

# PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO DE UM TOMÓGRAFO COMPUTADORIZADO

**Fernanda Roberta Marciano**<sup>1</sup>, **Aline Helena Araujo Machado**<sup>2</sup>, **Dorival Alves Rocha Neto**<sup>2</sup>, **Eduardo Polli Fujita**<sup>2</sup>, **Rosana Maria Moreira Santos**<sup>2</sup>, **Antonio Balbin Villaverde**<sup>3</sup>, **Marcos Tadeu Tavares Pacheco**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista, PIBIC / CNPq / INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010 – São José dos Campos – SP e-mail: [femarciano@uol.com.br](mailto:femarciano@uol.com.br)

<sup>2</sup>Curso de Graduação em Engenharia Biomédica. Universidade do Vale do Paraíba. Avenida Sishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000 São José dos Campos – SP e-mail: [alineharaujo@aol.com](mailto:alineharaujo@aol.com)

<sup>3</sup>Universidade do Vale do Paraíba / IP&D. Avenida Sishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000 – São José dos Campos – SP e-mail: [abv@univap.br](mailto:abv@univap.br)

**Palavras-chave:** Tomografia computadorizada, gerenciamento, protocolo.

**Área do Conhecimento:** III - Engenharias

**Resumo** - Os tomógrafos são equipamentos que combinam o uso de um computador digital a um dispositivo de radiografia giratório para criar imagens seccionais transversais detalhadas de diferentes órgãos e partes do corpo. O objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta de protocolo para gerenciamento da manutenção de um tomógrafo. Para isso, é preciso um protocolo de testes quantitativos de constância. E para isso, necessita-se realizar testes de aceitação periódicos para poder auxiliar na manutenção corretiva, por isso, alguns instrumentos de teste são necessários. A partir da realização do presente trabalho, foi possível apresentar uma proposta de protocolo de gerenciamento da manutenção de um tomógrafo em um hospital público. Com isso, apresentou-se uma série de testes quantitativos de constância que precisam ser realizados para o bom funcionamento do aparelho, que é de vital importância em muitos estabelecimentos de saúde.

## Introdução

Os tomógrafos são equipamentos que combinam o uso de um computador digital a um dispositivo de radiografia giratório para criar imagens seccionais transversais detalhadas de diferentes órgãos e partes do corpo. A principal vantagem do sistema de tomografia sobre a radiologia convencional é a capacidade de fornecer contraste em tecidos moles e gerar visões na direção de propagação do feixe de raios x [1].

O princípio básico da tomografia axial computadorizada (tomografia multidirecional) é a reconstrução de uma fatia axial (slice), sem sobreposição de informação, através de múltiplas radiografias planas tomadas ao redor da periferia do paciente. O processo pelo qual se recupera a informação de uma fatia axial através de várias radiografias é conhecido como reconstrução, o que exige que sejam feitas exposições em vários ângulos para reconstruir a informação de uma seção transaxial. Para tanto, o tubo de raios X e o sistema de detecção de radiação são montados em uma estrutura circular móvel, com um “buraco” no centro, onde o paciente é colocado. Esse lugar é denominado gantry [2]. Usualmente o gantry descreve a estrutura que abriga o tubo

de raios X, o sistema de detecção de radiação, colimadores e o circuito de rotação (figura 1). Em certos casos, o gantry também abriga um pequeno gerador de raios X de alta frequência. Essa técnica foi chamada de Tomografia Computadorizada (TC) e foi criada por Godfrey Hounsfield e Allan Cormack em 1972, que receberam o prêmio Nobel de Medicina de 1979 por esse trabalho [3].

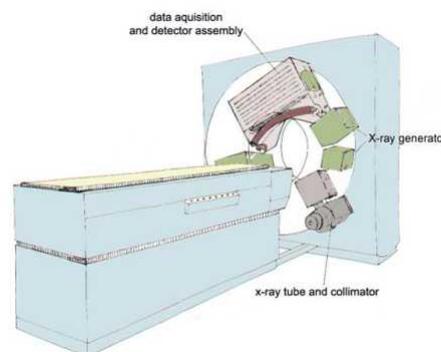


Figura 1: Esqueleto do pórtico

O sinal de recepção dos raios x gerado pelos detectores é processado por um computador para formar as imagens em alta

resolução e de aspecto espacial. O computador processa essas informações do detector e reconstrói uma imagem tri-dimensional do interior do corpo do paciente [3].

