

# Dosimetria tridimensional usando gel MAGIC com formaldeído

## Tridimensional dosimetry using MAGIC gel with formaldehyde

Juliana F. Pavoni<sup>1</sup>, Tina L. Pike<sup>2</sup>, Jessica Snow<sup>2</sup>, Larry A. DeWerd<sup>2</sup> e Oswaldo Baffa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física e Matemática da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCRP/USP) – Ribeirão Preto (SP), Brasil

<sup>2</sup>Medical Radiation Research Center – Department of Medical Physics of University of Wisconsin, Madison – United States of America (USA)

### Resumo

Este trabalho apresenta a aplicação do dosímetro gel MAGIC com formaldeído (MAGIC-f) na medida tridimensional da distribuição de dose em um planejamento de IMRT. Grande semelhança foi encontrada na distribuição de dose obtida pelo dosímetro gel e a distribuição de dose esperada pelo sistema de planejamento (TPS) em todo o volume irradiado, o que se comprovou pela sobreposição direta dessas isodoses. Dos resultados, pode-se concluir que o gel MAGIC-f pode ser aplicado satisfatoriamente para medidas tridimensionais de distribuição de dose.

**Palavras-chave:** IMRT, dosimetria gel, MAGIC, dosimetria tridimensional, IRMN, relaxometria.

### Abstract

This paper presents the application of MAGIC gel with formaldehyde (MAGIC-f) in the tridimensional dose distribution measurement of an IMRT planning. A high similarity was found between the dose distributions measured by the gel dosimeter and the dose distributions expected by the treatment planning system (TPS) in all of the irradiated volume, this was proved by the direct overlapping of these isodoses. These results show that MAGIC-f gel is feasible for tridimensional dose distribution measurements.

**Keywords:** IMRT, gel dosimetry, MAGIC, tridimensional dosimetry, MRI, relaxometry.

### Introdução

Nos últimos anos um grande avanço aconteceu nas técnicas utilizadas em radioterapia, melhorando a conformação da dose ao redor do volume alvo, o que permite a entrega de elevadas doses ao tumor com o mínimo dano ao tecido normal vizinho. Uma técnica que revolucionou este cenário foi a radioterapia com intensidade modulada de feixe (IMRT), em que além da conformação do feixe de radiação ao volume alvo, a intensidade do feixe pode variar cada região do volume irradiado.

Em conjunto à evolução das técnicas de tratamento, distribuições de doses volumétricas mais complexas passaram a ser alcançadas, com isso, surgiu a necessidade de verificação 3D destas distribuições<sup>1</sup>. No caso de tratamentos de IMRT, a verificação é ainda mais complexa pelo fato dos campos de radiação mudarem de forma e tamanho ao longo do tratamento. Os dosímetros atualmente usados para a verificação da dose são as câmaras de ionização (CI), os diodos, os dosímetros termoluminescentes

(TLD) e os filmes radiográficos. Estes dosímetros são capazes de medir a dose pontualmente ou, no caso dos filmes, em um plano. Para se obter a dose em três dimensões (3D), várias medidas ou vários dosímetros são necessários e estes procedimentos são trabalhosos, além de consumir muito tempo.

Neste contexto, os géis dosimétricos combinados com as imagens de ressonância magnética nuclear (IRMN) se apresentam como uma alternativa bastante adequada por possibilitarem a medida de complexas distribuições de dose em três dimensões<sup>2,3,4</sup>.

O princípio básico e fundamental da dosimetria com géis poliméricos é que a radiação ao interagir no gel provoca a radiólise da água, liberando radicais muito energéticos que provocam a polimerização dos monômeros suspensos na gelatina. Dessa forma cadeias longas de polímeros são formadas e ficam espacialmente retidas na matriz gelatinosa nos locais de interação da radiação, permitindo que a distribuição de dose seja medida nos dosímetros por diversas técnicas, sendo a relaxometria

em IRMN a que apresenta os melhores resultados. Na relaxometria por IRMN a presença dos polímeros altera a mobilidade das moléculas de água ao seu redor, o que provoca uma alteração na taxa de relaxação transversal (R2) proporcional à dose depositada.

