

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**Vivian Cardoso de Moraes**

**Dissertação de Mestrado**

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-  
HOSPITALARES EM PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

**Orientador: Prof. Dr. Sérgio Santos Mühlen**

**Campinas – SP**

**2004**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M792m      Morais, Vivian Cardoso de  
                 Metodologia de priorização de equipamentos médico-  
                 hospitalares em programas de manutenção preventiva /  
                 Vivian Cardoso de Morais. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

                 Orientador: Sérgio Santos Mühlen.  
                 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
                 Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
                 Computação.

                 1. Manutenção preventiva. 2. Hospitais manutenção  
                 e reparos. 3. Hospitais Equipamento. 4. Engenharia  
                 Biomédica. I. Mühlen, Sérgio Santos. II. Universidade  
                 Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica  
                 e de Computação. III. Título.

RMS-BAE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

**Vivian Cardoso de Morais**

**METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-  
HOSPITALARES EM PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Santos Mühlen

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Campinas – SP

Fevereiro de 2004

# **METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES EM PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

**Vivian Cardoso de Moraes**

*Dissertação defendida e aprovada, em 27 de fevereiro de 2004, pela banca examinadora constituída pelos professores:*

---

**Prof. Sérgio Santos Mühlen, D.Sc. - orientador – DEB/FEEC/UNICAMP.**

---

**Prof. Saide Jorge Calil, Dr. – DEB/FEEC/UNICAMP.**

---

**Prof. Renato Garcia Ojeda, Dr. – IEB/EEL/UFSC.**

***Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Neuza e Misael.***

***“Vós pouco dais quando dais de vossas posses.  
É quando derdes de vós próprios, que realmente  
dais”.***

***Gibran Khalil Gibran (1883-1931)***

## **Agradecimentos**

Antes de tudo quero agradecer a Deus que conduz e ilumina os caminhos da minha vida. Agradeço aos meus pais, Neuza e Misael, por tudo que sou, pela minha formação não apenas intelectual, mas principalmente moral. Tenho muito orgulho de ser filha deles. Aos meus irmãos, Julianna e Daniel, e demais familiares pela força e incentivo constante.

Ao professor e amigo Sérgio Mühlen, pela orientação e conselhos durante a realização deste trabalho. Um agradecimento muito especial a Dionysio, por toda a sua paciência, ajuda e compreensão nos momentos difíceis. Aos funcionários do CEB e DEB; a todos os professores do DEB; e ao apoio financeiro do CNPq.

## Sumário

|   |            |
|---|------------|
| <b>Lista de Tabelas</b> .....   | <b>x</b>   |
| <b>Lista de Figuras</b> .....   | <b>xi</b>  |
| <b>Lista de Siglas e Abreviações</b> .....                            | <b>xii</b> |
| <b>Resumo</b> .....   | <b>xiv</b> |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>xvi</b> |
| <b>1. Introdução</b> .....  | <b>1</b>   |
| 1.1. Histórico .....  | 3          |
| 1.2. Engenharia Clínica .....   | 7          |
| 1.3. Manutenção Preventiva em Hospitais .....                         | 9          |
| <b>2. Manutenção</b> .....  | <b>17</b>  |
| 2.1. Evolução da Manutenção .....                                     | 18         |
| Primeira Geração .....  | 18         |
| Segunda Geração .....   | 19         |
| Terceira Geração .....  | 20         |
| 2.2. Tipos de manutenção .....  | 21         |
| Manutenção Preventiva versus Inspeção de Segurança e Desempenho ..... | 26         |
| <b>3. Falhas</b> .....  | <b>29</b>  |
| 3.1. Falhas no ambiente hospitalar .....                              | 33         |
| Equipamento .....   | 33         |
| Instalações .....   | 34         |
| Agente da Manutenção .....  | 35         |
| Paciente .....  | 35         |
| Operador .....  | 36         |
| Ambiente .....  | 36         |
| <b>4. Métodos de Priorização de Manutenção Preventiva</b> .....       | <b>38</b>  |
| Fennigkoh & Smith (1989) .....  | 38         |
| Hertz (1990) .....  | 38         |
| Martins et al. (1990) .....   | 39         |
| Anderson (1992) .....   | 40         |
| Moussavi & Whitmore (1993) .....                                      | 41         |

|  |           |
|--|-----------|
| Kendall et al. (1993) .....                  | 41        |
| Capuano & Koritko (1996).....                | 42        |
| Ramirez (1996) .....                         | 43        |
| Sánchez (1997).....                          | 43        |
| Calil & Teixeira (1998).....                 | 44        |
| Silva & Pineda (2000).....                   | 45        |
| Wang & Levenson (2000).....                  | 45        |
| <b>5. Objetivos Gerais.....</b>              | <b>50</b> |
| <b>6. Descrição do método proposto .....</b> | <b>51</b> |
| 6.1. Fator de risco.....                     | 53        |
| 6.2. Fator de falha .....                    | 54        |
| 6.3. Importância do equipamento .....        | 56        |
| 6.4. Fator de manutenção.....                | 57        |
| 6.5. Fator de operação .....                 | 61        |
| 6.6. Fator de projeto .....                  | 63        |
| 6.7. Fator de custos .....                   | 64        |
| 6.8. Fluxograma Geral .....                  | 66        |
| <b>7. Aplicação do método .....</b>          | <b>72</b> |
| <b>8. Discussão e Conclusões .....</b>       | <b>76</b> |
| <b>Referências .....</b>                     | <b>86</b> |

## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| TABELA1- PORCENTAGEM DE EQUIPAMENTOS EM BOM ESTADO NOS PAÍSES SUBDESENVOLVIDOS [COOK, 2001]. ..... | 14 |
| TABELA 2 - TABELA COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO DE MP. ....                          | 47 |
| TABELA 3 - NÍVEL DE RISCO. ....  | 54 |
| TABELA 4 - FATOR DE FALHA ANUAL ( $\lambda$ ) (*MÉDIA DAS TAXAS DE FALHAS). ....                   | 55 |
| TABELA 5 - IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO. ....  | 56 |
| TABELA 6 - MANTENABILIDADE (*MÉDIA DAS MANTENABILIDADES DOS EQUIPAMENTOS).....                     | 60 |
| TABELA 7 - REQUERIMENTO DE MANUTENÇÃO. ....  | 61 |
| TABELA 8 -TREINAMENTO DOS OPERADORES. ....   | 62 |
| TABELA 9 - TAXA DE UTILIZAÇÃO (* MÉDIA DAS TAXAS DE UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS).<br>.....         | 62 |
| TABELA 10 – DISPOSITIVOS DE DETECTABILIDADE DE FALHAS.....   | 63 |
| TABELA 11 – OUTRAS CARACTERÍSTICAS DE PROJETO.....   | 63 |
| TABELA 12- ÍNDICE DO CUSTO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA ( $ICM_C$ ) .....                               | 65 |
| TABELA 13 - CLASSIFICAÇÃO DOS FATORES PARA A LISTA DE EQUIPAMENTOS SELECIONADOS.<br>.....          | 73 |
| TABELA 14 - PERIODICIDADE OBTIDA COM O MÉTODO. ....  | 74 |
| TABELA 15 - NÍVEL DE CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS ANALISADOS. ....                                 | 82 |
| TABELA 16 - NÍVEL DE DETALHAMENTO DA MP.....   | 83 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - ASCLÉPIO, DEUS DA SAÚDE. ....                                   | 4  |
| FIGURA 2 - CURVA DA BANHEIRA. ....   | 30 |
| FIGURA 3 - MODOS DE FALHA SEGUNDO LAFRAIA (2001). ....                     | 31 |
| FIGURA 4 - PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DE MODOS DE FALHAS EM AERONAVES. .... | 32 |
| FIGURA 5- SUBDIVISÃO DOS FATORES. ....                                     | 51 |
| FIGURA 6 - SUBDIVISÃO DO FATOR DE RISCO. ....                              | 52 |
| FIGURA 7 - MANTENABILIDADE × TEMPO PARA DIFERENTES VALORES DE $\mu$ . .... | 59 |
| FIGURA 8 - FLUXOGRAMA PARA DECISÃO DE PERIODICIDADE DE MP. ....            | 68 |

## Lista de Siglas e Abreviações

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS  
ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO  
ACCE – *AMERICAN COLLEGE OF CLINICAL ENGINEERING*  
AHA – *AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION*  
BS – *BRITISH STANDARD*  
EAS – ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE  
ECRI – *EMERGENCY CARE RESEARCH INSTITUTE*  
EM – *EQUIPMENT MANAGEMENT*  
EMP – *EQUIPMENT MANAGEMENT RATING*  
FDA – *FOOD AND DRUG ADMINISTRATION*  
FMEA – *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*  
FTA – *FAILURE TREE ANALYSIS*  
ICM<sub>C</sub> - ÍNDICE DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA  
IEC – *INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION*  
INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL  
ISD – INSPEÇÃO DE SEGURANÇA E DESEMPENHO  
ISO – *INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION*  
JCAHO – *JOINT COMMISSION ON ACCREDITATION OF HEALTHCARE ORGANIZATIONS*  
MC – MANUTENÇÃO CORRETIVA  
MCC – MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE  
MP – MANUTENÇÃO PREVENTIVA  
MTBF – *MEAN TIME BETWEEN FAILURES*  
MTTR – *MEAN TIME TO REPAIR*  
NBR – NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS  
OS – ORDEM DE SERVIÇO  
PE – PERNAMBUCO  
PTSM – *PLANT, TECHNOLOGY AND SAFETY MANAGEMENT*  
RAF – *ROYAL AIR FORCE*

ROMSYS – *RISK ORIENTED MAINTENANCE SYSTEM*

TPM – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (MPT)

T<sub>U</sub> – TAXA DE UTILIZAÇÃO

WHO – *WORLD HEALTH ORGANIZATION*

## Resumo

A segurança de pacientes e usuários, a qualidade no atendimento e a maior disponibilidade dos equipamentos médicos são objetivos e preocupações constantes em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Programas de manutenção preventiva contribuem para alcançar estas metas, mas a inclusão indiscriminada de todos os equipamentos torna-se inviável financeiramente para a instituição de saúde. É necessário, portanto, desenvolver uma metodologia que estabeleça a prioridade para a inclusão dos equipamentos em tais programas. Por isso, há alguns anos diversos autores (Hertz, 1990; Anderson, 1992; Kendall et al., 1993; Gullikson, 1995; Capuano & Koritko, 1996; Wang, 2000 entre outros) vêm se dedicando ao estudo e desenvolvimento de critérios de priorização de equipamentos em hospitais norte-americanos. Um dos primeiros métodos publicados, e também o mais citado na literatura é o de Fennigkoh & Smith (1989), que atribui valores quantitativos aos seguintes fatores: risco, função do equipamento e recomendações de manutenção. No entanto, a simples aplicação desses parâmetros nos hospitais brasileiros pode levar a inclusões ou exclusões inadequadas devido às diferenças culturais existentes entre a engenharia clínica no Brasil e nos EUA já observadas por diversos autores nacionais (Martins et al., 1990; Ramírez & Calil, 1996; Lucatelli, 1998). Nesse sentido, é necessário definir outros parâmetros que permitam o refinamento da metodologia de priorização, adaptando-a as necessidades dos hospitais brasileiros. Este trabalho reavalia os critérios até agora utilizados e propõe novos critérios, focalizando a importância do equipamento dentro da missão global das EAS (Wang, 2000). Critérios como: taxa de utilização do equipamento; taxa de falhas;

manutenibilidade; custos da manutenção; importância do equipamento na missão da instituição, e outros; além dos clássicos já mencionados, serão incluídos em um fluxograma de decisões de periodicidade. Pretende-se com isto determinar intervalos de MP que considerem a realidade brasileira e resultem em uma priorização mais adequada para cada equipamento.