Na TC o feixe de raio x é colimado até dimensões de aproximadamente 2 a 10 mm, a dimensão de 10 mm é paralela ao eixo do corpo, o que corresponde à espessura do corte. A intensidade do feixe é monitorizada por pequenos detectores antes de entrar no corpo. Após atravessar o corpo, o feixe é detectado por cristais de cintilação, que também é colimado para receber os fótons não absorvidos. A quantidade de intensidade transmitida é registrada e armazenada na memória do computador [4].

O tubo de raio x e o sistema detector são movimentados através do paciente fazendo 160 medições múltiplas durante a translação, ou seja, a armação gira através de 180 graus e um total de 28.800 medições são realizadas. A cada medida feita, um sinal eletrônico indica a intensidade de raio x que emerge do paciente no ponto em questão, enviando ao computador para armazenagem e processamento. A intensidade do raio x depende da atenuação do feixe que atravessa a região determinada. E a atenuação desta região depende da atenuação que ocorre em cada um dos pequenos blocos [4].

Através de cálculo matemático conhecido como algoritmo, o computador calcula uma série de números chamados números TC. Estes números indicam uma atenuação relativa do feixe de raio x produzido por cada pequeno volume. A atenuação produzida por água é a referência em que se baseiam os números TC e o qual é designado um valor zero. Os positivos (maiores que zero) indicam tecidos mais absorventes do que a água (ex. o osso). Os números negativos (menores que zero) indicam tecidos menos absorventes do que a água (ex. o ar) [4].

Os números TC são enviados pelo computador ao monitor em forma de sinais eletrônicos que controlam o brilho em diferentes pontos da imagem. O brilho depende da atenuação do volume naquele ponto. Isto forma um conjunto brilhante ou uma escala de cinza que representa os números TC [4].

Entre os fatores que influenciam na qualidade da imagem em sistemas de tomografia computadorizada, tem-se a dose de radiação, o número de medidas de atenuação selecionadas, o algoritmo de reconstrução (filtros digitais), o tamanho da matriz de imagem digital e o controle de artefatos [1].

Aumentando a dose, se reduz o ruído quântico (estatístico), o que melhora a relação sinal/ruído da imagem (SNR). O incremento da dose costuma ser mais eficiente no aumento da detectabilidade de baixo contraste. No entanto,

alcançado determinado nível, o incremento da dose em nada contribui com a melhoria da imagem [2].

A dose exposta em um procedimento comum de tomografia, com utilização de ROI, é da ordem de 0,5 rads a 2 rads. Em procedimentos especiais, como imagem da coluna vertebral em fatias finas, este valor pode atingir de 10 rads a 12 rads [1].

Segundo as [5], o espaço físico deve ser checado quanto ao suporte estrutural para o peso do equipamento. Necessidades de ar-condicionado dedicado são especificadas pelo fabricante.

Nas salas de comando, são necessárias quatro tomadas de 127 V e duas de 220 V, todas de no mínimo 400 VA [5].

Na sala de exames, costuma-se instalar seis tomadas de 127 V e duas de 220 V, também de 400 VA. Lembrando que as instalações elétricas das salas devem ficar internamente ao revestimento de chumbo ou barita, tomando-se o cuidado na fixação das tubulações e caixas, sempre protegendo a cabeças de pregos e parafusos com chumbo, de forma a evitar vazamentos de radiação [5].

Usualmente, o próprio fabricante dos equipamentos de tomografia computadorizada fornece a planta baixa e elétrica necessária às salas, incluindo a necessidade de pontos de força especiais para alimentar os próprios equipamentos [2].

A potência destes equipamentos varia conforme o fabricante, ficando, porém, na faixa de 50 kVA a 150 kVA, alimentados em 220/380 V. Também é comum que os fabricantes exijam a presença de um estabilizador de tensão na rede, além de um condutor de aterramento exclusivo para seus equipamentos [6].

É comum a prática de diminuir as luzes durante a execução do exame. Assim, deve-se mesclar a iluminação fluorescente com incandescente, controlada por dimmers. Iluminações de base fluorescente de 500 lux são suficientes, recomendando-se luminárias embutidas com proteção de acrílico [6].

Problemas mecânicos e elétricos são associados às mesas de exames de tomografia computadorizada. Esses dispositivos costumam sair das especificações técnicas, devendo ser avaliados e ajustados. Pode haver perda de resolução devido à falta de sincronismo do movimento da mesa com a varredura do gantry. Também são referidos problemas relacionados às vibrações da mesa [6].

