**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO**

LEANDRO FEDERICHE BORGES

**Validação da metodologia de controle da qualidade *in vivo* com auxílio de filme radiocrômico, aplicada à
teleterapia**

Ribeirão Preto

2016

LEANDRO FEDERICHE BORGES

**Validação da metodologia de controle da
qualidade *in vivo* com auxílio de filme radiocrômico,
aplicada à teleterapia**

Dissertação apresentada à
Universidade de São Paulo, para a
obtenção de Título de Mestre – na Área
de Física Médica, Opção: Radioterapia e
Física Médica; obtido no Programa
Mestrado Profissional em Ciências das
Imagens e Física Médica

Orientador: Prof. Dr. Harley
Francisco de Oliveira

Ribeirão Preto

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo da Publicação

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

BORGES, Leandro Federiche

Validação da metodologia de controle da qualidade in vivo com auxílio de filme radiocrômico, aplicados à teleterapia, 2016

21f.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo. Departamento de Clínica Médica - Radioterapia.

1. Radioterapia 2. Dosimetria 3. filme radiocrômico 4. IMRT I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo.

Comissão Julgadora:

Banca examinadora:

Prof. Dr.

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Profa. Dra.

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.

Julgamento: _____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por eu ter saúde e capacidade para desenvolver meu trabalho da melhor maneira possível.

Agradeço aos meus pais por toda a dedicação à minha educação e caráter.

Agradeço a minha esposa Dirce por ser uma eterna companheira e sempre estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço ao físico Leonardo, que além de amigo, incentivou e proporcionou a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço aos físicos do serviço, Gustavo e Edenyse, no qual formamos uma equipe capaz de desenvolver nosso trabalho.

Agradeço aos técnicos da máquina pela preocupação em avisar a hora dos tratamentos de radioterapia.

Agradeço a todos os médicos do serviço de radioterapia pela marcação dos volumes alvos e estruturas críticas dos pacientes para posterior execução dos planejamentos.

Agradeço ao Alexandre residente de física médica pela ajuda na compilação e análise dos dados.

Agradeço a Juliana física do serviço, pela contribuição nos detalhes e dicas no trabalho.

Agradeço ao Dr. Harley que me orientou no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

BORGES, L. F. Validação da metodologia de controle da qualidade *in vivo* com auxílio de filme radiocrômico, aplicados à teleterapia, (Dissertação) Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2016. 21f.

A aferição da dose por técnica de dosimetria *in vivo* garante que a dose calculada pelo sistema de planejamento seja àquela entregue pelo acelerador linear (AL) durante a radioterapia, garantindo assim os processos de controle de qualidade. O objetivo deste trabalho foi validar a técnica de controle de qualidade em IMRT utilizando filme radiocrômico. Foram analisados 47 planejamentos de IMRT de três regiões: próstata, cabeça e pescoço e crânio. Para cada planejamento utilizou-se um filme radiocrômico EBT2 acoplado ao cabeçote do acelerador linear através de uma bandeja preparada para o filme. A leitura e posterior análise da dose pontual e distribuição de dose após 24 horas, foi realizada em software desenvolvido em MatLab. O índice de aprovação foi de 92%. Quatro planos foram reprovados em pelo menos 1 critério, sendo 3 de cabeça e pescoço e 1 de crânio. Os resultados da dosimetria *in vivo* com filme radiocrômico foi validada, podendo ser considerada uma técnica confiável e prática na aferição da dose em radioterapia.

Palavras chave: Radioterapia, Dosimetria, Filme radiocrômico, IMRT.

ABSTRACT

BORGES, L. F. Validation of *in vivo* quality control methods with the aid of radiochromic film, applied to teletherapy, (Thesis) Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2016. 21f.

The measurement of dose, using the *in vivo* technique dosimetry, ensures that the dose calculated by the planning system is exactly the same as the dose delivered in linear accelerator, this ensures quality assurance in radiotherapy. The objective of this study was to evaluate the quality control technique of IMRT treatments using radiochromic film. We analyzed 47 IMRT plans, which divided into three regions: Prostate, head and neck, and skull. For each plan, we used a radiochromic film coupled in linear accelerator head by a tray prepared to film placement. The film was stored for 24 hours after irradiation. Reading and analysis of point dose and 2D dose distribution were performed after this period. All plans analyzed, the approval rating was 92%, and the others were flunked at least one criterion. Based on the results obtained *in vivo* dosimetry with radiochromic film was validated. This technique is reliable and practical to measure the dose delivered by linear accelerator.