## ***Abstract***

The safety of patients and users, the quality in the service and a higher availability of medical equipment are goals and constant worries in health institutions. Programs of preventive maintenance contribute to achieve these targets, but the inclusion of all equipment becomes financially not viable for the institution. So it is necessary to develop a way establishing the priority for inclusion of equipments in as such programs. Many authors (Hertz, 1990; Anderson, 1992; Kendall et al., 1993; Gullikson, 1995; Capuano & Koritko, 1996; Wang, 2000 among others) have developed criteria of priority for equipments in American hospitals. The first approach published, and also the most cited in the literature, is Fennigkoh & Smith's inclusion criteria (1989); this criteria attributed quantitative values to the following factors: risk, function of the equipment and recommendations for maintenance. However, the application of those parameters in Brazilian hospitals can cause an inadequate equipment inclusion or exclusions due to cultural differences between the clinical engineering practices in Brazil and in the USA. This was already observed by several Brazilian authors (Martins et al., 1990; Ramírez & Calil, 1996; Lucatelli, 1998). In that sense, it is necessary to define other parameters to allow the refinement for the criteria of inclusions and to adapt it to the needs of the Brazilian hospitals. This work analyses the criteria so far utilized and suggests new ones, focusing in the importance of the equipment inside the global mission of the hospital (Wang, 2000); rate of utilization of the equipment; rate of fails; maintainability; costs with maintenance; and others; beyond the classics already mentioned. All these

parameters were included in a decision flowchart, intending to determine intervals of PM that best fit in the Brazilian's reality.

## 1. Introdução

A engenhosidade do homem é tão antiga quanto sua própria existência. Desde os primórdios da história da humanidade o homem sempre procurou criar ou adaptar ferramentas que viessem a lhe servir de alguma forma, de modo a facilitar suas atividades. A evolução de suas “engenhosidades” se deu de forma gradual, lenta, mas contínua, apresentando uma notória aceleração após a Revolução Industrial, com o advento das máquinas a vapor.

O surgimento da indústria aliada à força produtiva dos maquinários trouxe consigo uma ênfase em conceitos como produtividade, competitividade e qualidade. Assim, para uma indústria ser competitiva no mercado, é necessário garantir padrões de produtividade e qualidade de seus produtos e serviços. Manter um quadro de maquinários e bens de produção exige investimentos elevados, de forma a garantir a sua disponibilidade e para que estes equipamentos possam ser considerados rentáveis, ou seja, para que seus custos sejam amortizados [Mirshawaka & Olmedo, 1993].

Com o advento de novas tecnologias, automação industrial, sistemas *just-in-time* e da mecanização das atividades, o termo manutenção passou a ser um ponto chave como indicador de qualidade, confiabilidade, disponibilidade e segurança de setores tão distintos quanto saúde, telecomunicações, indústria, processamento de dados, aviação, dentre outros. Verifica-se que manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do

meio ambiente e a custo adequado [Kardec & Nascif, 2001].

Particularmente, dentro de um ambiente hospitalar falhas e mau-funcionamento são pouco tolerados. Erros na interpretação de diagnósticos e/ou tratamentos podem ser considerados tão perigosos quanto a própria doença [Hayman, 2003]. Por isso deve-se concentrar esforços nas áreas que oferecem riscos mais altos [Capuano & Koritko, 1996], o que reflete diretamente a competência, seriedade e comprometimento da instituição. Os hospitais são considerados um dos maiores consumidores de tecnologia de ponta e em muitos casos também de tecnologia emergente [Keil, 2000], caracterizada pela crescente automação e complexidade dos equipamentos médico-hospitalares, de onde decorrem os seus altos custos financeiros. Tudo isso em conjunto leva os gestores da tecnologia médico-hospitalar a adotar planos de manutenção preventiva (MP). Esses planos buscam cada vez mais encontrar o perfeito equilíbrio entre tempo despendido com manutenção, dinheiro, qualidade e segurança.

Ao se implementar um programa de MP, espera-se alcançar objetivos básicos, tais como [Bronzino, 1992]:

- Aumento da segurança para pacientes e operadores;
- Redução do tempo de paralisação (*downtime*) do equipamento;
- Aumento da vida útil do equipamento;
- Garantia da exatidão dos valores obtidos em diagnósticos e entregas em tratamentos;
- Redução com os custos de manutenção corretiva;

- Diminuição de chamadas para consertos urgentes e imprevistos.

Apesar de ser evidente a necessidade de implementação de planos de manutenção preventiva bem como os benefícios deles advindos, fatores limitantes como recursos materiais, humanos e financeiros insuficientes, restringem o desenvolvimento de programas de MP em diversos grupos de manutenção de equipamentos hospitalares, principalmente no Brasil [Calil & Teixeira, 1998]. Desta forma se torna necessário desenvolver planos de MP que venham a atender o que realmente seja imprescindível e urgente. Daí surge o primeiro desafio: determinar que priorização deve ser dada aos diversos equipamentos dentro de um hospital num programa de MP, uma vez que é essencial que este programa seja seletivo para ser economicamente viável.

### **1.1. Histórico**

Os hospitais passaram por diversas modificações até atingir o que são hoje: plataformas de alta tecnologia, muitas vezes complexas, de alto custo financeiro e em constante evolução. A palavra hospital vem do latim “hospes”, o que significa “convidado”, de onde surgiu a palavra “hospitale” que significa “hospedaria”. Hospital é um lugar onde se tratam doentes, pessoas acidentadas, etc., internados ou não.

A história da arte de curar começa sistematicamente na Antigüidade Clássica, na Grécia, com Esculápio (para os romanos) ou Asclépio (para os gregos), filho de Apolo e Corônis. Asclépio foi criado pelo Centauro Quíron, o primeiro cirurgião, teve dois filhos (Macaón, cirurgião da Guerra de Tróia, e Podalírio, o pai da Psiquiatria) e quatro filhas (Panacéia, a que conhecia remédios para todas as doenças; Higéia, que

cuidava da saúde das coletividades; Áceso, a que cuidava dos doentes; e Iaso, a Cura) [Silva, 2001].

Os primeiros hospitais surgiram na Grécia antiga, por volta de 1000 AC. Conhecidos como “templos da saúde” eram denominados Aesculapia, um tributo ao deus grego da saúde, cujo símbolo é uma serpente e um bastão (*caduceu*), posteriormente assimilado pela medicina [Rezende 1999].



Nota: Cópia romana provável de um original grego da autoria de Alcamenes. Data: 400 a.C. Exposto no *Musei Vaticani, Braccio Nuovo* - Itália.  
Foto extraída de: <http://warj.med.br/img/esc/i168.asp>

Figura 1 - Asclépio, deus da saúde.

Um dos mais famosos “templos da saúde” estava situado na ilha de Kos (próxima à Turquia, entre o Mar Egeu e o Mar de Creta), terra natal de Hipócrates (460 - 370 A.C.), pai da medicina. Hipócrates foi o responsável pela medicina moderna, por apresentar as doenças como um processo natural, que seguem processos lógicos e cujos sintomas são reações do corpo à doença, opondo-se à antiga crença de que doenças eram de cunho religioso e místico [Enderle, 2000; Bronzino, 2000]. Os romanos também devem ser lembrados pela sua excelência na medicina militar: o serviço médico de seu exército era muito desenvolvido e tinham

como base as idéias de Hipócrates. Foram eles os primeiros a instalarem “hospitais bases”, cobrindo assim vários pontos estratégicos do seu império. Pode-se citar também a sua contribuição na medicina sanitária, através dos seus sistemas de esgotos e de distribuição e tratamento de água para consumo.

No período da idade média, “período das trevas”, todas as pesquisas científicas tiveram que ser abandonadas. Isso inclui o desenvolvimento das atividades médicas e pesquisas na área, as idéias de Hipócrates foram terminantemente proibidas e a prática de qualquer atividade da medicina era considerada bruxaria. Freqüentar os “templos de saúde” era taxado de heresia, sendo fortemente combatido pela Igreja, sendo os mesmos fechados. Nesse ponto da história houve um retrocesso na medicina: ela perde seu caráter científico e as doenças voltam a serem tratadas como manifestações espirituais e possessões demoníacas, sendo seu tratamento restrito a rezas, exorcismos e exibição de relíquias sagradas, e a sua cura atribuída à “vontade divina” [Bronzino, 2000].

Com a Renascença nos séculos XV e XVI, a doutrina hipocrática volta a ter força, retomando-se as pesquisas na área médica. Surgem as escolas de medicina, dentre as mais famosas Salerno, Bologna, Pádua e Oxford. Pesquisas nos campos médicos se tornaram mais intensas com o advento de equipamentos médicos que permitiam medir temperatura corpórea, pressão sangüínea, batimentos cardíacos, além do surgimento dos microscópios. Equipamentos médicos para efeitos terapêuticos utilizando energia elétrica ou magnética surgiram. Um dos primeiros, que data de 1745, foi o capacitor de *Leyden* que descarregava eletricidade estática no corpo humano [Buczkowski, 2000]. Equipamentos como estes se tornaram tão

populares que no século XIX dois livros já haviam sido publicados sobre o assunto: *A Treatise on Medical Electricity*, escrito por J. Althaus e publicado na Filadélfia em 1873; e *On the Medical and Surgical Uses of Electricity*, escrito por C.M. Beard e A.D. Rockwell, o qual teve sua oitava edição publicada em 1891 em Nova Iorque [Geddes, 1998].

