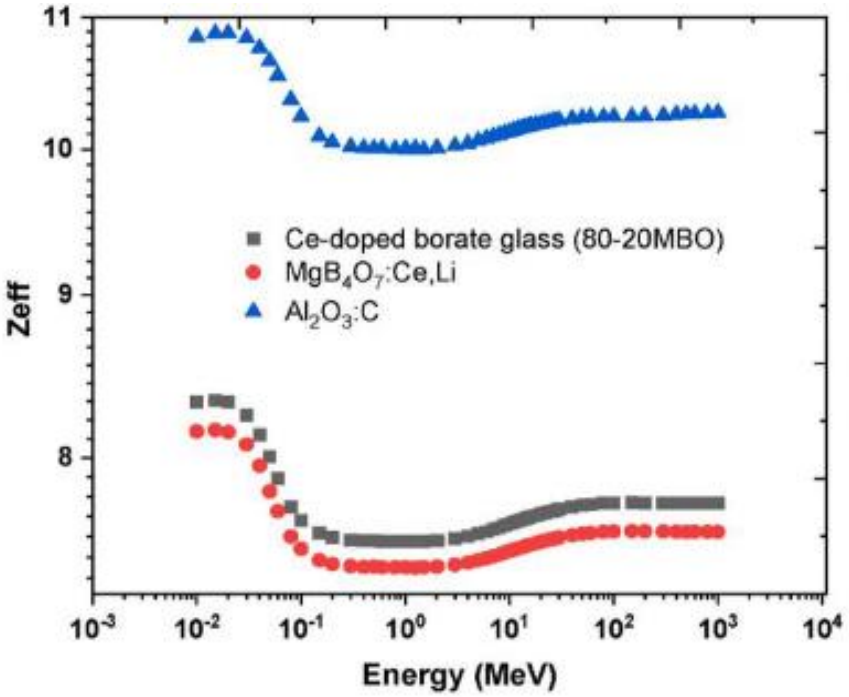

Figura 7 - Número atômico efetivo em função da energia do fóton

6. CONCLUSÃO

O tetraborato de magnésio dopado com cério e lítio apresenta parâmetros aceitáveis para ser considerado um dosímetro. Seu número atômico efetivo, sua baixa dependência energética para grandes energias de fótons e sua resposta luminescente em função da dose recebida são fatores que impulsionam a utilização do MgB_4O_7:Ce,Li como um dosímetro. Depreende-se, portanto, que o composto tem aplicabilidade na calibração padrão de feixes de aceleradores lineares utilizados em serviço de radioterapia, devido, principalmente, a sua alta resposta luminescente quando exposto a feixes de fótons.

7. PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros a linha de pesquisa se voltará para novos o elmentos de terras raras para utilizar como dopantes no MgB_4O_7. Além disso, a investigação de outra rota de produção para tentar impulsionar as propriedades dosimetricas do composto em estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SALVAJOLI, J. V.; SALVAJOLI, B. P. **O papel da radioterapia no tratamento do câncer–avanços e desafios**. Revista Onco &, v. 13, n. 3, p. 32-36, 2012.

[2] DE ARAÚJO, L. P.; DE SÁ, N. M.; ATTY, A. T. de M. **Necessidades Atuais de Radioterapia no SUS e Estimativas para o Ano de 2030**. Revista Brasileira de Cancerologia, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 35–42, 2016.

[3] FURNARI, L. **Controle de qualidade em radioterapia.** Revista Brasileira de Física Médica, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 77–90, 2015.

[4] CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear Norma, Norma CNEN NN 6.10, Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de radioterapia, resolução CNEN 214/17 junho de 2017.

[5] FURNARI, L. **Controle de qualidade em radioterapia.** Revista Brasileira de Física Médica, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 77–90, 2015.

[6] SILVA, M. P.; MOTA, H. C.; ALMEIDA, C. E. V.. **Verificação do fator de calibração e indicador da qualidade do feixe de aceleradores lineares**. Radiologia Brasileira, v. 34, p. 273-279, 2001.

[7] BERDAKY, Mafalda F.; CALDAS, Linda VE. **Implantação de um programa de controle de qualidade de um acelerador linear de 6 MeV de fótons.** Radiologia Brasileira, v. 34, p. 281-284, 2001.

[8] SOUZA, Susana O. et al. **Novos materiais dosimétricos para aplicações em física médica.** Revista Brasileira de Física Médica, v. 13, n. 1, p. 24-33, 2019.

[9] MENZEL, Hans-Georg. **International commission on radiation units and measurements.** Journal of the ICRU, v. 14, n. 2, p. 1-2, 2014.

[10] AWADA, N. O. ., A. M. . Dias, e M. M. F. . Zago. **"O Efeito Da Radioterapia Sobre a Qualidade De Vida Dos Pacientes Com câncer De cabeça E pescoço"**. Revista Brasileira De Cancerologia, vol. 52, nº 4, dezembro de 2006, p. 323-9.