Keywords: Radiotherapy, Dosimetry, Radiochromic film, IMRT

LISTA DE ABREVIATÖES

IMRT – Radioterapia de intensidade modulada.

LINAC - *Linear Particle Accelerator*.

2D – Duas Dimensões.

AL – Acelerador Linear

CQ – Controle de qualidade

FIGURAS E ANEXOS

Figura 1: Índice de aprovação e reprovação dos planejamentos de cabeça e pescoço.....	7
Figura 2: Índice de aprovação dos planejamentos de próstata.	8
Figura 3: Índice de aprovação e reprovação dos planejamentos de crânio.....	8
Figura 4: Gráfico que representa a percentagem de casos aprovados e desaprovados na dosimetria	9

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de Abreviações.....	vi
Figuras e Anexos	vii
Índice	viii
1. Introdução.....	1
2. Materiais e Métodos	3
3. Resultados e Discussão.	4
4. Conclusão.....	10
5. Referências Bibliográficas	11

1. INTRODUÇÃO

Diversas técnicas complexas de radioterapia são atualmente empregadas e resultam em benefício significativo nos tratamentos dos pacientes oncológicos. Destaca-se a radioterapia com intensidade modulada (IMRT, do inglês *Intensity Modulated Radiation Therapy* (Khan, 2010). O desafio que nos apresenta durante a implantação do IMRT é adequar as práticas a partir de um programa preciso de controle da qualidade.

Novos ferramentais e metodologias de avaliação da qualidade buscam minimizar acidentes em radioterapia (AAPM-TG24 e AAPM-TG22, 1984; IAEA/TECDOC 1151, 2000). Os principais testes avaliam apenas a dose pontual e a distribuição volumétrica de dose ao longo do feixe de radiação. A dose pontual é alcançada através de uma dosimetria de referência. A distribuição volumétrica da dose deve ser analisada através da função Gama (Low *et al.*, 1998), a qual compara a fluência e dose dos dados coletados no acelerador linear (AL) com os dados oferecidos pelo sistema de planejamento (TPS). Para aferição da dosimetria de referência e da fluência da radiação são necessários dosímetros, que são instrumentos que detectem a radiação. A câmara de ionização e os filmes dosimétricos são alguns dos mais usados.

O filme radiocrômico possui equivalência de sua densidade com a água, a alta resolução espacial, o intervalo de resposta de dose, a baixa dependência energética, insensibilidade à luz visível e a não necessidade de revelação (Butson, Cheung e Yu, 2001). Além disso, o filme radiocrômico facilita a aplicação do controle da qualidade (CQ) individual *in vivo*, ou seja, a verificação da fluência e dose no momento do tratamento (Costa *et al.*, 2010; Noel *et al.*, 1995; Tung *et al.*, 2004; Voordeckers *et al.*, 1998).

Em radioterapia externa, ou teleterapia, a dosimetria *in vivo* consiste na colocação de um dosímetro na pele do paciente na entrada do feixe (Mohammadkarim *et al.*, 2013). Dependendo da técnica utilizada, como, em radiocirurgia ou em radioterapia estereotáxica, por exemplo, nas quais existem vários campos não coplanares com dimensões reduzidas, a colocação dos dosímetros na pele do paciente dificulta o procedimento de aferição. Em IMRT, devido a fluência de dose dos campos, o uso dos dosímetros aplicados na pele pode

não ter a acurácia desejadas, pois a irregularidade da pele dificulta esta análise (Mijnheer, 2008).