Ainda no século XVI, os “templos de saúde” passam a serem conhecidos por hospitais e retomam suas atividades. Médicos e estudantes de medicina assumem seu papel dentro da instituição de saúde. Mas apesar de toda pesquisa e estudos no campo médico, os números de mortos entre os pacientes ainda eram muito altos. Como exemplo, em 1788 a taxa de mortos no *Hôtel Dru* em Paris, o mais antigo hospital existente até hoje, era próxima de 25% [Blanchard, 2000; Bronzino, 2000]. Os hospitais eram “letais” não apenas para os seus pacientes, mas também para os seus funcionários que apresentavam mortalidade entre 6 e 12% ao ano [Bronzino, 2000], o que fazia com que os hospitais não fossem bem vistos pela sociedade. Esse quadro só veio ser revertido no século XIX, através das práticas de enfermagem de Florence Nightingale (1820 – 1910), que demonstrou que o alto índice de mortalidade nos hospitais se dava mais por falta de higiene do que pelas doenças em si.

A Santa Casa de Misericórdia de Santos é considerada o primeiro hospital brasileiro e foi fundada em 1565 por padres Jesuítas. Estas instituições, baseadas em modelos portugueses, foram muito reproduzidas, de forma que praticamente todas as cidades de médio porte têm ou tiveram a sua Santa Casa [Castelar, 1993]. Em anos mais recentes, as irmandades religiosas foram abandonando as Santas Casas que se viram em mãos do poder médico local e de lideranças políticas.

Até 1900 os hospitais eram bem simples, contando apenas com alguns poucos equipamentos e o conhecimento repassado aos profissionais da saúde pelas escolas de medicina. O século XX foi marcado pela notória aceleração do desenvolvimento tecnológico em diversos campos: comunicações, agronomia, indústria, transportes e saúde, dentre outros. No campo de saúde destaca-se de forma marcante o desenvolvimento de poderosos fármacos e diversos equipamentos médicos, ambos de grande valia no diagnóstico e tratamento de várias enfermidades.

## **1.2. Engenharia Clínica**

O crescente aumento do parque de equipamentos médicos nos hospitais, alguns deles com princípios de funcionamento bastante complexos, e o aparecimento de novas tecnologias tornaram indispensável a presença de um profissional especializado para assessorar o corpo clínico, do ponto de vista técnico, no gerenciamento dessa nova tecnologia. Esse profissional é o engenheiro clínico [Calil, 1990; Bauld, 1991].

A engenharia clínica é uma particularidade da engenharia biomédica. De acordo com Bronzino (2000), o engenheiro biomédico é encarregado de prover materiais e ferramentas que podem ser utilizados em pesquisa, diagnóstico e tratamento de doenças pelos profissionais de saúde. Várias organizações deram a sua interpretação à definição de engenheiro clínico, e dentre as mais completas pode-se citar:

- Associação Americana de Hospitais (AHA – *American Hospital Association*):  
“engenheiro clínico é a pessoa que adapta, mantém e melhora o uso seguro

dos equipamentos e instrumentos do hospital” [Bronzino, 2000].

- Colégio Americano de Engenharia Clínica (ACCE – *American College of Clinical Engineering*): “engenheiro clínico é o profissional que auxilia o tratamento do paciente aplicando suas habilidades em engenharia e gerenciamento nas tecnologias aplicadas na saúde” [Bronzino, 2000; Bauld,1991].

O início da engenharia clínica se deu em 1945, na cidade de St. Louis, com a criação de um curso de manutenção para equipamentos médicos oferecido pelas forças armadas dos Estados Unidos. Este curso originou a Escola de Manutenção de Equipamentos Médicos do exército americano na cidade de Denver, e na base de treinamento da força aérea de Sheppard, [Gordon, 1990; Ramirez, 1996].

Um fator consolidante para a criação de departamentos de engenharia clínica em hospitais foi a divulgação nos Estados Unidos, no final da década de 60, de que cerca de 3 pessoas morriam por dia devido a choques elétricos relacionados com equipamentos médicos. Essa pesquisa foi realizada pelo médico cirurgião Carl W. Walter, da *Harvard Medical School*, e embora esse número nunca tenha sido devidamente comprovado, fez surgir um interesse pelo fator segurança elétrica dos equipamentos médicos [Ramirez, 1996].

No Brasil a consciência da importância da engenharia clínica chegou por volta da década de 80. Em 1986, o Ministério de Bem Estar e da Previdência Social estimou que de 20 a 40% dos equipamentos médicos no Brasil não estavam funcionando por falta de conserto, peças de reposição, suprimentos ou até mesmo devido a instalações que nunca chegaram a ser realizadas. Todo e qualquer tipo de

manutenção e inspeção dos equipamentos era realizada tradicionalmente pelos próprios fabricantes ou representantes locais, baseados em contratos de serviços anuais avaliados em 5 a 10% do valor do equipamento [Wang & Calil, 1991].

Esse quadro assumiu características diferentes com a difusão das idéias e práticas de engenharia clínica nos EAS (Estabelecimentos Assistenciais de Saúde) brasileiros. O que se observa hoje é que cada vez mais os hospitais buscam gerenciar e mesmo realizar seus serviços de manutenção e inspeção, em departamentos de engenharia clínica próprios, deixando apenas os equipamentos de tecnologia mais complexa (geralmente também os de maior custo financeiro) assistidos pelos contratos de serviços. Algumas instituições, no entanto, optam por não formar sua própria equipe de engenharia clínica, mas por terceirizar esse serviço, contratando empresas especializadas em manutenção de equipamentos médicos.

Apesar do conhecimento da importância dos serviços prestados pela engenharia clínica dentro aos hospitais, fazer engenharia clínica no Brasil ainda é um grande desafio. Isso devido à limitações de recursos financeiros, pessoal técnico qualificado e algumas vezes por falta de integração dos profissionais da saúde com o departamento de engenharia clínica dos hospitais.

### ***1.3. Manutenção Preventiva em Hospitais***

Na tentativa de resolver problemas de segurança elétrica de equipamentos eletromédicos, surgiram as primeiras normas aplicáveis a tais equipamentos. Foram elaboradas pela IEC (*International Electrotechnical Commission*), que foi a primeira

organização de normalização congregando os esforços de vários países no sentido de oferecer normas de segurança relacionadas a equipamentos médicos, face aos riscos que a eletricidade envolve.

A primeira menção à preocupação com a segurança de equipamentos eletromédicos dentro da IEC encontra-se no relatório técnico IEC 60513, tendo sua primeira edição sido publicada em 1976 com o título de “Aspectos Básicos da Filosofia de Segurança de Equipamentos Elétricos usados em Práticas Médicas” (*Basic Aspects of the Safety Philosophy of Electrical Equipment used in Medial Practice*). O relatório discute o ambiente clínico onde o equipamento está sendo utilizado e analisa alguns dos riscos (elétrico, mecânico, de explosão, de fogo, radioativos, acústicos, de temperatura e ambientais) relacionados com esse tipo de equipamento. Ele identifica a necessidade de normas de segurança nas seguintes áreas para garantir o uso seguro dos equipamentos [IEC 60513, 1994]:

- Normas de segurança relacionadas ao desenvolvimento do equipamento;
- Requisitos de instalações, com a finalidade de garantir a segurança do equipamento em determinadas aplicações clínicas;
- Diretrizes para o usuário, garantindo que o equipamento seja utilizado e mantido de forma segura.

A IEC 60513 é a base de construção da série IEC 60601. Esta série é composta pelas normas destinadas à segurança de equipamentos eletromédicos, compreendendo três tipos de normas [IEC 60513, 1994]:

- Norma Geral (IEC 60601-1), que teve seu título mudado com as sucessivas

edições: 1ª edição (1977) - “Segurança de equipamento eletromédico – Parte 1: Prescrições Gerais”; 2ª edição (1988) - “Equipamento Eletromédico – Parte 1: Prescrições Gerais para Segurança”. A 3ª edição ainda não foi oficialmente publicada, com a previsão da sua publicação para os próximos três anos. De acordo com o último resumo (*draft*) da 3ª edição já publicado em 2002 (“*Medical Electrical Equipment. Part 1 – General requirements for safety and essential performance*”), a nova edição da Norma Geral irá diferir das outras duas por reunir não apenas cláusulas referentes à segurança, mas também cláusulas de “desempenho mínimo” do equipamento.

- Normas particulares de segurança e desempenho (IEC 60601-2-xx e IEC 60601-3-xx, respectivamente), que trazem requisitos adicionais específicos para cada tipo de equipamento;
- Normas colaterais (IEC 60601-1-xx), que especificam requisitos gerais de segurança aplicáveis a grupos específicos de equipamentos eletromédicos (ex: equipamentos radiológicos, ultra-som, etc.) ou uma característica específica de todos os equipamentos eletromédicos que não está totalmente coberta pela Norma Geral.

Dentre as determinações mais importantes do relatório da IEC pode-se citar o enfoque dado à importância dos procedimentos de inspeção de segurança e desempenho (ISD) e da manutenção preventiva (MP) na prevenção de ocorrência de falhas detectáveis por tais meios, sendo o mesmo um precursor na sugestão de práticas de MP em hospitais.

Não foi apenas a IEC que manifestou a sua preocupação com relação à

segurança dos equipamentos eletromédicos. A JCAHO (*Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations*) publicou em janeiro de 1989 diretrizes denominadas “Gerenciamento de Maquinários, Tecnologia e Segurança” (*Plant, Technology and Safety Management - PTSM*). O programa sugerido inclui dentre outras atividades, inspeções periódicas, manutenções preventivas e identificação do mau funcionamento do equipamento. Inicialmente as periodicidades dessas inspeções e MP eram pré-determinados pela própria JCAHO, mas posteriormente chegou-se à conclusão que cada hospital deveria adaptar a periodicidade à sua realidade, desde que não ultrapassasse o período de um ano.

A seção PL.3 do PTSM contém os requerimentos para o gerenciamento dos equipamentos no ambiente hospitalar, de forma geral [ECRI, 1990]:

*“Deve existir um programa de gerenciamento de equipamentos destinado a avaliar e controlar os riscos clínicos e físicos oferecidos por um equipamento fixo ou portátil utilizado em diagnóstico, tratamento, monitoração e cuidados de pacientes e de outros equipamentos elétricos fixos ou portáteis”.*

Para atingir os seus objetivos, o PL.3 definiu um conjunto de requerimentos relacionados ao gerenciamento dos equipamentos, que podem ser resumidos basicamente em três:

- PL.3.1 exige que a seleção do equipamento a ser incluído no programa de gerenciamento deve ser baseada na sua aplicação clínica e no seu histórico de

incidentes de falhas;

- PL.3.2 exige testes no equipamento e programas de treinamento do usuário, com o intuito de reduzir o risco clínico e físico do equipamento.
- PL.3.3, o programa deve ser utilizado para identificar e documentar as falhas dos equipamentos e erros do usuário que possam vir a ter um efeito adverso na segurança do paciente ou na qualidade do serviço prestado.