Este sistema dosimétrico apresenta diversas vantagens em relação aos sistemas usuais, eles independem da direção do feixe de radiação, da qualidade e da taxa de dose em feixes clínicos convencionais, além de medirem a distribuição de dose de forma verdadeiramente tridimensional e em uma única medida. Os objetos simuladores são preenchidos com gel e podem ser confeccionados em praticamente todas as formas. Por ser tecido equivalente<sup>5</sup> não há necessidade do uso de correções de perturbação. A sua resolução espacial depende da técnica usada para aquisição da IRMN, podendo ser da ordem de milímetros<sup>6</sup>. Este sistema é capaz de integrar a dose absorvida no tempo e no espaço, o que é de grande importância para verificação da dose em IMRT.

O gel MAGIC foi o primeiro gel polimérico proposto na literatura a ser confeccionado em atmosfera normal, ou seja, na presença de oxigênio, todos seus antecessores tinham seu mecanismo de resposta à irradiação suprimido na presença de oxigênio, o que exigia a sua fabricação em atmosferas inertes e dificultava este processo.

Recentemente o ponto de fusão do gel MAGIC foi aumentado para aproximadamente 60°C através da adição de formaldeído à sua formulação. Paralelamente, alcançou-se um aumento na sensibilidade deste dosímetro<sup>7,8</sup>. Esta nova formulação do dosímetro já foi aplicada à dosimetria de fontes de braquiterapia<sup>9</sup> e sua completa caracterização dosimétrica foi apresentada em outro trabalho nesta mesma conferência<sup>10</sup>.

Neste trabalho avaliamos o desempenho do gel MAGIC-f na medida 3D de distribuições de dose em um planejamento de IMRT. A resposta do gel foi comparada ao esperado pelo sistema de planejamento (TPS).

## Material e métodos

### Preparo do dosímetro gel MAGIC-f

A composição do dosímetro está indicada na tabela 1. O preparo começa com a adição da gelatina à água em temperatura ambiente, isto é feito em constante agitação e

**Tabela 1.** Concentração em massa de cada componente do gel MAGIC com formaldeído

Componente	Concentração em massa (%)
Água Mili-Q	82,31
Gelatina bovina – 250Bloom (Gelita®)	8,33
Ácido metacrílico 99.5% (Acros®)	5,99
Formaldeído (Merck®)	3,32
Ácido ascórbico (Vetec®)	0,03
Sulfato de cobre (Vetec®)	0,02

quando a gelatina está completamente dissolvida, a solução é aquecida até 45°C e permanece nessa temperatura até o derretimento da gelatina. A solução é então resfriada até 35°C e o ácido ascórbico, o sulfato de cobre e o formaldeído são adicionados. Após aproximadamente 5 minutos o ácido metacrílico é finalmente adicionado e a solução permanece por aproximadamente mais 5 minutos em agitação antes de ser acondicionada.

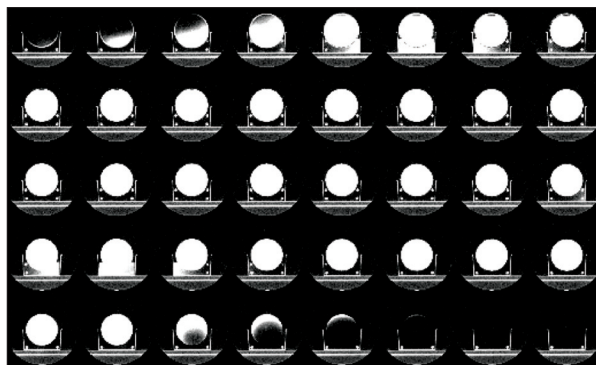
O acondicionamento do dosímetro foi feito em recipientes cilíndricos com um diâmetro de aproximadamente 17cm e um volume de 2,71. Foram preenchidos dois objetos simuladores idênticos, um para irradiação e outro que não foi irradiado e foi usado para mapeamento do campo magnético do tomógrafo de RMN para correção dos valores medidos de R2 devido às inhomogeneidades de campo magnético.

### Planejamento dos tratamentos de IMRT

O primeiro passo para o planejamento dos tratamentos foi a aquisição de uma série de imagens de tomografia computadorizada (TC) do objeto simulador usado (Figura 1). Durante a aquisição das imagens de TC, foram feitas marcas de referências no objeto simulador seguindo os lasers de orientação da sala para o posterior reposicionamento dos objetos simuladores durante a irradiação e, sobre o isocentro do tratamento, foram colocados marcadores fiduciais para posterior localização deste plano no TPS.