A absorção preferencial de fótons de baixa energia faz um objeto grande parecer absorver menos radiação que um objeto pequeno, ambos com as mesmas características. Assim, as medidas de um determinado órgão

ficam dependentes do tamanho do paciente e de sua orientação. Esse efeito é conhecido como artefato de endurecimento de feixe, podendo comprometer o diagnóstico clínico. Pode ser parcialmente corrigido através da calibração do sistema ou pela filtração do feixe [1].

O condicionamento da rede elétrica é recomendado porque a habilidade do sistema em produzir imagens livres de artefatos depende diretamente da qualidade da rede de alimentação do sistema [6].

A questão estrutural mais importante no que se refere à tomografia computadorizada é a capacidade de dissipação de calor do tubo de raios X. O superaquecimento induz à deterioração do tubo, podendo até mesmo bloquear o equipamento durante um exame [1].

Quando o tubo de raios X completa a quantidade de fatias para o qual é recomendado, deve-se realizar a troca, pois poderá haver fuga de corrente do tubo, além de degradação da imagem [1].

Devido à alta complexidade do equipamento, a manutenção do software é tão importante quanto a manutenção do próprio equipamento físico [1].

A frequência de manutenções preventivas é geralmente indicada pelo fabricante. Na ausência de tal informação, recomenda-se proceder com testes quantitativos mensais, trimestrais e semestrais de constância de parâmetros de qualidade de imagem [1].

É importante lembrar que as altas tensões presentes nos equipamentos de raios X são extremamente perigosas e potencialmente letais. Assim, nunca toque nos circuitos do gerador de alta tensão, a menos que esteja seguro que o equipamento está desligado [6].

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta de protocolo para gerenciamento da manutenção de um tomógrafo.

## Metodologia

Para a realização do gerenciamento da manutenção preventiva de um tomógrafo, é preciso um protocolo de testes quantitativos de constância. E para isso, necessita-se realizar testes de aceitação para poder auxiliar na manutenção corretiva, por isso, alguns instrumentos de teste são necessários. Os critérios para sua aquisição devem considerar o tipo de contrato de manutenção que a instituição tem com fornecedores externos, a capacitação técnica de seus empregados e a disponibilidade de recursos para tais investimentos. A utilização dos instrumentos de teste deve ser feita por pessoal especializado. Geralmente há uma equipe de Física Médica trabalhando em conjunto com a equipe de Engenheiros Clínicos. Instrumentos

típicos utilizados para garantir segurança e qualidade de imagem tomográfica são Phantoms para TC (Gammer MRI 463 Economy CT) e Dosímetro (Capintex 192x Digital) [5].

Os testes quantitativos de constância devem ser realizados periodicamente por pessoal capacitado, de forma a detectar degradações do sistema que possam indicar falhas. Apesar da programação prévia, os testes devem ser repetidos sempre que houver suspeita de mau funcionamento; imediatamente após o equipamento passar por uma manutenção; e um teste de constância indicar desvios de normalidade, de forma a confirmar o resultado [5].

Os testes específicos devem tomar procedência segundo as indicações do fabricante e de preferência seguindo as orientações de normas técnicas aplicáveis ao equipamento ou as recomendações dos fabricantes de medidas utilizados no teste [5]:

Testes mensais:

- ❖ Ruído: a comparação do desvio padrão do TC number da ROI central de um phantom uniforme não deve variar mais de  $\pm 10\%$  ou atingir o valor absoluto de 0,2 Hounsfield;

- ❖ TC Number Médio: a comparação do valor médio do TC number da ROI central de um phantom uniforme não deve variar mais de  $\pm 4$  Hounsfield de seus valores padrões;

- ❖ Uniformidade: A diferença entre a ROI central e ROI periféricas de um phantom uniforme não pode variar mais de  $\pm 2$  Hounsfield de seus valores padrões;

- ❖ Espessura da fatia (slice thickness): A espessura da fatia, dada pela largura meia altura (FMHW – Full Width Half maximum) de um phantom de rampas metálicas não pode variar mais de  $\pm 1$  mm para fatias acima de 2 mm ou 50% da espessura da fatia para fatias menores que 2 mm. A FWHM é dada pela média do TC number da rampa e fundo;