A JCAHO sugere que seleção dos equipamentos deva ser feita por uma caracterização baseada em riscos, onde o nível do risco é determinado pelos mesmos critérios propostos por Fennigkoh & Smith (1989) [Ridgway, 2003]. Desta forma, a seleção se dá pela análise da função do equipamento, risco físico associado ao uso do equipamento, requerimentos de manutenção e incidentes históricos do mesmo.

Baseando-se no relatório da IEC (IEC 60513:1976) e no programa PTSM da JCAHO, é observado que a preocupação com a segurança do paciente e usuário foi primordial para a adoção de medidas de MP nos ambientes hospitalares. Problemas com equipamentos médicos por quebra ou mau funcionamento podem vir a ser fatais em hospitais. A manutenção tem papel fundamental nesse contexto, como em qualquer outro que se deseje manter a produção de bens ou serviços, equipamentos, maquinários e instalações, sempre sujeitos à limitação da vida útil de itens [Lucatelli, 2002]. Por mais qualificados que sejam os profissionais de saúde, não se pode falar em qualidade e segurança se não houver a garantia da funcionalidade e segurança de equipamentos e instalações.

Apesar da necessidade de garantir segurança em ambientes hospitalares, apenas um pequeno número dos hospitais nos países do terceiro mundo possui programas de MP, com a alegação de falta de recursos pessoal e financeiro [Cook, 2001]. O Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, ainda estão atrasados quanto à conscientização da importância do gerenciamento e manutenção dos equipamentos médicos. Estima-se que existam 6.000 tipos genéricos de equipamentos médicos no mundo, com mais de 750.000 modelos e marcas diferentes. No entanto, apenas 7% dos gastos anuais com equipamentos médicos em todo mundo são de países subdesenvolvidos [Cook, 2001]. A Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization* - WHO) publicou em 1987 que menos de 50% dos equipamentos médicos estavam em condições de uso nesses países.

| <b>País</b> | <b>Porcentagem de equipamentos em bom estado</b> | <b>Indicador de desenvolvimento humano (posição do ranking dos 162)</b> |
|-------------|--|---|
| Brasil      | 60% - 80%  | 69  |
| Camarões    | 60% - 80%  | 125   |
| Gana        | 74%  | 119   |
| Uganda      | 20%  | 141   |
| Costa Rica  | 86%  | 41  |
| Iêmen       | 55%  | 133   |

Tabela1- Porcentagem de equipamentos em bom estado nos países subdesenvolvidos [Cook, 2001].

É interessante observar que países como Brasil e Costa Rica, que apresentam uma posição relativamente privilegiada no ranking de desenvolvimento humano com relação aos demais 162 países, possuem uma porcentagem de equipamentos em bom estado relativamente baixa quando comparada a outros países subdesenvolvidos em condições bem piores. O Brasil, com a posição de 69<sup>a</sup> no ranking é comparável a Camarões, que só aparece na 125<sup>a</sup> posição. O que se

observa é que, pelo menos em países subdesenvolvidos, o nível de desenvolvimento humano nada diz sobre o bom estado do parque dos equipamentos médicos do país.

Uma das principais razões pela qual esses países não apresentam seus equipamentos médicos em tão boas condições de uso, com poucas exceções, é o processo de aquisição inapropriado. Por exemplo, alguns equipamentos sofisticados amplamente utilizados em países desenvolvidos, podem não ser tão apropriados para países subdesenvolvidos, onde as condições ambientais (qualidade de água, umidade, níveis de temperatura, etc.), treinamento de usuários e técnicos de manutenção são diferentes [Cook, 2001]. Outros problemas de aquisição como especificação incorreta, incompatibilidade com outros equipamentos, compra de equipamentos obsoletos que não possuem peças de reposição disponível no mercado, dentre outros, também contribui para a baixa disponibilidade dos equipamentos.

Esse quadro vem mudando na última década, pelo menos no cenário brasileiro, com o programa de acreditação dos hospitais brasileiros. A acreditação é um processo de avaliação externo, feito a partir de padrões estabelecidos e acordados previamente pela sociedade, de forma voluntária e continuada. É relacionada à qualidade assistencial, baseada na idéia de que os hospitais devam ser locais seguros para os profissionais e para os pacientes, e de que certas ações devam ser tomadas para que um hospital seja “um bom hospital” [Klück, 2002]. Dentre os conjuntos de padrões que devem ser seguidos para a acreditação ser concedida à instituição de saúde, está o programa de manutenção geral, que inclui a MP, MC e as ISDs. É importante salientar que a acreditação é voluntária, mas mesmo assim, os

hospitais brasileiros vêm procurando se adequar às novas exigências do mercado da medicina privada e de grupo, pois os seus consumidores (os pacientes), vêm tomando consciência e exigindo cada vez mais qualidade nos serviços a eles prestados.

## 2. Manutenção

Diversos autores propuseram definições para manutenção; no entanto todas convergem para um único significado. De acordo com Mirshawka & Olmedo (1993), manutenção é “um conjunto de ações que permitam manter ou estabelecer um bem dentro de um estado específico ou como uma medida para assegurar um determinado serviço”. Patton (1983 e 1988) definiu manutenção como “todas as ações necessárias para conservar um item ou restaurá-lo a uma condição específica”. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” [ABNT, 1994a].

Moubray atribuiu à manutenção a ação de assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que seus usuários querem que eles façam [Moubray, apud Lucatelli, 2002, p.35]. De acordo com a norma européia BS EM 13306, manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais realizadas durante o ciclo de vida de um item, destinadas a mantê-lo ou restaurá-lo a um estado no qual ele consiga desempenhar a sua função requerida” [British Standard, 2001].

De forma geral, a manutenção apresenta duas funções básicas: a primeira consiste em reparar, restaurar um item, equipamento ou sistema que por qualquer motivo deixou de exercer sua função; a segunda consiste em manter um equipamento ou sistema funcionando dentro do limite de suas funções pré-estabelecidas [Elias, 2002]. Ambas as funções são realizadas tanto por ações

técnicas quanto por ações administrativas.

A manutenção é um termo ligado diretamente a fatores de segurança, disponibilidade, custo e qualidade. A sua implementação busca maximizar a disponibilidade com menos custo e a mais alta qualidade sem infringir normas de segurança e causar danos ao meio ambiente [Mirshawka & Olmedo, 1993]. É importante salientar que “menos custo” não necessariamente deve ser entendido como “menor custo”, mas sim o “melhor custo”, aquele que resulta de uma maior disponibilidade e confiabilidade [Kardec & Nascif, 2001].

### ***2.1. Evolução da Manutenção***

A atividade da manutenção passou por diversas mudanças desde seu surgimento, em consequência do:

- Aumento do número e diversidade dos itens físicos que necessitam ser mantidos;
- Aumento da complexidade dos projetos;
- Surgimento de novas técnicas de manutenção.

Essa evolução teve um crescimento acelerado nos últimos 25 anos, mais do que qualquer outra atividade de gerenciamento [Moubray, apud Lucatelli, 2002, p.36], podendo ser dividida em três grandes gerações:

#### ***Primeira Geração***

Iniciou-se por volta do século XVI, com a construção das primeiras máquinas têxteis e se estendeu até a Segunda Guerra Mundial (1939). Esse período

caracterizou-se por apresentar uma indústria pouco mecanizada, com equipamentos simplificados e na maioria de vezes superdimensionados [Kardec & Nascif, 2001]. Nesse contexto, as condições eram propícias para a adoção da forma mais elementar da manutenção, a manutenção não planejada, baseada na intervenção pós-falha, ou seja, a manutenção corretiva (MC) [Lucatelli, 2002].

### ***Segunda Geração***

O grande impulso na evolução da manutenção se deu no período da Segunda Guerra Mundial. Nessa época os alemães já pensavam em confiabilidade como estudo da probabilidade de falha ao fazer o projeto dos seus aviões [Ramirez, Caldas & Santos, 2002]. A Segunda Guerra Mundial foi um marco na mudança dos conceitos de manutenção. Devido à guerra, a demanda por produtos aumentou extraordinariamente em todos os ramos da indústria. Fatores como produtividade, que até então não eram considerados prioritários, passaram a ser de suma importância para a sobrevivência da indústria. Em consequência da necessidade do aumento da produtividade surgem os fatores disponibilidade e confiabilidade do parque de equipamentos, aliados a uma diminuição em massa da mão-de-obra industrial [Kardec & Nascif, 2001]. Essas novas circunstâncias levaram a um segundo surto de mecanização industrial, além de um aumento na complexidade dos sistemas já existentes.

A partir desse momento, paradas imprevistas dos equipamentos resultando em redução de produção passaram a ser sinônimo de prejuízo, e como tal, deveriam ser evitadas. Surge então o primeiro conceito de manutenção preventiva, caracterizado

pela substituição sistemática de itens com base em intervalos ou ciclos predeterminados [Lucatelli, 1989]. Em 1945 a Força Aérea Real Britânica (RAF) já era totalmente voltada para manutenção preventiva. Esta manutenção consistia nos seguintes princípios [Ramirez, Caldas & Santos, 2002]:

- A utilização dos equipamentos leva à sua degradação;
- A degradação dos equipamentos é revertida pela troca/conserto das peças;
- Deve-se registrar tudo sobre o histórico de trocas/consertos dos equipamentos.

Até a década de 60 a manutenção preventiva consistia em intervenções feitas nos equipamentos em tempos fixos, acompanhada por manutenção corretiva quando necessário.

### ***Terceira Geração***

Inicia-se na década de 70, acompanhada pelo crescimento da automação e mecanização. Maior automação exige aumento de complexidade e resulta em maior probabilidade de falhas dos sistemas. Estas falhas precisam ser evitadas, agora não apenas por garantia de produtividade, mas acima de tudo para assegurar qualidade de produtos, serviços, segurança e redução ao máximo do lucro cessante. Essa inevitável evolução deu-se sobretudo pelas novas exigências de mercado, que devido à globalização, acirraram a competitividade entre as empresas.

Na tentativa de se atingir todos esses pontos dá-se início à interação entre as fases de implantação de um sistema (projeto, fabricação, instalação e manutenção), de forma a fazer com que essa interação reflita diretamente na disponibilidade e confiabilidade dos sistemas.

## **2.2. Tipos de manutenção**

A manutenção apresenta-se sob diversas formas, cada qual com suas características particulares, mas assemelhando-se por convergirem ao mesmo resultado enunciado pela definição básica de manutenção: manter e/ou recolocar nas condições desejadas de bom funcionamento. O que leva à opção por um tipo ou outro de manutenção são as particularidades do sistema ao qual será aplicado o programa de manutenção. Além disso, observa-se que não há unanimidade entre os autores com relação à grande variedade da terminologia atual [Lucatelli, 2002]. De acordo com Lafraia (2001), a manutenção é classificada basicamente como corretiva e preventiva. Considerando-se as interpretações de Kardec & Nascif (2001), as atividades de manutenção principais são: manutenção corretiva não planejada, manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção. Assim como Lafraia (2001), Vizzoni [Vizzoni, apud Lucatelli, 2002, pg. 40] e Smith [Smith, apud Lucatelli, 2002, pg. 40] agrupam os tipos de manutenção em preventiva e corretiva. No entanto diferem daquele por enquadrarem a manutenção preditiva e a detectiva como técnicas de manutenção preventiva. Já Ramirez, Caldas & Santos (2002), classificam os tipos de manutenção em: manutenção corretiva, manutenção preventiva (subdividida em sistemática ou programada, condicional e preditiva), manutenção de melhorias e manutenção proativa.

