

# Resumo

## Qualidade e Proteção Radiológica

Dalila Mendonça

### 11. Qualidade

#### Controle de Qualidade dos Equipamentos

- De acordo com o TG-142 (*“Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators.”*) Os Controles de Qualidade (QA) do Acelerador Linear (Linac) requer procedimentos com frequência diária, mensal, anual e sempre for feito algum reparo ou alteração no linac que possa afetar alguma de suas características ou função.
- A calibração absoluta do output de um linac, define a relação entre a dose de radiação depositada no tecido e o output da máquina, medido em unidades monitoras (MU's). O processo de calibração é realizado na água e conta com dois protocolos para sua utilização, o TG-51 da AAPM (*“TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams”*) e o TRS-398 da IAEA (*“IAEA TRS-398. Absorbed Dose Determination in. External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry.”*). Ambos protocolos utilizam câmaras de ionização e eletrômetros para realizar suas medidas, que foram calibrados em um laboratório credenciado utilizando um feixe de  $^{60}\text{Co}$ , sendo necessário o usuário corrigir o fator de calibração para a qualidade do feixe que está sendo calibrado, através do fator de correção para a qualidade do feixe, ( $\text{TG-51} = K_Q$ ;  $\text{TRS-398} = K_{Q,Q_0}$ ).
- De acordo com o TG-142, o procedimento de calibração do output anual do acelerador para os feixes de fótons e elétrons deve ser realizado por um físico médico qualificado e a dose absoluta na água de acordo com o protocolo utilizado deve estar dentro de 1% do output, normalmente definida em termos de cGy/MU; A verificação mensal deve estar dentro de 2%; A verificação diária deve estar dentro de 3%.
- As verificações de constância da simetria e planura dos feixes de fótons e elétrons no QA mensal devem estar dentro de 1% do baseline. No procedimento anual é necessária a mesma tolerância de 1%, porém devem ser verificadas uma variedade de tamanhos de campo. A tolerância diária é de 3% para os feixes de fótons, e para a frequência semanal dos feixes de elétrons (que não precisam ser testados diariamente).
- A exatidão dos indicadores da posição da mesa de tratamento é muito importante devido ao posicionamento automatizado controlado pelos sistemas de IGRT. A precisão nos indicadores da posição da mesa deve ser verificada mensalmente e estar dentro de:
  - ▶ 2 mm/1° para máquinas que só realizam tratamentos convencionais (2D, 3D e IMRT); e
  - ▶ 1mm/0.5° para aceleradores que realizam SBRT e SRS.

- De acordo com o TG-142, os tamanhos de campo definidos pela luz de campo devem estar dentro de 1 mm ou 1% por lado do campo para os jaws assimétricos modernos.
- De acordo com o TG-51, A energia de cada feixe de elétrons deve ser verificada mensalmente e anualmente.
  - ▶ A verificação mensal é feita através da medida da dose em duas profundidades diferentes para verificar a PDP naquele ponto; esta verificação deve concordar em 2% ou 2 mm com o esperado;
  - ▶ A verificação anual requer as medidas do valor para o R50e devem estar dentro de 1 mm. O R50 é definido como a profundidade com o qual a PDP dos elétrons é de 50% do seu valor máximo.
- Algumas tolerâncias definidas no TG-142 são diferentes dependendo da técnica utilizada no acelerador, sendo elas:

Procedimento	Tolerância Convencional	Tolerância SRS/SBI
Linearidade da MU	$\pm 2\% \geq 5\text{MU}$	$\pm 2\% \geq 5\text{MU}$ ; e $\pm 5\%$ (2 -
Coincidência do Iso Mecânico e Radioativo	$\pm 2\text{mm}$	$\pm 1\text{ mm}$
Lasers	1.5 mm - 2.0 mm	1 mm
Indicador de tamanho do colimador	2 mm	1 mm
Posição da mesa	2 mm/1°	1 mm/0.5°
Precisão de imagem	$\leq 2\text{ mm}$	$\geq 1\text{ mm}$

- Os níveis de output diário tem uma tolerância de 3%; em uma medida de output que exceda o nível de forma que fique entre 3% e 5%, os tratamentos poderão continuar a critério do Físico Médico Responsável; Caso a medida exceda a tolerância de 5%, os tratamentos deverão ser interrompidos até que o físico médico determine e corrija o motivo de ter ocorrido essa discrepância.
- Segundo o TG-142, os testes do MLC possuem frequência diária, semanal e mensal.
- A tolerância para a repetibilidade do posicionamento da lâmina é de  $\pm 1\text{mm}$ . O teste é normalmente realizado utilizando um padrão “picket-fence”, como mostra a figura abaixo. Este teste irradia múltiplas frestas formadas pelo MLC que não devem estar sobrepostas ou subpostas se as lâminas do MLC estiverem se movimentando corretamente.