O planejamento foi realizado no TPS *Pinnacle v8.0d p1*. Primeiramente as imagens de TC do objeto simulador foram importadas e em seguida, as estruturas de interesse para o planejamento foram delineadas. Foram delineados quatro órgãos de risco ao redor do volume a ser irradiado, além do contorno do objeto simulador (Figura 2). Todas as estruturas foram copiadas para as 10 imagens de TC da região central do objeto simulador para criarem o volume tridimensional a ser planejado.

A próxima etapa foi a escolha dos campos de irradiação a serem planejados, foram utilizados 6 campos angulados em 300°, 260°, 220°, 140°, 100° e 60°. O planejamento foi otimizado até que o PTV recebesse a dose desejada (10Gy). Para testar a eficiência do dosímetro gel, um planejamento com regiões apresentando grandes gradientes de dose foi escolhido.



**Figura 1.** Série de imagens de TC adquiridas do objeto simulador.

### Irradiações

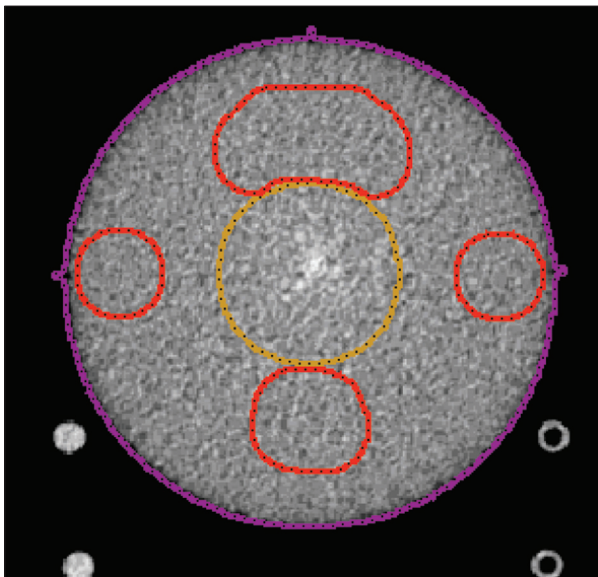
O dosímetro foi irradiado com 10Gy em um acelerador linear CLINAC 600C (Varian) seguindo o planejamento realizado, esta dose foi escolhida para acoplar a faixa de dose depositada no gel com a região de maior sensibilidade de resposta. Após a irradiação, o dosímetro foi levado para a sala do tomógrafo de RMN, onde permaneceram por 48 horas antes da aquisição das imagens.

### Aquisição das IRMN

Um tomógrafo de 1.5T (Siemens, Magnetom Vision) foi usado. As imagens dos dosímetros foram adquiridas após o equilíbrio térmico entre a sala do tomógrafo de ressonância magnética e os géis, evitando assim distorções nas IRMN e erros na avaliação da dose depositada <sup>11</sup>. Além disso, este tempo antes da aquisição das imagens permite que as reações de polimerização se completem <sup>12</sup>.

Foram adquiridas IRMN usando seqüência multi spin eco com tempos ao eco (TEs) de 20 e 100ms e tempo de repetição de 4000ms seguindo os mesmos parâmetros de aquisição das imagens de TC para que a comparação entre os resultados do gel e do TPS fosse feita corte a corte. As imagens foram adquiridas com o objeto simulador posicionado sobre o suporte usado irradiação, na bobina de quadratura de cabeça e alinhado seguindo os lasers de posicionamento do tomógrafo. Além disso, o plano do isocentro de tratamento foi demarcado com 3 cápsulas de vitamina E para que pudesse ser visualizado nas IRMN e auxiliar no co-registro dessas imagens com as imagens exportadas do TPS para análise do desempenho do dosímetro gel.