- ❖ Posicionamento da mesa do paciente: São posicionados marcadores na mesa do paciente de forma a medir seus deslocamentos. Os deslocamentos programados de 30 cm para frente e para trás (com carga equivalente ao peso de uma pessoa e passos de 8 mm) não podem variar de mais de  $\pm 2$  mm. Os retornos às posições iniciais após estes mesmos deslocamentos (backlash) também não podem variar de mais de  $\pm 2$  mm;

Testes trimestrais:

- ❖ Resolução espacial: É calculada a modulação (M) de cada padrão de barras de um phantom de pares-de-linha. A modulação é dada pela razão entre o TC number de cada par-de-linha e a subtração do TC number médio do par-de-linha e do fundo da imagem. O par-de-linha que oferecer modulação próxima de 0,2 é tido como padrão. A

modulação deste par-de-linha não pode exceder mais de  $\pm 15\%$  de seu valor padrão;

Testes semestrais:

❖ Dose: Um dosímetro é posto dentro de um phantom constituído de um cilindro de 32 cm de diâmetro. A superfície do detector do dosímetro fica alinhada axialmente com o tomógrafo a 1 cm da superfície do phantom. A dose média durante a rotação do gantry em uma fatia de 2 mm não deve variar mais de  $\pm 20\%$  de seu valor padrão;

## Discussão

Segundo [7] os projetos de proteção contra a radiação devem ser dimensionados de forma que pessoas profissionalmente expostas, não recebam exposição médias superiores a 5 R por ano, não passando do limite de 3 R em quaisquer 13 semanas consecutivas. As exposições nas mãos, pés e calcanhares, isoadamente, são permitidas até 75 R por ano, não passando do limite de 40 R em quaisquer 13 semanas consecutivas.

Ainda segundo [7], as pessoas não-profissionalmente expostas, não devem receber exposição média superior a 0,5 por ano. As gestantes não devem ser submetidas a exames radiográficos até o terceiro mês de gestação. Cada serviço deve estabelecer suas políticas específicas para lidar com profissionais e pacientes férteis ou grávidas.

As melhores imagens de tomografia computadorizada são obtidas utilizando mesas firmemente seguras e reguladas, filmes de alto-contraste e selecionando a excursão e movimento adequados do tubo de raios-x [7].

Em alguns exames de tomografia multidirecional, a dose de radiação ao paciente pode ser elevada, principalmente nos olhos. No caso de estudos na região do ouvido médio, é recomendada a proteção nos olhos [7].

As altas tensões presentes nos equipamentos de raios-x são extremamente perigosas e potencialmente letais. Nunca se deve tocar nos circuitos do gerador de alta tensão, a menos que se tenha certeza de que o equipamento está desligado [7].

Além disso, deve-se ter em mente que nos equipamentos de tomografia, o componente mais crítico é o tubo de raios-x, sendo todas as recomendações aplicáveis aos sistemas radiográficos de uso geral. Também vale ressaltar que são comuns falhas devido à manipulação de software, sendo a manutenção e gerência do sistema computacional tão importante quanto o próprio equipamento [7].

## Conclusão

A partir da realização do presente trabalho, foi possível apresentar uma proposta de protocolo de gerenciamento da manutenção de um tomógrafo em um hospital público. Com isso, apresentou-se uma série de testes quantitativos de constância que precisam ser realizados para o bom funcionamento do aparelho, que é de vital importância em muitos estabelecimentos de saúde.

## Referências bibliográficas

[1] GEMA: Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção, Capacitação a distância / Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto Reforsus. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002

[2] ALBUQUERQUE, J. A. G. Avaliação automática de parâmetros físicos de qualidade de imagem em sistemas de radiologia digital odontológica. Campinas, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas.

[3] TOMOGRAFIA Computadorizada. Disponível em: <http://www.hcanc.org.br/imag3.html>. Acesso em: 27 mar 2004.

[4] HAAGA, J.R. et al. Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética do Corpo Humano. V. 1, Terceira Edição, Editora Guanabara Koogan, 1998.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR-IEC: 61223-2-6: Avaliação e testes de rotina em departamentos de imagem médica: Parte 2-6: Testes de aceitação – Performance de equipamentos de raios-x para Tomografia Computadorizada. ABNT, 1994.

[6] SANTANA. Instalações Elétricas Hospitalares. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1999.

[7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 6977: Proteção radiológica – regras básicas de proteção contra raios-x para fins médicos. ABNT, 1981.