- Devido ao movimento contínuo do Gantry e das lâminas durante um tratamento utilizando VMAT, alguns testes adicionais de MLC devem ser inclusos, sendo eles: teste de velocidade das lâminas, teste de picket-fence para diferentes ângulos do gantry e entrega de campos VMC específicos para testar a sincronização da velocidade de rotação do gantry, taxa de dose e posicionamento da lâmina.
- Segundo o TG-142, para aceleradores lineares equipados com sistemas de CBCT, o QA para a verificação da imagem formada pelo CBCT devem ser realizados diariamente, mensalmente e anualmente. Os QAs diários testam o processo típico de IGRT e o deslocamento do paciente.
- Os testes mensais (QA mensal) para um sistema CBCT contém a coincidência entre as coordenadas de imagem e tratamento; teste de interlocks de segurança do dispositivo de imagem (touch guard) e testes de qualidade da imagem, como testes de distorção geométrica, testes de resolução espacial, contraste da imagem, constância das HU e testes de uniformidade e ruído.
- De acordo com o TG-53 (*“Task Group 53: quality assurance of clinical radiation therapy treatment planning.”*), como a maior partes dos cálculos de dose em radioterapia são feitos a partir de uma imagem de tomografia (CT), é importante realizar um controle de qualidade periódico nas imagens de CT. Estes testes incluem a transferência da imagem, a geometria da imagem e a verificação dos números de HU.
- De acordo com o TG-53 , o TPS (treatment plannig system) deve ser submetido a testes dosimétricos e não dosimétricos. Os testes incluem uma revisão de alterações do sistema e logs de erro, verificação do input/output do sistema, como o input de uma TC e a verificação do cálculo de dose. Os testes são realizados diariamente, mensalmente, anualmente e após qualquer atualização do TPS.
- Um teste “end-to-end” (teste de ponta a ponta) verifica todo o sistema de radioterapia. Este teste começa com a tomografia de um phantom específico, onde o isocentro será marcado. A CT é então enviada para o sistema de planejamento (TPS) e então é feito o planejamento de teste. Na sequência, o phantom é posicionado no acelerador,

de acordo com as marcas do isocentro feitas na CT. São então realizados imafens de portais para garantir que os campos planejados coincidem com as formas obtidas dentro do phantom. No caso do credenciamento do RTOG, o plano é entregue em um phantom contendo filmes e TLDs. A dose medida é então comparada com a dose planejada para confirmar a precisão da entrega da dose planejada.

- De acordo com o TRS-430 ( “*Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer*”), os procedimentos de QA referentes a avaliação do plano (DVH) em um sistema de planejamento incluem testes de normalização do plano, verificação da dose absoluta e relativa, determinação do volume, cálculos do tamanho do gr e pontos de distribuição; consistência de estruturas e estatísticas de dose.
- Em sistemas de planejamento, o ponto mais crítico está relacionado com a consistência e a precisão no cálculo das doses e das MUs. Portanto o TRS-430 recomenda os seguintes testes periódicos:
  - i. Dose calculada por feixe;
  - ii. Ponderação do feixe;
  - iii. Soma da distribuição de dose;
  - iv. Normalização do Plano; e
  - v. Cálculo de MUs.
- De acordo com o TG-40 ( “ *Comprehensive QA for radiation oncology*”) o **Teste de Aceite** é um teste que garante que o Acelerador Linear atenda às especificações determinadas pelo fabricante e acordadas no contrato de compra; O teste de aceite deve ser realizado por um Físico Médico Qualificado (QMP) e inclui uma série de verificações de segurança, mecânicas e dosimétricas. Os testes de segurança, como interlock de porta, botões de emergência e levantamento radiométrico na área do comando do linac, são os primeiros que devem ser realizados afim de se garantir um ambiente seguro para a equipe que irá realizar o aceite.
- De acordo com o TG-106 ( “*Accelerator beam data commissioning equipment and procedure*”), o processo de comissionamento de um acelerador linear envolve medidas abrangentes e precisas de todos os parâmetros dosimétricos necessários para descrever completamente os feixes de radiação emitidos pelo acelerador. As informações obtidas no comissionamento são utilizadas para modelar o acelerador no sistema de planejamento (TypeScript). Anualmente, devem ser realizadas novas medições para confirmar que os feixes de radiação ainda se comportam como o esperado de acordo com os dados do comissionamento. Caso o feixe não esteja de acordo, o modelo do feixe utilizado no TPS precisará ser atualizado.
- De acordo com o TG-66 ( “*Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process*”), os testes que devem ser realizados em um CT simulador são:
  - 1. Diários:
    - ★ Constância da HU na água;
    - ★ Ruído da imagem;
    - ★ Integridade espacial; e

