

ESTUDO DE CONFIABILIDADE DE TOMÓGRAFOS COMPUTADORIZADOS

F.C. Coelli*, R.P. Santos***, A.L.A. Pires**, R.M.V.R. Almeida***, W.C.A. Pereira***, M.A.S. Pereira**** e T.A.S. Pereira****

*Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) - UNED Itaguaí, Itaguaí, Brasil

**DEL, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

***Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

****Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, Brasil

e-mail: fernandocoelli@gmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi determinar a confiabilidade de Tomógrafos Computadorizados. Para isso foram extraídos dados de 216 OS de atendimentos de TCs de uma empresa de manutenção de equipamentos de equipamentos radiológicos. Os resultados indicaram que a maioria das OS (77,3%) e dos equipamentos (60,7%) refere-se a atendimentos sob contrato de manutenção e ainda, que a maioria das OS se referia a Hospitais Particulares. Observou-se também um alto *MTBF* para equipamento moderno (*multi slice*) indicando possíveis problemas na operação. A identificação dos *MTBFs* dos equipamentos estudados denotou a necessidade de contratos de manutenção para que as interrupções de funcionamento sejam as minoradas.

Palavras-chave: Engenharia Clínica, Confiabilidade, Manutenção, Tomografia Computadorizada.

Abstract:

In Brazil, the maintenance of high complexity equipment is in most cases exclusively made by the manufacturer, usually multinational companies. Although Clinical Engineering sectors do not usually perform direct maintenance on this equipment, it is especially important to know their failure rates and their MTBF, since maintenance costs are high. This work aims to study the reliability of Computer Tomography (CT) maintained by an independent company. To this end, 216 orders of service calls were analyzed. The aim of this study was to determine the reliability of different types of CTs. The results indicate, for example, most of the OS's (77.31%) and equipment (60.71%) refers to calls under the maintenance agreement and, most referred to OS's private hospitals. The identification of MTBFs the studied equipment denoted the need for maintenance contracts so service interruptions are the lessened.

Keywords: *Clinical Engineering, Reliability, Maintenance, Computed Tomography.*

Introdução

No Brasil, a manutenção de equipamentos de alta complexidade, categoria que inclui os tomógrafos

computadorizados (TCs), na maioria das vezes é feita exclusivamente pelo fabricante, normalmente empresas multinacionais. Isso pode representar uma suposta garantia de qualidade, por outro lado, indica que certamente altas quantias estarão envolvidas. Ocorre que, constantemente ex-funcionários destas empresas criam as suas próprias e provêm tais serviços por preços mais condizentes com a realidade nacional. A Engenharia Clínica (EC) normalmente não atua diretamente na manutenção destes equipamentos, porém, como os valores envolvidos são altos, torna-se importante para gestão conhecer as taxas de falhas e os tempos médios entre falhas (*Mean Time Between Failure (MTBF)*). A partir desses dados, poder-se-á, por exemplo, determinar as melhores estratégias de manutenção. Além disso, os fabricantes podem recomendar programas de manutenção frequentes e demasiadamente complicados. Tais recomendações devem ser cuidadosamente revistas para determinar sua validade, caso pareçam excessivamente complexas [1].

A importância dos equipamentos de TC pode ser comprovada quando se observa a quantidade de exames indicados. Embora importantes, tais dados são raros na literatura. Em dados obtidos nos EUA no ano de 2007, 13,9% dos pacientes atendidos nos setores de emergência foram examinados por TCs, sendo que 27% dos equipamentos utilizados eram helicoidais de um a quatro canais, tecnologias típicas daqueles estudados nesta pesquisa [2].

Dada a importância mencionada acima e o fato de *MTBFs* não serem disponíveis na literatura, o objetivo deste estudo foi determinar a confiabilidade de três tipos de TCs (*single slice*, *multi slice* e sequencial), Para isso, foram analisadas ordens de serviço (OS) de manutenção de TCs instalados em unidades de saúde no estado do Rio de Janeiro.