De acordo com a norma europeia BS EN 13306, que define as terminologias da manutenção, existe um total de doze tipos de manutenção. Eles estão relacionados abaixo com a definição dada pela referida norma, bem como a definição de outros

autores para os mesmos termos.

- Manutenção Corretiva (MC): “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida” [*British Standard* EN 13306, 2001]. De acordo com Ramirez, Caldas & Santos (2002) é “a manutenção feita para restabelecer um sistema técnico, um bem ou um serviço cujo desempenho tenha sofrido uma queda depois de ter saído de um estado específico”.
- Manutenção Preventiva (MP): “manutenção estabelecida em intervalos predeterminados de tempo ou de acordo com critérios prescritos com a finalidade de reduzir a probabilidade de falhas ou de degradação de um item” [*British Standard* EN 13306, 2001]. O *Emergency Care Research Institute* (ECRI) definiu como “procedimentos periódicos com a intenção de minimizar o risco de falha e de garantir a operação desejada” [ECRI, 1995]. De acordo com Lafraia (2001) é “um conjunto de procedimentos que procura reter o sistema em estado operacional ou disponível através da prevenção da ocorrência de falhas”.
- Manutenção Preditiva (MPd): “manutenção baseada em condição determinada por meio de resultados observados em análises e avaliações de parâmetros significativos da degradação de um item” [*British Standard* EN 13306, 2001]. Kardec & Nascif (2001) definem como “a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”.
- Manutenção Programada (MPg): “é uma MP estabelecida de acordo com um

tempo programado ou de acordo com um número fixo que indique unidade de uso” [*British Standard* EN 13306, 2001]. Entende-se por “unidade de uso” quilometragem, procedimentos efetuados, horas, ou outra unidade de medição [Ramirez, Caldas & Santos, 2002].

- Manutenção Predeterminada (MPdt): “é uma MP estabelecida de acordo com um tempo programado ou de acordo com um número fixo que indique unidade de uso, sem no entanto apresentar uma prévia investigação de condição” [*British Standard* EN 13306, 2001].
- Manutenção baseada em Condição (MbC): “é uma MP baseada em monitoração de desempenho e/ou parâmetros” [*British Standard* EN 13306, 2001]. É considerada o mesmo que MPd.

Os outros seis termos definidos pela norma, caracterizam mais um modo de execução da manutenção do que um tipo propriamente dito.

- Manutenção Remota (MR): “manutenção realizada sem o acesso físico do executor da manutenção ao item” [*British Standard* EN 13306, 2001].
- Manutenção Adiada (MA): “é uma MC que tem sua ação adiada por um certo período de tempo após a detecção de uma falha obedecendo a regras de manutenção previamente estabelecidas” [*British Standard* EN 13306, 2001].
- Manutenção Imediata (MI): “é uma manutenção que deve ser executada imediatamente após a detecção da falha, com a finalidade de se evitar condições inaceitáveis” [*British Standard* EN 13306, 2001].
- Manutenção On-line (MOI): “manutenção executada enquanto o item está em uso” [*British Standard* EN 13306, 2001].

- Manutenção Local (ML): “manutenção realizada no local de operação do item” [British Standard EN 13306, 2001].
- Manutenção do Operador (MOp): “manutenção realizada pelo próprio operador ou usuário” [British Standard EN 13306, 2001].

Outros termos referentes a tipos de manutenção que não são definidos pela norma BS EN 13306, mas que são mencionados por outros autores estão relacionados abaixo:

- Manutenção Corretiva não-planejada [Kardec & Nascif, 2001]: “é a correção da falha de maneira aleatória”.
- Manutenção Corretiva planejada [Kardec & Nascif, 2001]: “é a correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função do acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra”.
- Manutenção Detectiva [Kardec & Nascif, 2001]: “é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”.
- Engenharia de Manutenção: “Praticar a Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural, é procurar as causas básicas que levaram à falha, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a mantabilidade, dar realimentação ao projeto” [Kardec & Nascif, 2001]. As duas metodologias mais utilizadas que são partes integrantes da Engenharia de Manutenção são a Manutenção Produtiva Total (TPM) e a Manutenção

Centrada em Confiabilidade (MCC) [Lucatelli, 2002].

- Manutenção de Melhorias [Ramirez, Caldas & Santos, 2002]: “consiste em levar em conta os fatores de confiabilidade (grau de confiança), facilidade de manutenção e ergonomia ao se fazer o projeto dos equipamentos”.
- Manutenção Proativa [Ramirez, Caldas & Santos, 2002]: “manutenção que ataca a raiz dos problemas, resolvendo-os de modo definitivo. Analisando as causas da falha e não os seus sintomas”. Está intimamente relacionada com a Engenharia de Manutenção.

Apesar dos diferentes tipos de manutenção, todos são destinados a uma mesma função: “manter e/ou recolocar um equipamento ou instalação em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” [Oliveira, 2003]. No entanto, como Kardec havia afirmado: “para a manutenção contribuir efetivamente para que a empresa caminhe rumo à excelência empresarial, é preciso que a sua gestão seja feita com uma visão estratégica”. O alcance dessa visão deve ser baseado por metas estratégicas e regido por processos de gestão ou caminhos estratégicos (“melhores práticas”). Uma maneira de definir as citadas metas é o *benchmarking*, processo de análise e comparação de empresas do mesmo segmento de negócios [Oliveira, 2003].

Devidos cuidados devem ser tomados ao se realizar *benchmarking* entre hospitais de perfis diferentes, pois algumas vezes os mesmos parâmetros de diferentes hospitais não devem ser comparados, uma vez que realidades distintas exigem adoção de planos de gestão igualmente distintos, e o que é bom para um hospital pode não ser para outro. Um exemplo claro é a taxa de falhas de uma

determinada classe de equipamento. Hospitais que possuem ambientes diferentes e usuários diferentes (com treinamentos distintos), certamente apresentam taxas de falhas também diferentes, de forma que a periodicidade ideal da MP para um hospital não é a mesma para o outro. Portanto, *benchmarking* entre esses hospitais pode ser feito, contanto que certas ponderações sejam adotadas.

### ***Manutenção Preventiva versus Inspeção de Segurança e Desempenho***

Não se deve confundir MP com Inspeção de Segurança e Desempenho (ISD). Considerar a equidade dos termos conduz à falsa impressão de que uma ISD pode prevenir uma falha, quando na verdade seu resultado é detectar uma falha. Muitos engenheiros clínicos e técnicos em engenharia biomédica costumam confundir esses termos. De acordo com o ECRI (1995) as atividades de inspeção incluem:

- Exame visual, verificação de operação funcional e medidas para determinar as seguranças elétricas, mecânicas, pneumáticas, térmicas, químicas e/ou radiológica;
- Teste de características de desempenho significantes, a fim de verificar se o desempenho do equipamento está de acordo com o desejado e com o especificado pelo fabricante;
- Elaboração de relatório com os resultados da inspeção.

Enquanto as atividades de manutenção preventiva abrangem [ECRI, 1995]:

- Limpeza externa das superfícies para remover corrosões, sujeiras, sangue e outros depósitos (a limpeza deve ser também parte das atividades do usuário);
- Limpeza de componentes internos (filtros, foles, etc.). Isso não é necessário ou

recomendável para todos os tipos de equipamentos, apenas para certos tipos, os quais são solicitados no manual do fabricante;

- Ajustes físicos dos terminais de controle externos, relógios e indicadores;
- Ajustes físicos de parafusos, porcas e/ou qualquer outra parte solta;
- Ajustes de parâmetros;
- Reposição de buchas dos motores (caso a troca ocorra depois de parada do equipamento devido a desgaste total da bucha, é considerada uma MC);
- Lubrificação de motores, rolamentos e/ou qualquer parte mecânica que necessite de lubrificação;
- Substituição de baterias (quando necessário);
- Reposição de tubos, filtros, etc.

A confusão entre ISD e MP se faz pelo fato de alguns testes e medições de parâmetros de desempenho, destinados a detectar degradação e/ou iminência de ocorrência de falha, serem considerados parte de um tipo específico de manutenção preventiva, a manutenção preditiva. A diferença entre esses testes específicos e uma ISP é que geralmente aqueles são seguidos de uma ação de correção de parâmetros ou reposição de parte gasta pelo uso, caracterizando assim uma MP. Deve-se estar atento para não utilizar o termo “calibração” quando se quiser referenciar uma correção ou ajuste de parâmetros. De acordo com o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) calibração é um conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os

valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões que garantam uma rastreabilidade. O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações como a determinação das correções a serem aplicadas [INMETRO, 2000]. Portanto, calibração não é sinônimo de correção e sim de aferição. A correção ou ajuste pode ou não ser uma ação subsequente à calibração, dependendo da necessidade.

Emprega-se a expressão “MP” quando ações de reposição de partes ou de correção de parâmetros são realizadas com a finalidade de se evitar uma falha [Wang & Rice, 2003]. Deve-se observar que a reposição de qualquer parte do equipamento em MP que se dá pelo seu desgaste (parte gasta, mas ainda em funcionamento) e não pela sua quebra. Reposições de partes por quebra caracterizam uma MC.

Nada impede que MP e ISD sejam realizadas em conjunto, com intervalos de tempos distintos. Uma ISD deve ser realizada após procedimentos de MP e MC para assegurar que o equipamento está realmente operando de forma satisfatória e com segurança [Wang & Rice, 2003]. Está em curso o estudo da norma IEC 62353 – *Medical Electrical Equipment: Recurrent Test and Test after Repair of Medical Electrical Equipment*, que irá tratar sobre esses assuntos, MP e ISD.

### 3. Falhas

Todas as definições de manutenção apresentada pelos diversos autores estão relacionadas com um termo em comum: falha. Torna-se necessário conceituar que vem a ser uma falha.

Falha é a cessação da habilidade de um item em desempenhar a sua função requerida [*British Standard 13306*, 2001]. Espera-se com medidas de MP reduzir ao máximo a ocorrência de tal evento, garantindo assim maior disponibilidade e segurança do item.