- ★ Ortogonalidade dos lasers.  
É comum serem feitas verificações adicionais a precisão da marcação do isocentro definido pelo laser;
  - 2. Mensais:
    - ★ Testes de qualidade da imagem incluindo uniformidade, ruído, exatidão do número de HU, contraste e resolução espacial;
    - ★ Testes dos componentes mecânicos incluindo orientação e movimentação da mesa;
    - ★ Testes de segurança
  - 3. Anuais: São realizados os testes anteriores incluindo os testes de perfil de radiação, dose de imagem e densidade eletrônica para a calibração da unidade de Hounsfield (HU).
- De acordo com o TG-40, as novas fontes HDR precisam ser calibradas e para isto a atividade de uma fonte de braquiterapia HDR deve ser verificada por um físico médico qualificado (QMP) antes de ser utilizada para os tratamentos. A atividade da fonte deve ser medida utilizando uma câmara de ionização tipo poço calibrada e um eletrômetro. A atividade da fonte deve estar dentro de 5% da atividade especificada pelo fabricante.
  - Os testes diários estabelecidos pelo documento *“High dose rate (HDR) brachytherapy quality assurance: a practical guide”* incluem: testes de verificação da precisão do cronômetro, precisão da posição da fonte, intertravamentos das portas, indicadores de exposição da fonte, sistema de vídeo e comunicação, sistemas e dispositivos de monitoramento da radiação e funcionamento do console de controle;

### Segurança do Paciente

- Em 2014, A ASTRO juntamente com a AAPM lançaram uma nova iniciativa para a segurança do paciente denominada como *“Radiation Oncology Incident Learning System™ (RO-ILS)”* (Sistema de Aprendizado com Incidentes em Radioterapia). O RO-ILS documenta, analisa e rastreia os incidentes relacionados à segurança do paciente enviados pelos centros de radioterapia participantes.
- Os guidelines que podem auxiliar na tomada de decisão com respeito a segurança do paciente podem ser encontrados nos reports (TGs) da AAPM, em white papers da ASTRO, em padrões de prática e acreditação do ACR/ASTRO e em regulamentos governamentais com a ANSN/CNEN.
- A agência internacional que regulamenta os materiais produzidos em reatores nucleares, como o  $^{60}\text{Co}$  é a NCR (*“Nuclear Regulatory Commission”*) onde os estados podem optar por adotar os regulamentos do NRC e tornar-se estados de acordo. Aqui no Brasil, a CNEN/ANSN regulamenta esses materiais.
- Internacionalmente, a regulamentação dos materiais radioativos de ocorrência natural e os equipamentos de raios-x é feita pelos Estados Individuais. Aqui no Brasil, os equipamentos de raios-x são regulamentados pela ANVISA e os materiais de ocorrência natural entram no controle regulatório da CNEN/ANSN caso a agência determine ser necessário.