Materiais e métodos

Este trabalho se baseou no estudo da confiabilidade, [3-5] para estudar a os TCs mantidos por uma empresa de manutenção de equipamentos radiológicos. Foram analisadas OS de manutenção de TCs instalados em unidades de saúde. Os dados foram extraídos a partir da análise de 216 OS de atendimentos de TCs de uma

empresa de manutenção de equipamentos radiológicos. Destas OS, foram extraídos os atendimentos de manutenção em equipamentos de TC: instalação, manutenção corretiva e preventiva ou inspeção/teste. A partir dos dados das OS foi preenchida uma planilha com os seguintes campos: Cliente (nome), Tipo de Unidade (clínica ou hospital/público ou privado), Defeito Reclamado, Defeito Encontrado, Data do Chamado, Data do Atendimento, Contrato (com ou sem contrato), Modelo/Tipo, Resolução, Tipo de Defeito, Local do Defeito (parte do equipamento onde se deu o defeito), Peças (descrição das peças necessárias para o reparo) e Observações (considerações pertinentes ao manuseio do equipamento). Neste estudo não foram computados os tempos de reparo, ou *downtime*, ou ainda tempo médio para reparar (MTTR). A coleta de dados foi padronizada de forma que diferentes observadores pudessem obter os dados supracitados em vários atendimentos. Foram realizados treinamentos prévios para sistematização da coleta e análise de dados. Considerou-se como defeito as anormalidades que impedissem o equipamento de operar em sua plenitude.

A empresa que disponibilizou os dados é nacional e de pequeno porte, sua área de atuação é a manutenção de equipamentos radiológicos, com foco na manutenção de TCs de uma única marca. A empresa atende a região sudeste e o sul da região nordeste do Brasil, por meio de contratos de manutenção ou atendimentos sob demanda.

Foram escolhidos aparelhos de tecnologias de aquisição sequenciais, helicoidais de um corte (*single slice*) e de quatro cortes (*multi slice*) por serem os mais comuns instalados no país.

Os atendimentos foram classificados de acordo com parte(s) da intervenção técnica no equipamento (*Gantry*, Mesa, Console e Sala), no caso de reparo, como Manutenção Preventiva, Teste e Instalação. Como alguns aparelhos necessitaram de mais de uma intervenção simultânea, o número de atendimentos de manutenção é maior que o de OS.

Para definição da confiabilidade dos aparelhos foi utilizado o mencionado índice MTBF. Esse índice é definido como o tempo médio entre falhas, sendo o recíproco da taxa de falhas λ (equações (1) e (2)) [6].

$$\lambda = n / t \quad (1)$$

$$MTBF = 1 / \lambda \quad (2)$$

Normalmente utiliza-se “horas” como unidade de tempo em estudos de confiabilidade, porém neste estudo foi utilizado “dias” como unidade de tempo, o que simplifica o entendimento e a estimativa de ocorrência de falhas [3].

Resultados

Os equipamentos estudados estão instalados em 28 unidades de saúde, sendo cinco clínicas radiológicas, cinco particulares, um hospital público, oito hospitais

conveniados ao SUS e nove exclusivamente particulares. Dos 28 equipamentos, dezessete estavam cobertos por contrato de manutenção. Cada unidade possuía somente um equipamento.

Foram analisadas 216 OS referentes ao ano de 2012 representando 18 OS/mês ou uma OS/1,67 dias. Na Tabela 1 observa-se a distribuição das OS dos equipamentos sob contrato/sem contrato de manutenção. Pode-se observar que a grande maioria das OS, 77,31% e dos equipamentos, 60,71%, refere-se a equipamentos sob contrato de manutenção.

Tabela 1: Distribuição de Ordens de Serviço (OS) e de equipamentos com e sem contrato de manutenção, razão OS por aparelho em 216 OSs em 28 equipamentos de 28 unidades de saúde do Rio de Janeiro, 2012.

Contrato	OS (%)	Equipamentos (%)	OS/Aparelho
Sim	167 (77,3)	17 (60,7)	9,82
Não	49 (22,6)	11 (39,2)	4,45

Na Tabela 2 é apresentada a distribuição dos tipos de unidade dos equipamentos estudados, o número de OS e a taxa de OS por aparelho em função de cada tipo de unidade. A maioria das OS refere-se a hospitais particulares, com 103 (47,69%) OS do total Os Das 28 unidades, 16 tiveram 5 ou mais atendimentos em 2012.

Tabela 2: Distribuição numeral e percentual dos Tipos de Unidade, Quantidade (Quant.) de OS e razão OS por Aparelho em 216 OSs em 28 equipamentos de 28 unidades de saúde do Rio de Janeiro 2012.

Tipo de Unidade	Quant. (%)	OS (%)	OS/Aparelho
Hospital Público	1 (3,6)	10 (4,6)	10
Hospital conveniado	8 (28,6)	49 (22,7)	6,1
Hospital Particular	9 (32,1)	103 (47,7)	11,4
Clínica	5 (17,9)	39 (18,1)	7,8
Clínica Radiológica	5 (17,9)	15 (6,9)	3
Total	28	216	7,7

Na Tabela 3 é apresentada a distribuição dos tipos de atendimentos de manutenção.