As IRMN dos 2 objetos simuladores foram adquiridas. Os mapas de R2 proporcionais à dose foram calculados



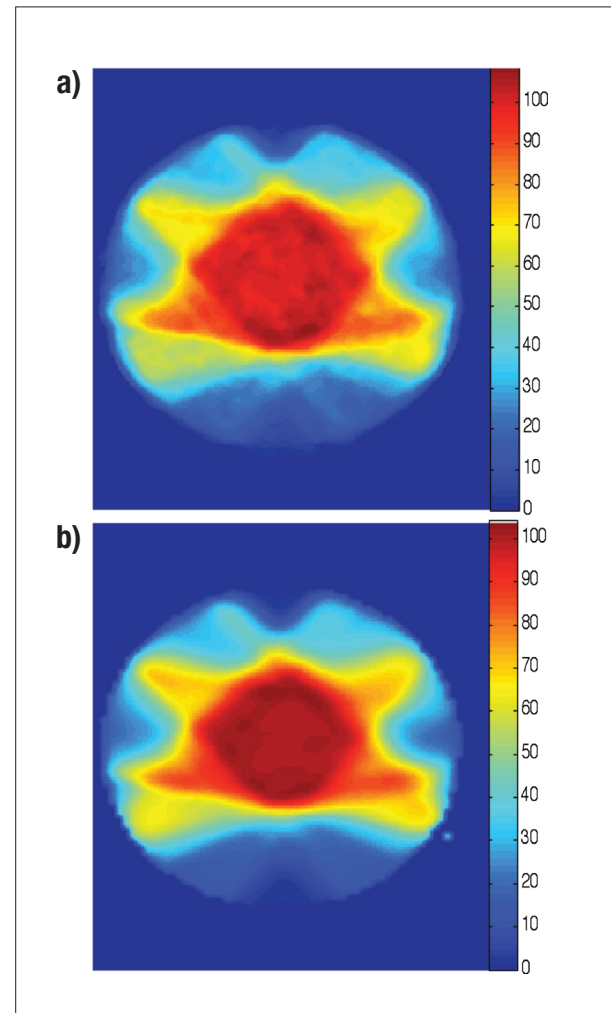
**Figura 2.** Imagem de TC no isocentro do planejamento com todas as estruturas delineadas: os órgãos de risco (vermelho), o PTV (alaranjado) e o contorno do objeto simulador (rosa).

para todas as IRMN adquiridas com a eliminação das influências provocadas pelas inhomogeneidades de campo magnético do tomógrafo.

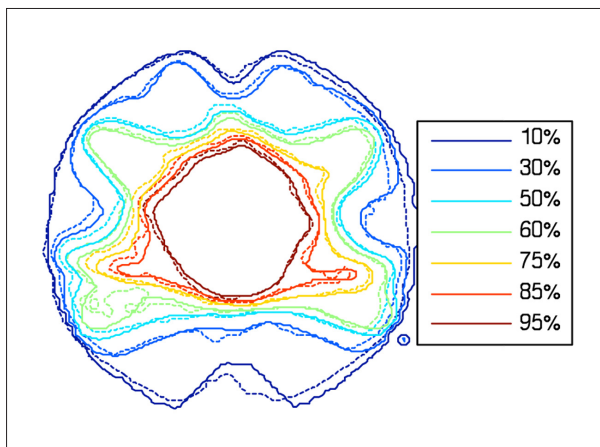
### Resultados

As distribuições de dose medidas com o dosímetro gel em todas as IRMN adquiridas foram comparadas às distribuições de dose esperadas pelo TPS, esta comparação foi feita sempre com as distribuições de dose normalizadas pela dose no isocentro de tratamento. Para todas as imagens, os resultados obtidos com o dosímetro gel se assemelham aos resultados esperados pelo TPS, a comparação entre as duas distribuições de dose no plano do isocentro de tratamento ilustra esta semelhança (Figura 3).

A semelhança entre os resultados pode ser comprovada quantitativamente pela sobreposição direta das isodoses obtidas pelo gel e pelo TPS (Figura 4).



**Figura 3.** (a) Imagem com a distribuição de dose medida com o gel MAGIC com formaldeído para o isocentro no plano de IMRT do AL. (b) Distribuição de dose esperada pelo TPS. AS duas distribuições foram normalizadas para o isocentro de tratamento.



**Figura 4.** Sobreposição das isodoses medidas com o dosímetro gel (linhas pontilhadas) e das isodoses exportadas pelo TPS (linhas contínuas) para o isocentro de tratamento.