- De acordo com o documento da ASTRO “ *Practice Parameter for Radiation Oncology*”, as principais medidas de segurança que devem ser incluídas em uma prática de Radioterapia são:
  - ★ Um sistema de gerenciamento de tratamento para a prescrição, configuração dos parâmetros e entrega do tratamento e registro da dose diária entregue e da soma cumulativa da dose.
  - ★ Um programa estabelecido pela Física para a calibração dos equipamentos que garanta a entrega precisa da dose ao paciente;
  - ★ Um sistema para verificação independente dos parâmetros de tratamento (em teleterapia) seja por outra pessoa qualificada ou por outro método antes do primeiro tratamento;
  - ★ Um sistema para o físico médico e o radio-oncologista verificar independentemente todos os parâmetros práticos relevantes no procedimento de braquiterapia, para ser utilizado antes de cada procedimento;
  - ★ Um programa para prevenir lesões mecânicas ao paciente causadas pela máquina ou equipamento acessório; Uma lesão mecânica é uma lesão no tecido causada pela aplicação de uma força mecânica.
  - ★ Sistemas audio-visual para garantir contato visual e sonoro com o paciente durante o tratamento;
  - ★ Estabelecer uma política que exija duas formas de identificação do paciente bem como a verificação dos parâmetros do plano antes de cada tratamento.
- Dado o uso rotineiro de IGRT com CBCT, para evitar danos mecânicos pela máquina, um sistema mecânico composto por um anel de proteção preso ao gantry com molas é utilizado nos Aceleradores da Elekta e na Varian é utilizado um sistema de detecção à laser nas máquinas atuais. Além disso, os painéis de imagem KV e MV possuem intertravamentos que interrompem o movimento do gantry quando uma força é aplicada sobre eles. Com base nas posições da mesa antes de realizar o CBCT, o sistema da Varian pode mover a mesa para uma “zona de segurança” para evitar possíveis colisões. A mesa será restaurada à sua posição inicial após a imagem de CBCT. Apesar desses projetos de segurança, recomenda-se que o operador realize um teste para verificar se é possível ocorrer uma lesão mecânica no paciente causada pela máquina.
- Uma forma comum para a identificação do paciente em de duas formas é através do nome completo do paciente e sua data de nascimento.
- Segundo o documento “*Quality control quantification (QCQ): a tool to measure the value of quality control checks in radiation oncology.*” Os QA de verificação que devem ser realizados na radioterapia incluem: Revisão do plano pelo médico, revisão do plano pelo físico, revisão do prontuário pelo técnico (operador), QA de IMRT pré-tratamento, Chart rounds, timeout por técnico, checagem da SSD, Filmes de Portais, CT online, dosimetria in-vivo e checagem semanal pela física. Dentre as outras verificações individuais a checagem do plano pela física é a mais sensível para detecção de erros potenciais.
- Qualquer membro da equipe de tratamento, o que inclui médicos, físicos, técnicos, etc..., devem declarar um “time-out” (intervalo, pausa) durante o tratamento se tiver alguma dúvida ou preocupação a respeito do plano de tratamento.