Um fator muito importante ao se analisar as falhas de um sistema é o tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failure*). O MTBF nos fornece uma idéia do tempo ótimo para que medidas sejam tomadas a fim de que a disponibilidade e os níveis de segurança sejam mantidos. O seu valor é inversamente proporcional à taxa de falhas ( $\lambda$ ), a qual por sua vez exprime o número de falhas por unidade de tempo. Das definições supracitadas temos que:

$$\lambda = \frac{\#Falhas}{Tempo}$$

#Falhas: número de falhas

Pode ser expresso em anos, meses, semanas, horas de operação, horas de teste, etc.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$\lambda$  : taxa de falhas

Sabe-se que um sistema é constituído por diversos itens, e que cada item apresenta a sua taxa de falha e conseqüentemente o seu próprio MTBF. Então como determinar o MTBF de um sistema constituído de vários itens isolados? Isso é obtido

por meio da análise da confiabilidade de sistemas, onde se trabalha com a probabilidade de falha do sistema considerando a probabilidade de falha de cada item que o constitui. Tal abordagem escapa dos limites desta dissertação, mas pode ser aprofundada em Lafraia (2001).

Considerando a representação dos modos de falhas de um sistema inteiro, ou seja, com todas as partes que o constituem, podem-se apresentar alguns tipos de falhas. A probabilidade acumulada de falhas é traçada contra o tempo de operação do sistema. A mais clássica de todas é a curva da banheira, ilustrada na Figura 2.

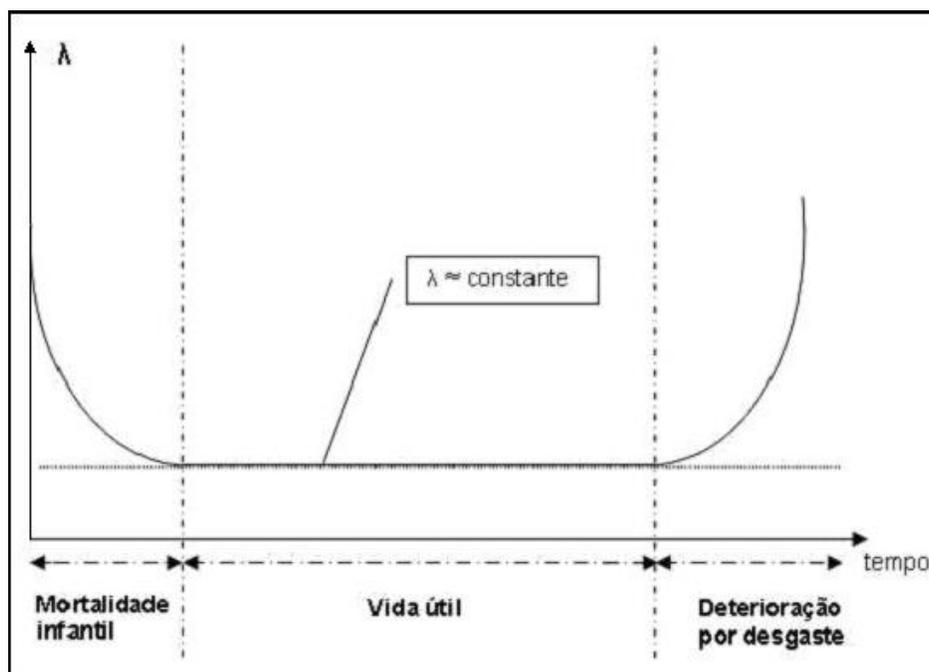


Figura 2 - Curva da banheira.

As partes constituintes da curva da banheira são:

- “Mortalidade infantil” (ou fase inicial de falhas): período caracterizado por uma taxa de falhas relativamente alta, que decresce com o tempo.
- Vida útil: representa a “idade adulta” do sistema. Nessa fase pode-se considerar

a taxa de falhas praticamente constante.

- Deterioração por desgaste: nessa fase observa-se um aumento na taxa de falhas devido a processos de deterioração (mecânica, elétrica, química, etc.).

Embora essa seja uma ilustração clássica do modo de falha de um sistema, ela não pode ser aplicada a todos os sistemas, sendo outras curvas também encontradas na literatura. Segundo Lafraia (2001) os modos de falhas principais são seis, ilustrados na Figura 3.

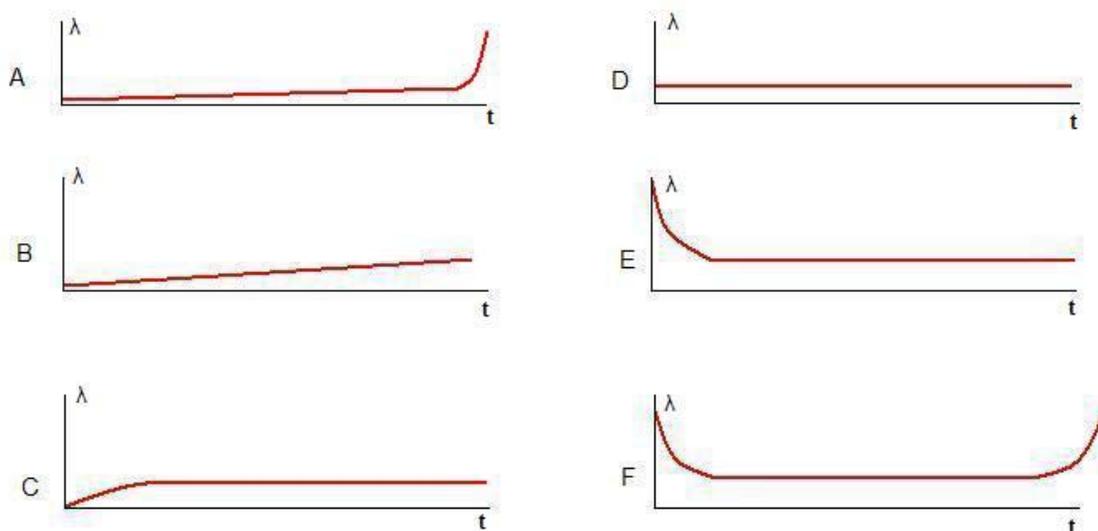


Figura 3 - Modos de Falha segundo Lafraia (2001).

- Modo A: apresenta uma taxa de falhas gradualmente crescente e uma zona de desgaste bastante acentuada. Descreve falhas associadas com a idade do sistema. Diferencia-se da curva da banheira por não apresentar o período de mortalidade infantil.
- Modo B: taxa de falhas levemente crescente, porém sem uma zona de desgaste definida, caracteriza falhas por fadiga dos materiais.
- Modo C: apresenta taxa de falhas baixas mas crescente no período infantil, ou

seja, enquanto o sistema é “novo”, e após esse período uma taxa de falhas constante.

- Modo D: uma taxa de falhas constante durante toda vida útil do sistema. Caracteriza as falhas aleatórias.
- Modo E: inicia com uma redução rápida da taxa de falhas, seguido por um período de taxa de falhas constante. É considerado o mais usual dos modos de falha, indica que a maior probabilidade de falhas ocorre quando o sistema é novo ou recém restaurado.
- Modo F: curva da banheira.

Estudos em aeronaves civis apontam uma distribuição de ocorrência de modos de falhas de forma não uniforme. Observa-se na Figura 4 que apenas 4% dos itens atuam conforme o modo de falha da curva da banheira (Modo F); 2% do modo A; 5% do modo B; 7% do modo C; 14% do modo D; e 68% modo E [Lafraia, 2001]. Quanto à natureza dos itens, o modo A, B e F representam componentes mais simples; já os modos C, D e E descrevem os modos de falha de sistemas mais complexos, como

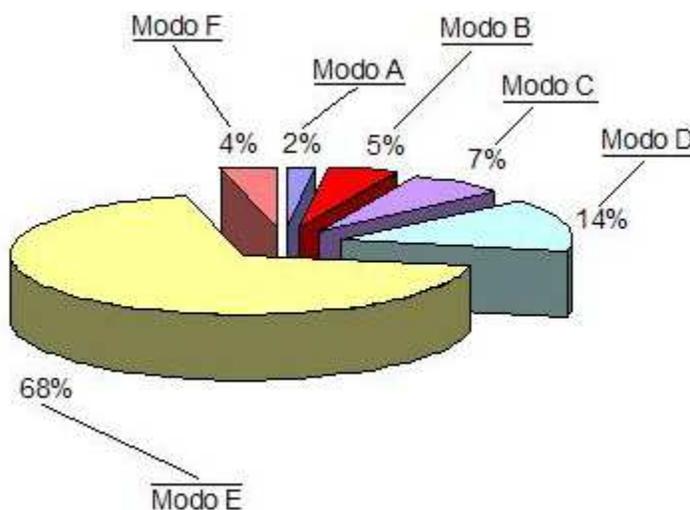


Figura 4 - Porcentagem de ocorrência de modos de falhas em aeronaves.

sistemas de controle hidráulico, eletrônico e pneumático, os quais possuem características de falhas aleatórias [Lucatelli, 2002].

### **3.1. Falhas no ambiente hospitalar**

Ao se considerar falhas em um ambiente hospitalar, em especial em se tratando de equipamentos médicos, uma série de possíveis “responsáveis” pelas falhas devem ser analisados: equipamento, operador, paciente, agente da manutenção, instalações e ambiente [Shepherd’s System, 1998].

#### ***Equipamento***

Pode ter seu desempenho e/ou segurança afetados por fatores intrínsecos ou extrínsecos. Apresenta como sub-componentes:

- Projeto de Fatores Humanos: leva em consideração a facilidade de interface do operador com o equipamento, ou seja, a sua ergonomia. O sub-comitê 62A da IEC está estudando a proposta de uma nova norma, a IEC 60601-1-6 (*Medical Electrical Equipment – Part 1 – 6: General requirements of safety – Collateral standard: Usability*). Esta norma irá tratar da facilidade de utilização do equipamento, reduzindo-se desta forma as incidências de falhas por erro do operador.
- Projeto de Circuitos e Partes: estrutura dos circuitos e partes que compõem o equipamento, garantindo segurança ao paciente e ao operador. O equipamento médico deve estar em conformidade com a norma IEC 60601-1:1988 (*Medical Electrical Equipment. Part 1 – General requirements for safety and essential performance*), bem como com a sua norma particular (quando existir). A

legislação brasileira exige conformidade do equipamento com a norma IEC 60601-1:1988 desde que exista uma norma particular da ABNT para o mesmo que seja equivalente à norma particular IEC 60601-2-xx. Neste caso, o equipamento deve estar em conformidade com a ambas (NBR IEC 60601-1 e NBR IEC 60601-2-xx).

- Deterioração: processo lento e previsível do desgaste das partes do equipamento por uso ou condições ambientais. Programas de manutenção preventiva devem ser utilizados para amenizar os seus efeitos.