[11] NANDI, Dorival Menegaz. **Estudo de funcionalidade e segurança para aceleradores lineares utilizados em radioterapia: uma contribuição para a gestão de tecnologia médico-hospitalar.** Florianópolis, SC, 2004. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2004.

[12] SANTOS, Caroline Castro dos Santos. **Desenvolvimento de filmes poliméricos com MgB4O7:Ce,Li para aplicações dosimétricas.** São Cristóvão, SE, 2018. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.

[13] SOUZA, Luiza Freire de. **Produção e caracterização de dosímetros à base de magnésio.** São Cristóvão, SE, 2012. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2012.

[14] SOUZA, Luiza Freire de. **Produção e caracterização de compostos à base de MgB_4O_7 para aplicação em dosimetria** São Cristóvão, SE, 2016. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2016.

[15] SOUZA, Luiza Freire de; SOUZA, Divanizia N. P**RODUÇÃO DE DOSÍMETROS TERMOLUMINESCENTES À BASE DE MgB_4O_7: Dy e MgB_4O_7: Tm**. Eclética Química, v. 38, p. 101-108, 2013.

[16] JUNOT, Danilo Oliveira. **Aprimoramento de rotas e produção de dosímetros à base de $CaSO_4$ com dopagens não usuais.** São Cristóvão, SE, 2017. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017.

[17] CHAVES, Robério de Carvalho. **Desenvolvimento de um sistema dosimétrico para o controle de qualidade nos tratamentos de câncer de mama.** Rio de Janeiro, RJ, 2012. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

[18] SILVA, Anderson Manoel Bezerra da. **Produção e caracterização de compósitos de $CaSO_4$:Tb,Ag para fins dosimétricos.** São Cristóvão, SE, 2019. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

[19] BUSUOLI, G., General Characteristics of TL Materials. IN: SCHARMANN, A., OBERHOFER, M., Applied Thermoluminescence Dosimetry, Part. I, chapter 5, Italy, Commission of the European Communities by Adam Hilger ltd, Bristol, 1981.

[20] BATISTA, Bernardo José Braga. **Avaliação de dosímetros termoluminescentes para uso em radioterapia com fótons de alta energia.** São Paulo, SP, 2011. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo, SP, 2011.

[21] SOUSA CORREIA, E.; MELO DANTAS, J.; ANDRADE, J, E. **Considerações acerca dos conceitos de condutores, isolantes e semicondutores nos livros de Ensino Médio sob um olhar da teoria de bandas de energia.** Scientia Plena, v. 13, n. 1, 2017.

[22] DE SOUZA, L. F. et al. **Dosimetric characterization of MgB4O7:Ce,Li as an optically stimulated dosimeter for photon beam radiotherapy**. Perspectives in Science, v. 12, p. 100397, 2019.

[23] SOUZA, L. F. et al. **Evaluation of MgB4O7: Ce, Li and Ce-doped 80MgB2O4–20MgB4O7 as alternative OSL materials for use in quality assurance of 6 MV photon beams**. Radiation Physics and Chemistry, v. 182, p. 109355, 2021.

[24] American Association of Physicists in Medicine. **A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams**. Task Group No. 21. Med Phys 1983;10:741–71.

[25] CARVALHO, J. V. M. S.; MACEDO, L.E.; SOUZA, D. N.; SILVA, R. M. V.; CAMPOS, L. Proposta de Atualização da Versão Brasileira do Protocolo para Controle de Qualidade em Radioterapia TECDOC 1151. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 14, p. 1-7, 2020.

9. OUTRAS ATIVIDADES

Período	Atividade
01/09/2021 a 05/09/2021	Apresentação dos membros participantes do grupo de pesquisa, dos trabalhos que seriam desenvolvidos e a forma como a pesquisa seria efetuada devido às restrições causadas pela pandamia da COVID-19.
06/09/2021 a 09/01/2022	Estudo teórico de artigos, matérias, técnicas, dissertações e teses que possuiam eixo temático relacionado à dosimetria das radiações, ao composto tetraborato de magnésio, a preparação de materias sensores etc. Paralelamente, ocorria semanalmnete apresentações dos alunos do grupo de pesquisa com temas relacionados aos seus respectivos projetos.
10/01/2022 a 27/03/2022	Auxilio na produção de pastilhas de material dosimétrico de aluno da pós-graduação, sendo parte do treinamento prático de atividades laboratoriais.
28/03/2022 a 03/05/2022	V Escola de Verão em técnicas experimentais de laboratório científico – LPCM/UFS.
29/04/2022	Visita em grupo a uma unidade de saúde privada no municipio de Aracaju para conhecer procedimentos referentes à radioterapia.
04/05/2022 a 05/06/2022	Participação de reunioes, preparação de resumo expandido e de bâner para apresentação de trabalho sobre prorpiedades dosimétrica do $CaSO_4$:Mn em congresso científico.
06/06/2022 a 12/06/22	Participação do Congresso Brasiliero de Física Médica, realizado de forma presencial em Fortaleza/CE.
13/06/2022 a 15/08/2022	Participações de reuniões e montagem do relatório final do projeto.