- Tendo em vista a segurança do paciente, é importante implementar na rotina da radioterapia checks-list das atividades a serem executadas por cada membro. Estudos tem mostrado que chek-list médico reduz a probabilidade de erros na prática médica e isso pode se estender para qualquer mebro da equipe de radioterapia.
- O controle de qualidade paciente-específico para a técnica de IMRT é necessário pois, com base nas diretrizes do ACR (American College of Radiology) a precisão da entrega da dose deve ser documentada para cada curso de tratamento irradiando um phantom que contém ou um filme dosimétrico calibrado para demonstrar a distribuição de dose ou um sistema de medida equivalente, como uma câmara de ionização ou matrizes de diodos, para verificar que a dose entregue é igual a dose planejada.
- Os níveis de ação para o QA paciente-específico podem variar com base no tipo de tratamento, local da doença, dispositivo de medição, técnica de tratamento, etc. . . Normalmente, o nível de ação para a diferença absoluta de dose pontual entre a dose medida e a dose planejada é de  $\pm 5\%$ . A comparação entre a distribuição de dose medida e a planejada é normalmente obtida através da análise gama, em que é necessária uma taxa de aprovação  $> 90\%$  utilizando os critérios de  $3\%/3\text{ mm}$ . Para tratamentos de SBRT, os níveis de ação podem ser mais rigorosos do que os utilizados nos tratamentos IMRT convencionais.
- O TG-34 ( “*Management of radiation oncology patients with implanted cardiac pace-makers*”) fornece recomendações para tratamentos de pacientes que utilizam marca-passo; É recomendado limitar a dose acumulada no marcapasso a 2 Gy. Porém, os fabricantes individuais podem estabelecer limites de dose mais baixos que deverão ser obedecidos. Outra boa prática é evitar o uso de fótons com energia superior a 10 MV, para evitar a produção de nêutrons no cabeçote que podem danificar diretamente a parte eletrônica do marcapasso. Outro Protocolo, o TG-203 atualiza as informações a respeito dos problemas induzidos no marcapasso com respeito a dose recebida.
- Caso uma paciente esteja grávida e tenha sido diagnosticada com carcinoma cervical (câncer de colo de útero), o tratamento de radioterapia não será compatível para este caso pois as regulamentações determinam que a dose equivalente recebida pelo feto não pode exceder 5 mSv durante toda a gravidez, de modo que Doses abaixo de 0.1 Gy devem ser seguras, doses até 0.5 Gy não são necessariamente fatais mas resultariam dano ao feto.
- Nos casos de uma paciente grávida que precisa ser submetida a um tratamento de WB (Whole Brain), seguido o princípio ALARA ( “*As Low as Reasonably Achievable*”) recomenda-se que seja realizada uma CT com espessura de corte grande (por exemplo  $> 5\text{ mm}$ ) e com um curto alcance da varredura ao longo da direção superior-inferior, além de utilizar baixo kVp e/ou mAs. Nas imagens de portal, recomenda-se uma uma exposição.
- Antes de cada tratamento de SRS e SBRT, o radio-oncologista deve estar presente para verificar a integridade do setup e posicionamento do paciente utilizando IGRT.
- De acordo com as normas da NRC, deve ser estabelecido um comitê de proteção radiológica na instituição, que deve incluir um usuário autorizado (médico, técnico, físico médico...), o Supervisor de proteção radiológica, uma enfermeira e um representante da admnistração que não seja um usuário e nem um SPR. No Brasil a portaria 453 da ANVISA determina que em ambientes hospitalares devem ser instaurada um comitê de proteção radiológica sendo integrado por no mínimo um representante da direção



do hospital, o SPR e um médico especialista de cada uma das unidades que fazem uso de radiação Ionizante.

- Segundo a NRC, uma diretiva escrita é necessária para procedimentos que utilizam fontes, como braquiterapia, gamma knife e teleterapia com  $^{60}\text{Co}$ . Dependendo do tipo de aplicação (LDR, HDR permanente ou temporário) a diretiva deverá conter: A dose e o fracionamento (caso este seja aplicável); forma de entrega; radionuclídeo; número de fontes e intensidade total da fonte; região de tratamento e o nome do paciente; Essa diretiva deve ser assinada pelo médico autorizado;
- De acordo com NRC, os níveis de dose estabelecidos para notificação e registro em um evento médico são:
  - ★ Dose Efetiva = 0.05 Sv (5 rem);
  - ★ Dose Equivalente em um órgão ou tecido: 0.5 Sv (50 rem);
  - ★ Dose Equivalente na pele: 0.5 Sv (50 rem)

Para a CNEN, os níveis de registro e investigação dos IOE são:

- ★ **Níveis de Registro**

- ★ **Dose Efetiva:** 0.1 mSv;

- ★ **Níveis de Investigação**

- ★ **Dose Efetiva:** 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês;
- ★ **Dose Equivalente na pele, mãos ou pés:** 150 mSv no ano ou 20 mSv em qualquer mês;
- ★ **Dose Equivalente na pele no cristalino:** 6 mSv por ano ou 1mS em qualquer mês;

- De acordo com a NRC, a instituição licenciada deve informar por telefone o evento médico em no máximo um dia após a descoberta do evento e deverá encaminhar a NRC um relatório por escrito em até no máximo 15 após a descoberta do evento médico. A CNEN não especifica um prazo para submeter o relatório, segundo a 3.01 é necessário enviar um relatório após a investigação do evento médico contendo a causa e as medidas tomadas para evitar o mesmo erro no futuro.

## 12. Proteção Radiológica

### Normas e Regulamentos



### Blindagens



## Referências

- [1] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2018 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2018.
- [2] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2019 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2019.



- [3] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2020 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2020.
- [4] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2021 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2021.
- [5] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2022 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2022.
- [6] Radiological and Medical Physics Society of New York. *RAPHEX 2023 Therapy Exam and Answers*. Medical Physics Publishing, 2023.
- [7] Ping Xia and Andrew Godley. *Physics in Radiation Oncology Self-Assessment Guide*. Springer Publishing Company, 2015.