Recentemente, diversos autores vêm desenvolvendo dispositivos acoplados ao cabeçote dos AL a fim de realizar o CQ (Amaral *et al.*, 2015). A principal vantagem de acoplar o dispositivo no cabeçote do AL é manter sempre o feixe perpendicular ao volume sensível, onde o deslocamento angular do gantry não interfere na análise. Outra vantagem importante é que dependendo do detector, neste caso o filme radiocrômico, esta metodologia pode ser utilizada também para verificações *in vivo* (Poppe *et al.*, 2010, Myers *et al.*, 2013, Page *et al.*, 2013).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi validar da técnica de controle de qualidade *in vivo* com o auxílio de filme radiocrômico aplicada a teleterapia, principalmente a campos complexos de IMRT.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho 47 planejamentos de IMRT com feixe de fótons de 6MV do serviço de radioterapia do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto foram verificados com a técnica de dosimetria *in vivo* apresentada por Amaral (Amaral *et al.*, 2015). Os planejamentos de IMRT analisados abrangeram as três principais regiões de tratamento com IMRT do serviço: próstata (n=24), cabeça e pescoço (n=8) e crânio (n=15).

O CQ individual *in vivo* foi realizado com segmentos de filmes radiocrômicos EBT2 fixados a uma bandeja de acrílico, com espessura de 1 mm, acoplada ao cabeçote do AL (Oncor Impresor, Siemens, Alemanha). Este filme foi irradiado na primeira aplicação do tratamento de radioterapia. A distribuição de dose obtida *in vivo* foi quantificada em um scanner de alta resolução (Diagnostic PRO advantage, Vidar, EUA) 24 horas após a irradiação.

As distribuições de dose de referência foram obtidas por planos de tratamento aprovados em TPS (XiO, V4.02.3, Elekta, Suécia) para a tomografia computadorizada de um objeto simulador de água sólida com geometria similar a irradiação *in vivo*, na qual a dose é recalculada com todos os campos de tratamento incidindo perpendicularmente ao plano, semelhante a posição durante a irradiação em pacientes.

As duas distribuições de dose foram comparadas através da função gamma em um software desenvolvido em MatLab, com critério de aceitação para variação de distância de 3 mm e 3% de variação na dose. Para a aprovação na comparação da distribuição de dose, pelo menos 95% dos pontos devem ser aprovados na análise Gamma. Além disso, nestas mesmas distribuições de dose, outro critério de variação pontual absoluta da dose foi usado para comparação, sendo que a diferença de dose pontual deveria ser menor que 5% para aprovação. Sendo assim, para ser considerado aprovado no controle de qualidade, o planejamento em questão deveria ser aprovado nos dois critérios de análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os resultados foram classificados como aprovados e não aprovados; os aprovados são os casos que passaram nos dois critérios e os reprovados foram os casos que não passaram em pelo menos um dos critérios.

Nas tabelas abaixo estão os valores de dose pontual do TPS, a medida pelo filme, a diferença percentual entre estas e o percentual de pontos aceitos da função gama.

Tabela 1: Tabela que indica os valores das doses do sistema de planejamento e medida, a diferença percentual e o número de pontos aprovados pela função Gama. Região de tratamento (cabeça e pescoço)

Região de tratamento (cabeça e pescoço)				
	FILME			
	Dose Xio	Dose medida	Diferença %	Gama %
planejamento 40	190,6	196,3	3,0	95,2
planejamento 41	217,0	227,7	4,9	99,3
planejamento 42	211,9	210,3	0,8	99,3
planejamento 43	209,0	219,0	4,8	99,7
planejamento 44	180,0	189,0	5,0	98,6
		Média	3,7	98,4
		Desvio Padrão	1,8	1,8
Aprovações (%)			62,5	
Reprovados em pelo menos 1 critério				
	FILME			
	Dose Xio	Dose medida	Diferença %	Gama %
planejamento 45	184,1	206,1	11,9	95,0
planejamento 46	257,1	281,0	9,3	95,4
planejamento 47	232,3	244,0	5,0	94,1
		Média	8,7	95,0
		Desvio Padrão	3,4	0,67
Reprovações (%)			37,5	

Tabela 2: Tabela que indica os valores das doses do sistema de planejamento e medida, a diferença percentual e o número de pontos aprovados pela função Gama. Região de tratamento (Próstata)