## Discussão e conclusões

A verificação tridimensional da distribuição de dose em um tratamento de IMRT foi realizada com o dosímetro gel MAGIC-f. Para o planejamento avaliado foi encontrada uma grande semelhança as isodoses obtidas com o gel e esperadas pelo TPS, o que foi comprovado pela sobreposição direta dessas isodoses.

Neste estudo usamos os dados fornecidos pelo TPS como dados de referência para validação de nossas medidas por falta de outro dosímetro capaz de medir toda a distribuição de dose tridimensionalmente. No entanto, após a validação dos resultados dessa metodologia de análise e funcionamento do dosímetro gel, pode-se utilizá-lo para verificar as distribuições de dose calculadas pelo TPS. Além disso, o caráter tridimensional da dosimetria gel a faz muito útil para controle de qualidade após a implementação de novos acessórios à rotina e para investigações dosimétricas em configurações extremas que exigem alta performance dos equipamentos.

Por tudo o que foi apresentado aqui, podemos concluir que a aplicação do dosímetro gel MAGIC-f é viável para verificação de tratamentos de IMRT, com a grande vantagem de apresentar uma medida integrada e tridimensional de todos os feixes de tratamento. Concluímos também que a modificação realizada no gel MAGIC resultou em um

dosímetro de fácil manuseio em temperaturas ambientes e que pode ser aplicado para medidas tridimensionais.

## Agradecimentos

Agradecemos a CAPES, FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro.

## Referências

1. De Wagter C. The ideal dosimeter for intensity modulated radiation therapy (IMRT): What is required?. Proceedings of the Third International Conference on Radiotherapy gel dosimetry. 2004:5-9.
2. De Deene Y, De Wagter C, Van Duyse B, Derycke S, De Neve W, Achten E. Three-dimensional dosimetry using polymer gel and magnetic resonance imaging applied to the verification of conformal radiation therapy in head-and-neck cancer. *Radiother Oncol.* 1998;48):283-91
3. Low DA, Dempsey JF, Venkatesan R, Mutic S, Markman J, Mark Haacke E, et al. Evaluation of polymer gels and MRI as a 3-D dosimeter for intensity-modulated radiation therapy. *Med Phys.* 1999;26(8):1542-51.
4. Sandilos P, Angelopoulos A, Baras P, Dardoufas K, Karaiskos P, Kipouros P, et al. Dose verification in clinical IMRT prostate incidents. *Int J Radiat Oncol Biol.* 2004;59(5):1540-7.
5. Sellakumar P, Samuel EJJ, Supe SS. Water equivalence of polymer gel dosimeters. *Radiat Phys Chem.* 2007;76:1108-15.
6. Ertl A, Berg A, Zehetmayer M, Frigo P. 'High-resolution dose profile studies based on MR imaging with polymer BANG(TM) gels in stereotactic radiation techniques'. *Magn Reson Imaging.* 2000;18(3):343-9.
7. Fernandes JP, Pastorello BF, de Araujo DB, Baffa O. Formaldehyde increases MAGIC gel dosimeter melting point and sensitivity. *Phys Med Biol.* 2008;53(4):N53-8.
8. Fernandes JP, Pastorello BF, de Araujo DB, Baffa O. Formaldehyde increases MAGIC gel dosimeter melting point and sensitivity. *J Phys.: Conf Ser.* 2009;164(1):012004.
9. Marques T, Fernandes JP, Barbi G, Nicolucci P, Baffa O. MAGIC with formaldehyde applied to dosimetry of HDR Brachytherapy source. *J Phys.: Conf Ser.* 2009;164(1):012067.
10. Pavoni JF, Baffa O. Caracterização dosimétrica do gel MAGIC com formaldeído. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Física Médica.* São Paulo, 2009.
11. De Deene Y, Vergote K, Claeys C, De Wagter C. The fundamental radiation properties of normoxic polymer gel dosimeters: a comparison between a methacrylic acid based gel and acrylamide based gels. *Phys Med Biol.* 2006;51(3): 653-73.
12. De Deene Y, Hanselaer P, De Wagter C, Achten E, De Neve W. An investigation of the chemical stability of a monomer/polymer gel dosimeter. *Phys Med Biol.* 2000;45(4):859-78.