Tabela 3: Distribuição Numeral e Percentual (%) dos Tipos de Atendimentos em 216 OS em 28 equipamentos de 28 unidades de saúde do Rio de Janeiro 2012.

Tipo de Atendimento	Quantidade	%
Console	86	35,1
Gantry	104	42,4
Mesa	3	1,2
Sala	27	11
Preventiva	14	5,7
Teste	7	2,8
Instalação	4	1,6
Total	245	

A maioria refere-se a atendimentos nos *gantrys* (parte do equipamento onde se encontra o tubo emissor de raios X e sistema de aquisição de dados) (42,4%), e poucos atendimentos de manutenção referiram-se a serviços na mesa de exame (1,2%).

A Tabela 4 enfoca a distribuição das OS em função da tecnologia de aquisição de imagem dos TCs. Pode-se observar o maior número de OS por equipamentos *Multi slices*. Outro dado é a expectativa de ocorrer um defeito a cada 2,2 dias no grupo dos equipamentos helicoidais um *single slice*. Os *MTBFs* dos equipamentos

helicoidais se mostram bastante semelhantes, com 44,5 dias para os *Multi slices* e 47,5 para os de um corte. O parâmetro OS/dia se refere a ocorrência de OSs para um dado grupo de equipamentos, enquanto OS/Equip/dia se refere a apenas um equipamento de tal grupo. Assim, a primeira coluna de *MTBFs* refere-se ao tempo entre ocorrência de OS para um dado grupo de equipamentos, enquanto a segunda refere-se aos tempos entre OSs para cada equipamento.

Tabela 4: Distribuição dos Tipos de Equipamentos, OS, Razão OS/equipamento, Taxa OS/dia (λ) e MTBF em dias, Taxa de OS por Equipamento por dia (λ) e seus MTBF em dias em função do Tipo de Equipamento em 216 OS em 28 equipamentos de 28 unidades de saúde do Rio de Janeiro 2012.

Tipo	Quantidade (%)	OSs (%)	OS/Equipamento	λ OS/dia	MTBF (dias)	λ OS/Equip/dia	MTBF(dias)
Sequencial	1 (3,5)	6 (2,7)	6,00	0,01644	60,8	0,01644	60,8
Single slice	22 (78,5)	169 (78,2)	7,68	0,46301	2,2	0,02105	47,5
Multi slices	5 (17,8)	41 (18,9)	8,20	0,11233	8,9	0,02247	44,5

Discussão

A análise de confiabilidade é uma importante ferramenta na determinação de estratégias de manutenção. Para isso é preciso que sejam definidos parâmetros tais como taxas de falhas e *MTBF* específicos para os equipamentos a serem gerenciados. Esses parâmetros podem, por exemplo, ajudar a definição da periodicidade das manutenções preventivas, ou até definir se estas são realmente necessárias [3-6]. Assim, o presente estudo teve como foco o levantamento da confiabilidade de TCs, tendo observado, por exemplo, que aparelhos de tecnologia moderna (*multi slice*) podem falhar mais que os antigos (sequencial e *single slice*).

Relativamente aos procedimentos de manutenção, a quantidade média de 18 OS/mês sugere que pode-se manter uma pequena equipe de técnicos, um/dois, para evitar os "picos" de demanda, mas fica claro que em algumas situações haverá ociosidade. Quanto aos resultados da Tabela 1 pode-se discutir se o maior número de OS por aparelho sob contrato (9,8 contra 4,4) sugere que as manutenções preventivas periódicas enviam este índice ou se os contratantes acionaram a manutenção por "cuidado excessivo". Pode-se observar que a maioria dos atendimentos de manutenção estão sob contrato o que normalmente aumenta a confiabilidade dos equipamentos, devido às manutenções preventivas periódicas, principalmente.

Já a Tabela 2 demonstra que os hospitais demandam mais manutenção do que as clínicas, o que é facilmente explicável devido à maior demanda dos atendimentos hospitalares. Equipamentos inoperantes, em clínicas, normalmente representam somente prejuízos financeiros, enquanto que, em hospitais, podem representar dano efetivo ao paciente ou a necessidade de sua remoção, com riscos e custos implicando em uma maior importância dos TCs para hospitais, e,

consequentemente, em uma maior demanda dessas unidades pela manutenção de seus equipamentos.