Região de tratamento (Próstata)				
	FILME			
	Dose Xio	Dose medida	Diferença %	Gama %
planejamento 1	347,0	355,0	2,3	97,5
planejamento 2	267,2	278,1	4,1	98,6
planejamento 3	369,8	375,5	1,5	96,3
planejamento 4	306,2	305,6	0,2	98,5
planejamento 5	273,8	282,1	3,0	97,6
planejamento 6	327,1	325,1	0,6	98,7
planejamento 7	347,1	356,4	2,7	98,6
planejamento 8	363,9	365,8	0,5	96,8
planejamento 9	308,1	322,1	4,5	98,2
planejamento 10	340,6	353,0	3,6	99,2
planejamento 11	366,5	365,2	0,4	98,3
planejamento 12	276,6	287,3	3,9	98,0
planejamento 13	331,3	337,3	1,8	99,3
planejamento 14	281,3	295,3	5,0	98,1
planejamento 15	347,3	339,2	2,3	95,0
planejamento 16	360,0	343,8	4,5	95,0
planejamento 17	363,3	365,3	0,6	96,0
planejamento 18	309,2	322,7	4,4	95,1
planejamento 19	316,8	331,0	4,5	95,0
planejamento 20	254,0	266,0	4,7	96,9
planejamento 21	253,8	266,2	4,9	97,0
planejamento 22	292,4	306,1	4,7	97,9
planejamento 23	310,2	325,2	4,8	95,0
planejamento 24	298,3	312,2	4,7	98,6
		Média	3,1	97,3
		Desvio padrão	1,7	1,57
			Aprovações (%)	100

Tabela 3: Tabela que indica os valores das doses do sistema de planejamento e medida, a diferença percentual e o número de pontos aprovados pela função Gama. Região de tratamento (Crânio)

Região de tratamento (Crânio)				
	FILME			
	Dose Xio	Dose medida	Diferença %	Gama %
planejamento 25	186,0	180,7	2,8	98,9
planejamento 26	210,0	219,0	4,3	98,6
planejamento 27	209,0	202,5	3,1	99,5
planejamento 28	218,0	225,1	3,3	98,5
planejamento 29	208,5	214,2	2,7	99,5
planejamento 30	208,7	205,0	1,8	98,9
planejamento 31	208,7	212,4	1,8	99,8
planejamento 32	210,8	210,5	0,1	97,3
planejamento 33	207,6	206,5	0,5	95,3
planejamento 34	171,4	177,2	3,4	99,6
planejamento 35	221,0	210,0	5,0	97,1
planejamento 36	212,6	204,0	4,0	95,0
planejamento 37	202,2	212,1	4,9	95,0
planejamento 38	209,1	219,2	4,8	99,7
		Média	3,0	98,1
		Desvio padrão	1,5	1,8
Aprovações (%)			93,3	
Reprovados em pelo menos 1 critério				
	FILME			
	Dose Xio	Dose medida	Diferença %	Gama %
planejamento 39	202,2	218,3	8,0	96,9
		Média	8,0	96,9
Reprovações (%)			7	

Considerando-se os CQ aprovados, nas tabelas 2 e 3 observou-se que as diferenças médias entre as doses pontuais entre o TPS e a dose medida foram de $3,1 \pm 1,7\%$ e $3,0 \pm 1,5\%$, o que está dentro do padrão aceito neste estudo. Já na tabela 1, essa diferença foi de $3,7 \pm 1,8\%$, o que representa um valor um pouco maior para os casos de cabeça e pescoço em relação às outras regiões anatômicas, isso pode se justificar pela complexidade do planejamento onde muitas vezes se exige mais do sistema de planejamento para alcançar os objetivos de distribuição da dose.

Analisando a média da porcentagem de pontos aceitos da função Gama, para as três regiões anatômicas estudadas verificou-se o valor de $98 \pm 1,7\%$. Considerando que o critério de aprovação da função Gama foi estabelecido em 95%, este resultado está acima do valor limite e não se observou o mesmo padrão de menor aprovação e maior variação nos resultados para cabeça e pescoço em relação as outras regiões.