### ***Instalações***

Compreende todos os agentes auxiliares ao funcionamento do equipamento, como: eletricidade, gases medicinais, umidade, temperatura, etc. Apresenta como sub-componentes:

- Projeto de Fatores Humanos: determina a facilidade de utilização (ergonomia) das instalações. São definidos por normas e códigos ou por arquitetos e engenheiros na fase de projeto do hospital. Por exemplo: conectores de gases em formatos e cores diferenciados para evitar conexões equivocadas.
- Projeto de Partes e Sistemas: compreende as decisões tomadas quando da seleção de equipamentos e instalações, por exemplo: uma falha no sistema elétrico devido a uma sobre-corrente, seleção inadequada do nível de temperatura e umidade em um recinto, comprometendo o funcionamento de um equipamento sensível a tais parâmetros, etc.
- Deterioração: processo lento e previsível do desgaste de partes das instalações por uso ou condições ambientais (ex: desgaste de encaixes de tomadas)

elétricas, ocasionando mau contato elétrico). Programas de manutenção preventiva devem ser utilizados para amenizar os efeitos da deterioração.

- **Agente da Manutenção:** pessoal responsável por realizar a manutenção da instalação. Uma ação ou falta de ação sua pode resultar na correção ou não da falha.

### ***Agente da Manutenção***

O “agente da manutenção” engloba todo o pessoal responsável por realizar a manutenção do equipamento e/ou instalações. Uma ação (ou falta de ação) sua pode evitar ou corrigir uma falha. Por exemplo, a reposição de uma parte do equipamento por outra que não seja o seu substituto equivalente pode resultar em uma operação incorreta, oferecendo risco ao paciente e ao operador, ou em uma rechamada<sup>1</sup> do equipamento.

### ***Paciente***

Pode ser classificado em dois tipos:

- **Ativo:** pacientes cujos atos decorrentes de necessidades, desejos, curiosidade ou ações incontroláveis, afetam o desempenho e a segurança do equipamento. Esses são subdivididos em: “educados”, os que podem ser treinados (educados) para correta utilização do equipamento ou ao menos para não interferir no funcionamento do mesmo; e os “não-educados”, que necessitam de vigilância constante por não conseguirem assimilar o treinamento e/ou não

---

<sup>1</sup> Rechamada do equipamento é o retorno do mesmo ao serviço de manutenção corretiva após um curto período desde a última manutenção corretiva. O índice de rechamadas pode ser utilizado pelo grupo de engenharia clínica como um dos indicadores para avaliação da qualidade dos serviços oferecidos [Calil & Teixeira, 1998].

atenderem às solicitações de não interferir no funcionamento do equipamento.

- Passivo: pacientes cujas condições físicas impossibilitam qualquer interação com o equipamento, sendo totalmente dependentes das ações e decisões do operador.

### ***Operador***

É o operador direto do equipamento e das instalações. Pode comprometer a própria segurança, de outros operadores e a do paciente por:

- Mau uso: ação que ocasione uso inseguro do equipamento ou instalação. Seu controle inclui educação e treinamento mínimo para a correta operação do equipamento e conhecimentos do projeto de fatores humanos do equipamento e instalações, além do conhecimento sobre a condição do paciente e das condições ambientais.
- Abuso: quando uma ação do operador submete o equipamento a níveis de solicitação acima do normal.
- Falta de atenção: mau uso ou abuso decorrentes de fatores como distração, frustração, fadiga, estresse, sono e/ou outras condições adversas.

### ***Ambiente***

Compreende todas as influências ambientais, que podem ser:

- Externas: descargas atmosféricas, inundações etc., são condições que afetam o desempenho e segurança dos equipamentos e sobre os quais se tem pouco ou nenhum controle.
-

- Internas: a causa da falha do equipamento é atribuída a um fator ambiente interno ao meio (hospital/clínica), e sobre o qual se tem controle (iluminação, temperatura, umidade, interferência eletromagnética, etc.). Neste caso a incompatibilidade pode ser corrigida e mantida sob controle.

## 4. Métodos de Priorização de Manutenção Preventiva

Baseados na necessidade de otimizar os recursos financeiros e humanos do hospital, bem como viabilizar programas de MP, diversos autores vêm propondo modelos de priorização de equipamentos médicos em programas de manutenção preventiva. Embora com métodos diferentes, o objetivo comum de todos é a seletividade. Dentre os principais métodos propostos nos últimos anos tem-se:

### ***Fennigkoh & Smith (1989)***

O método de priorização de Fennigkoh & Smith é o mais conhecido, tendo sido um dos primeiros a ser publicado, e teve como idéia inicial a proposta da AHA. Embora muitos outros tenham sido apresentados depois deste, alguns até mais completos, este método ainda continua sendo um dos mais utilizados, tendo sido reconhecido pela JCAHO e divulgado como uma de suas publicações oficiais. É baseado em três critérios: risco físico oferecido pelo equipamento ao paciente e/ou operador (morte, terapia inadequada, dano irreversível, etc); requerimento de manutenção (mensal, trimestral, semestral, anual, etc.); e função do equipamento (diagnóstico, terapia, suporte à vida ou monitorização). Ponderando esses critérios é estabelecido um valor numérico (EM – *equipment management*) para o equipamento. Apenas equipamentos com EM acima de um valor pré-determinado são incluídos no programa de MP [Wang & Levenson, 2001].

### ***Hertz (1990)***

Recomenda a priorização baseada no nível de risco ao qual o paciente e/ou

operador é exposto em caso de falha do equipamento. Analisa a probabilidade do equipamento causar lesão através das seguintes considerações: a probabilidade do equipamento estar quebrado, a probabilidade de detecção da quebra do equipamento antes que este venha a ser utilizado, e a probabilidade de que o equipamento quebrado seja utilizado e cause algum tipo de lesão. Essas probabilidades analisadas em conjunto resultam na “pontuação de severidade”.

A priorização dos equipamentos é feita baseada na “pontuação de severidade” no tempo da última MP, de forma que se o equipamento ainda estiver no limite do intervalo de MP pré-estabelecido, seu índice de MP será zero. Caso contrário, o índice de MP assumirá o valor de:

$$PM_{index} = P_s \times \frac{Tu_{MP}}{Int_{MP}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- $PM_{index}$ : índice de MP;
- $P_s$ : pontuação de severidade;
- $Tu_{MP}$ : tempo transcorrido desde última MP;
- $Int_{MP}$ : intervalo de MP.

Quanto maior for o valor do  $PM_{index}$ , maior será a criticidade do equipamento, e conseqüentemente, maior a sua priorização.

### ***Martins et al. (1990)***

Baseia-se numa matriz de prioridades, onde são estabelecidos índices entre 1 e 10 que refletem a importância do equipamento sob análise. Quanto maior o índice,

maior a importância do equipamento em relação aos demais. A avaliação é feita levando-se em consideração:

- Custo com MC;
- Manutenibilidade: facilidade de manutenção;
- Confiabilidade: probabilidade de falha;
- Grau de dependência: avalia qual a influência de um equipamento específico na operação de um conjunto de equipamentos;
- Grau de utilização: baseado no número de horas que o equipamento é utilizado;
- Existência de alternativa: avalia a possibilidade do equipamento ser temporariamente substituído;
- Grau de urgência: caracteriza a necessidade de um atendimento prioritário definida em conjunto com a direção do hospital.

A cada um desses critérios é atribuído um valor numérico, e ao final da análise todos os valores são somados obtendo-se o índice de importância do equipamento.

### ***Anderson (1992)***

Propôs seu método baseado no trabalho de Hertz. Analisa a necessidade de MP levando em consideração como a falha do equipamento afetará a qualidade do tratamento médico, e se a falha causar algum tipo de lesão ao paciente e/ou operador qual será a severidade da lesão causada por essa falha.

De acordo com esses critérios os equipamentos são agrupados por códigos:

- Código 1: nesse grupo são incluídos equipamentos cujas falhas têm grande

- probabilidade de causar lesões graves e até a morte do paciente ou operador;
- Código 2: compreende os equipamentos cujas falhas podem causar lesões, resultando em um diagnóstico errôneo ou um período de recuperação mais prolongado mas sem grandes chances de levar à morte do paciente ou operador.
  - Código 3: corresponde aos equipamentos cujas falhas são causadoras de lesões de amplitudes pequenas, como camas, equipamentos para exercícios físicos, focos cirúrgicos, esfigmomanômetros, estimuladores musculares, dentre outros;
  - Código 4: nesta classe são incluídos os equipamentos que quando em condição de falha não causam dano algum ao paciente ou operador.

#### ***Moussavi & Whitmore (1993)***

Não chega a ser uma nova proposta de método de priorização, é apenas uma revisão de pontos chaves de outros métodos, baseado nos fatores de risco, função do equipamento, requerimento de manutenção e histórico do equipamento. De forma semelhante ao método de Fennigkoh e Smith (1998), por meio desses fatores encontra-se um EM. Definiu-se que equipamentos com EM maiores que 12 devem ser incluídos nos programas de MP. A frequência é semestral ou anual, dependendo do requerimento de manutenção exigido pelo equipamento.

#### ***Kendall et al. (1993)***

Seu método não define exatamente uma priorização, mas sim uma periodicidade de MP baseada no histórico do equipamento. A frequência de MP é

definida de acordo a necessidade de MC observada entre MPs, ou seja, caso o equipamento não tenha apresentado necessidade de algum tipo de corretiva desde a última MP, interpreta-se que o equipamento está operando satisfatoriamente, de forma que a MP pode ser reduzida, obedecendo aos seguintes critérios:

- Número de consertos entre MP  $> 3 \geq \text{FreqMP} = \text{FreqMP} + 1$ ;
- Número de consertos entre MP  $< 2 \leq \text{FreqMP} = \text{FreqMP} - 1$ .

$\text{Freq}_{\text{MP}}$  = frequência de MP expressa em vezes por ano.

Alguns equipamentos possuem periodicidade de MP fixas, como os de suporte à vida, os que fornecem altos níveis de energia, os que possuem componentes sujeitos a desgaste e os sujeitos a normas locais de MP.

### **Capuano & Koritko (1996)**

Conhecido como método de ROMSYS (*Risk Oriented Maintenance System*), este é um sistema de gerenciamento automatizado regido por fatores baseados em risco. Sua função primordial é focar a MP em equipamentos que realmente necessitem dela, por meio de fatores como:

- Determinação do nível de risco do equipamento, através do qual se chega a um intervalo inicial de MP;
- Ajuste desse intervalo de acordo com a relação entre o número de MP com reparo e o número total de MPs;
- Determinação do  $PM_{index}$ , o mesmo definido por Hertz (1990);
- Eficiência da atividade de MP, baseada no nível de risco do equipamento e no tempo de atraso de MP desses equipamentos;
- Idade do equipamento;

- Custo anual de reparos e manutenções preventivas;
- Indicação de MP, baseada no tempo necessário para cada manutenção; nível de risco e complexidade do equipamento, e necessidade de vistoria na bateria (se for o caso).