Relativamente às características dos atendimentos de manutenção, a Tabela 3 mostra que uma grande quantidade de serviços executados nos *gantrys* (42,45%) dos TCs, o que é facilmente explicável por esta peça integrar a maior parte dos componentes "críticos" desses equipamentos, como o tubo de raios X, que pode ser considerado "insumo" em função de seu desgaste e troca periódica. Nos equipamentos helicoidais, estão também os inversores e geradores de alta tensão, e nos *gantrys* estão ainda localizados os detectores de radiação, as placas integradoras e os circuitos de controle da mesa de exames e de comunicação com o console. Interessante observar que as mesas de exames falham pouco (1,2%), apesar de ser uma peça constantemente manipulada e possuir movimentos horizontal e vertical, a simplicidade do movimento realizado reduz consideravelmente o desgaste mecânico.

Finalmente, a Tabela 4 apresenta a distribuição dos *MTBFs* relativos aos TCs em função da tecnologia de aquisição de imagem. Apesar de ser um aparelho bastante antigo, pode-se observar a presença de um aparelho sequencial entre os estudados. Note-se seu alto *MTBF* relativamente aos demais (possivelmente devido ao pequeno número de exames a que ele é submetido). Do ponto de vista do processo de manutenção, um dado importante é o *MTBF* do equipamento de *single slice* foi de apenas 2,2 dias. Por outro lado, deve-se analisar com cuidado a maior taxa de OS para o aparelho *Multi Slices*, que pode indicar problemas de operação [1]. Esses equipamentos são de instalação mais recente, e sabe-se que erros de operação podem representar até 70% das falhas em equipamentos hospitalares [7]. Assim, se os operadores passassem por novas seções de treinamento,

possivelmente seria observado um aumento do *MTBF* desses equipamentos [8,9 e 10].

Conclusão

A metodologia utilizada indicou que é esperada, por exemplo, a ocorrência de uma falha a cada 44 dias para os equipamentos *multi slices*, e de 47 para os *single slice*. Isso indica a possibilidade da definição de contratos de manutenção diferenciados, de acordo com as necessidades de cada equipamento específico. A definição dos *MTBFs* específicos permite relacionar se o treinamento oferecido aos operadores foi adequado e a produtividade é compatível com equipamento. Além disso, poder-se-á observar o número de exames está condizente com suas condições de manutenção e ambientais.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado por verbas do programa CAPEs (PROEx). Agradecemos à empresa ARRP por disponibilizar as ordens de serviço que permitiram a execução deste trabalho.

Referências

- [1] ECRI. Health Devices Inspection and Preventive Maintenance System, 3ª Edição, EUA, 1995.
- [2] Ginde, Adit A. et al. Availability and quality of computed tomography and magnetic resonance imaging equipment in US emergency departments. *Academic Emergency Medicine*, v. 15, n. 8, p. 780-783, 2008.
- [3] Santos, R. P., Análise das falhas em Equipamentos Cardiológicos em um Hospital de Emergência de Grande Porte no Município do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- [4] Santos, R. P. ; Almeida, R. M. V. R. . Hospital medical equipment maintenance schedules using the Mean Time Between Failures. *Cadernos Saúde Coletiva (UFRJ)*, v. 18, p. 309-314, 2010.
- [5] Santos, R. P. ; Almeida, R. M. V. R. . Avaliação de estratégias de manutenção em aparelhos cardiológicos utilizando o MTBF. In: III Latin-American Congress on Biomedical Engineering, 2004, João Pessoa. IFMBE Proceedings. Rio de Janeiro: SBEB, 2004. v. 1. p. 337-340.
- [6] Anderson R. et al, 1990, “Reliability-Centered Maintenance”. Elsevier Science Publisher Ltd., Crown House, Inglaterra.
- [7] Dyro, J. F., 1996. “Merano hosts clinical engineering division meeting”. *Clinical Engineering Update*, n. 22, p.1-2, March 1996. Newsletter of the Clinical Engineering Division of the International Federation for Medical & Biological Engineering. EUA.
- [8] Fernandes, R., Ojeda, R. G., 2000. “Erros de

Procedimentos na Operação de Oxímetros de Pulso na Maternidade Carmela Dutra”. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Florianópolis, SC, Brasil.

- [9] Mutia, D., Kihui, J., Maranga, S. “Maintenance Management of Medical Equipment in Hospitals”. *Industrial Engineering Letters*, v.2, n. 3, p.9-19, 2012.
- [10] Taghipour, S., Banjevic, D., Jardine, A.K.S. “Reliability analysis of maintenance data for complex medical devices”. *Quality and Reliability Engineering International*, v.27, n. 1, p.71-84, 2011.