Os gráficos abaixo representam o número de planejamentos aprovados para cada região diferente de tratamento.

Figura 1: Índice de aprovação e reprovação dos planejamentos de cabeça e pescoço.

Figura 2: Índice de aprovação dos planejamentos de próstata.

Figura 3: Índice de aprovação e reprovação dos planejamentos de crânio.

Fazendo uma análise de todos os planejamentos das três regiões diferentes de tratamento, dos 47 planejamentos analisados 4 não foram aprovados em pelo menos um critério e o resultado geral pode ser representado no gráfico da Figura 44.

Figura 4: Gráfico que representa a percentagem de casos aprovados e desaprovados na dosimetria

4. CONCLUSÃO

O método de dosimetria *in vivo* com a utilização de filme radiocrômico acoplado ao cabeçote do AL é uma forma barata e eficiente de aferição de dose para os tratamentos com a técnica de IMRT. Esta aferição garante que a dose calculada pelo TPS seja referência à dose entregue pelo AL durante a aplicação da radioterapia, garantindo assim a qualidade no processo de entrega de dose.

Tomando como base os resultados obtidos, a dosimetria *in vivo* com filme radiocrômico foi validada, mostrando-se uma técnica confiável e prática na aferição da dose em radioterapia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAPM RADIATION THERAPY COMMITTEE. TASK GROUP 24; AAPM RADIATION THERAPY COMMITTEE. TASK GROUP 22. **Physical aspects of quality assurance in radiation therapy**. New York, NY: Published for the American Association of Physicists in Medicine by the American Institute of Physics, 1984.

AMARAL, L. L. DO *et al.* A new transmission methodology for quality assurance in radiotherapy based on radiochromic film measurements. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 16, n. 5, 8 set. 2015.

BUTSON, M. J.; CHEUNG, T.; YU, P. K. Radiochromic film dosimetry in water phantoms. **Phys Med Biol**, v. 46, p. N27–31, jan. 2001.

COSTA, A. M. *et al.* In vivo dosimetry with thermoluminescent dosimeters in external photon beam radiotherapy. **Appl Radiat Isot**, v. 68, p. 760–2, maio 2010.
EMICO OKUNO. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Habra, 1982.

IAEA/TECDOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade. *In*: Rio de Janeiro: INCA, 2000. .
KHAN, F. M. **The physics of radiation therapy**. 4th. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.

LOW, D. A. *et al.* A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. **Medical Physics**, v. 25, n. 5, p. 656–661, 1 maio 1998.

MIJNHEER, B. State of the art of in vivo dosimetry. **Radiation protection dosimetry**, v. 131, n. 1, p. 117–22, jan. 2008.

MOHAMMADKARIM, A. *et al.* A method to improve the accuracy of diode in vivo dosimetry for external megavoltage photon beams filtered by wedges. **Journal of Theoretical and Applied Physics**, v. 7, n. 1, p. 13, 2013.

MYERS, P. *et al.* VMAT monthly QA using two techniques: 2D ion chamber array with an isocentric gantry mount and an in vivo dosimetric device attached to gantry. **Journal of Radiotherapy in Practice**, p. 1–7, 22 abr. 2013.

NOEL, A. *et al.* Detection of errors in individual patients in radiotherapy by systematic in vivo dosimetry. **Radiother Oncol**, v. 34, p. 144–51, fev. 1995.

PAGE, R. F. *et al.* Towards using a Monolithic Active Pixel Sensor for in vivo beam monitoring of Intensity Modulated Radiotherapy. **Nuclear Instruments and Methods**

in **Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, p. 1–4, jun. 2013.

POPPE, B. *et al.* Clinical performance of a transmission detector array for the permanent supervision of IMRT deliveries. **Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology**, v. 95, n. 2, p. 158–65, maio 2010.

TUNG, C. J. *et al.* In vivo dosimetry for external photon treatments of head and neck cancers by diodes and TLDS. **Radiat Prot Dosimetry**, v. 111, p. 45–50, 2004.

VOORDECKERS, M. *et al.* The implementation of in vivo dosimetry in a small radiotherapy department. **Radiother Oncol**, v. 47, p. 45–8, abr. 1998.