### ***Ramirez (1996)***

Faz uma priorização de MP baseada em risco, fator de importância estratégica, requerimento de manutenção, histórico dos equipamentos e viabilidade da MP. A cada um desses fatores é atribuída uma pontuação, os pontos dos fatores para cada classe de equipamentos são somados obtendo-se o número de prioridade do equipamento (PE).

### ***Sánchez (1997)***

Seu trabalho propõe um método estruturado em:

- Fator de risco, relacionado com os riscos associados ao projeto e fabricação do equipamento;
- Fator de consequência da falha (morte, lesão física, maltrato, incômodo ou insatisfação, demora na recuperação, sem consequências);
- Necessidade de manutenção, avalia as necessidades de manutenção periódica (existência de peças sujeitas a desgaste, baterias, necessidade de lubrificação, etc.);
- Fator de proteção, avalia a existência de dispositivos que possam vir a oferecer algum tipo de proteção ao paciente/operador em caso de falha do equipamento;
- Fator de mortalidade, avalia a existência de saídas perigosas que possam vir a

causar riscos diretos ou indiretos ao paciente/operador;

- Fator de uso, especifica a taxa de utilização do equipamento;
- Complexidade tecnológica do equipamento;
- Regime de operação (contínuo, intermitente, não contínuo);
- Condições ambientais (adversas e severas; adversas mas moderadas; e ideais);
- Operatividade, indica a capacidade do equipamento operar durante um tempo determinado sem apresentar falhas (MTBF).

Assim como nos demais métodos, esses fatores são quantificados e seus valores somados obtendo assim um número de priorização.

### ***Calil & Teixeira (1998)***

Método baseado em risco, importância estratégica e requerimento de manutenção. É sugerido que sejam incluídos os equipamentos que:

- Ofereçam um alto risco à vida do paciente ou operador em caso de falha;
- Cujas paralisações cause receita cessante ao hospital ou dificulte a realização de um ou mais serviços oferecidos;
- Possuam alto grau de utilização;
- Sujeitos a algum tipo de norma de fiscalização por parte órgãos governamentais;
- Possuam recomendação do fabricante para MP por apresentarem peças de vida útil pré-determinada ou que devem sofrer inspeções de rotina.

***Silva & Pineda (2000)***

Método baseado em indicadores cujas variáveis são agrupadas em quatro categorias:

- Fatores de risco: fatores que dependem das características e da função dos equipamentos (diagnóstico, monitoração, terapia, etc.) e o risco potencial associado ao paciente, técnicos e operadores;
- Fatores de projeto: levam em consideração os fatores associados com projeto e construção do equipamento, como quantidade de variáveis de controle, número de alarmes, etc.;
- Fatores de operação: número de pessoas que opera o equipamento, seus níveis de treinamento, mobilidade do equipamento, etc.;
- Fatores econômicos: custo com manutenção (MP e MC) e custo de reposição do equipamento.

De acordo com o intervalo de pontuação, o equipamento é incluído em programas anuais, semestrais, trimestrais, mensais e quinzenais de MP ou mesmo excluído dos mesmos.

***Wang & Levenson (2000)***

Este método também se baseia em parâmetros de risco, requerimento de manutenção e incidência histórica. No entanto propõe a exclusão da função do equipamento (diagnose, terapia, monitoração, suporte à vida), incluindo em seu lugar a importância estratégica do equipamento na missão global da instituição, ou seja, quantas pessoas ou procedimentos serão afetados pela falta do equipamento. Outro

fator que também passa a ser observado é a taxa de utilização do equipamento. De posse desses fatores é obtido o *EMR (Equipment Management Rating)* pela seguinte equação:

$$EMR = (M_C + 2 \times R_{Manu}) \times Tx_U + 2 \times Risco \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- $M_C$ : missão crítica;
- $R_{Manu}$ : requerimento de manutenção;
- $Tx_U$ : taxa de utilização.

Analisando todos os métodos propostos acima, observa-se que todos consideram essencialmente um mesmo critério: o risco oferecido pelo equipamento ao paciente/operador. Partindo daí, cada método acrescenta outros critérios julgados importantes. Nas tabelas abaixo há um resumo dos diversos métodos de priorização.

| <b>Referência(s)</b>                  | <b>Crítérios de priorização de equipamentos médicos em MP</b>  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Fennigkoh &amp; Smith (1989)</b>   | - Função do equipamento;<br>- Risco físico para paciente/operador;   |
| <b>Moussavi &amp; Whitmore (1993)</b> | - Histórico de falhas;<br>- Necessidade de manutenção.   |
| <b>Hertz (1990)</b>                   | - Probabilidade de quebra do equipamento;<br>- Probabilidade do operador não perceber a falha;<br>- Probabilidade de a falha atingir o paciente;<br>- Equipamentos com a MP atrasada.  |
| <b>Martins et al. (1990)</b>          | - Grau de urgência do equipamento;<br>- Grau de dependência do equipamento;<br>- Grau de utilização do equipamento;<br>- Não confiabilidade do equipamento;<br>- Não existência de alternativa;<br>- Viabilidade de realização da MP;<br>- Custo com conserto. |
| <b>Anderson (1992)</b>                | - Risco físico para paciente/operador;<br>- Efeitos sobre o tratamento do paciente;<br>- Efeito da falha do equipamento no paciente.   |
| <b>Kendall et al. (1993)</b>          | Prioridade para equipamentos:<br>- de suporte à vida;<br>- com peças de vida útil pré-determinada;<br>- que fornecem altos níveis de energia;<br>- sujeitos a normas de MP.  |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Capuano &amp; Koritko (1996)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para paciente/operador;</li> <li>- Função do equipamento;</li> <li>- Conseqüência da falha;</li> <li>- Histórico de falhas;</li> <li>- Análise dos custos de ciclo-de-vida dos equipamentos.</li> <li>- <i>PMindex</i> proposto por Hertz (1992).</li> </ul>                         |
| <b>Ramírez (1996)</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para pacientes/operadores;</li> <li>- Requerimento de manutenção (fabricante);</li> <li>- Histórico de falhas;</li> <li>- Importância estratégica;</li> <li>- Viabilidade de realização da MP.</li> </ul>  |
| <b>Sánchez (1997)</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para pacientes/operadores;</li> <li>- Dispositivos de proteção;</li> <li>- Grau de utilização e razão de uso;</li> <li>- Complexidade do equipamento;</li> <li>- Regime de operação;</li> <li>- Requerimento de manutenção (fabricante);</li> <li>- Condição de operação;</li> </ul> |
| <b>Calil &amp; Teixeira (1989)</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para paciente/operador;</li> <li>- Receita cessante ou dificuldade de prestação de serviços;</li> <li>- Grau de utilização;</li> <li>- Existências de normas de fiscalização por parte do governo;</li> <li>- Requerimento de manutenção (fabricante).</li> </ul>                    |
| <b>Silva &amp; Pineda (2000)</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para paciente/operador;</li> <li>- Características de projeto;</li> <li>- Condições de operações;</li> <li>- Custos com consertos.</li> </ul>  |
| <b>Wang &amp; Levenson (2000)</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco físico para paciente/operador;</li> <li>- Importância estratégica;</li> <li>- Requerimento de manutenção (fabricante).</li> </ul>   |

Tabela 2 - Tabela comparativa entre os métodos de priorização de MP.

Os métodos com poucos critérios de análise são de mais fácil aplicação, sendo por isso mais utilizados. Em contrapartida, deixam de considerar fatores que poderiam ser decisivos na priorização dos equipamentos. Os métodos mais completos, embora descrevam com mais fidelidade a realidade dos equipamentos, requerem muitas vezes uma infra-estrutura mais complexa para aquisição dos dados, por meio de históricos mais completos, o que pressupõe uma política de conscientização da importância do preenchimento correto das planilhas, relatórios e históricos; entrevistas diretas com os operadores dos equipamentos, os quais muitas

vezes não se interessam em colaborar; maior controle da localização exata do equipamento (grande dificuldade encontrada pelos engenheiros clínicos em hospitais).

Um aspecto negativo dos métodos que fazem uso da pontuação dos seus critérios é a determinação exata do ponto de corte: dentre todos os métodos analisados nenhum justificou de onde vêm os valores da pontuação e qual o critério utilizado para escolha do ponto de corte. Como determinar o que é mais crítico: um equipamento com uma pontuação de 50 ou um de 49? É óbvio que 49 é menor que 50, mas com relação à priorização é correto afirmar que um equipamento com pontuação de 50 é mais crítico que um de 49, devendo ser incluído um programa de MP enquanto o outro não? Por esse motivo, no método proposto neste trabalho não será utilizada pontuação para os critérios de priorização.

Outro ponto observado é o critério custo: apenas uma pequena parcela dos métodos apresentados utiliza esse critério. Alguns autores defendem a idéia que em se tratando de segurança e saúde de pessoas, esforços não devem ser medidos para alcançar tais objetivos e isso inclui os fatores econômicos, de forma que os custos são abolidos de seus métodos. Embora seja louvável a intenção, sabe-se que tal atitude é inviável para instituições que vivem a realidade da falta de recursos financeiros, principalmente nos EAS de países em desenvolvimento e/ou subdesenvolvidos. Para equipamentos com altas taxas de falhas e que gerem gastos consideráveis para a instituição com relação ao seu valor de substituição, dois caminhos são sugeridos: serem incluídos em programas de MP, numa tentativa de diminuir suas MCs; ou serem definitivamente desativados e substituídos. Não se

deve esquecer que MP também gera gastos, muitas vezes bastante altos. Portanto, é razoável considerá-los junto com os gastos com MC no planejamento das substituições dos equipamentos.

## 5. Objetivos Gerais

O objetivo central desse trabalho é propor um método de priorização de equipamentos médico-hospitalares, bem como a sua periodicidade dentro de um programa de MP, por meio da análise das características pertinentes a cada classe de equipamento. Onde se adota por características do equipamento sete fatores:

- Risco;
- Falhas;
- Importância do equipamento na missão global da instituição;
- Facilidade de manutenção (experiência da equipe de manutenção);
- Facilidade de operação (experiência do operador);
- Características do equipamento;
- Custos.

Pretende-se com este trabalho não apenas propor um método de determinação de periodicidade de MP, mas também chamar a atenção para os principais problemas que dificultam a implementação do método. Problemas que se não forem solucionados inviabilizam o sucesso do programa de MP.

## 6. Descrição do método proposto

Para descrever o método de priorização para MP proposto, é necessário antes definir e conceituar a terminologia. A partir dos sete indicadores considerados como “características do equipamento”, é possível derivar sete fatores:

- Fator de risco;
- Fator de falha;
- Importância do equipamento;
- Fator de manutenção;
- Fator de operação;
- Fator de projeto;
- Fator de custos.

Cada fator é constituído por um ou mais critérios, que são subdivididos em parâmetros, aos quais são atribuídos códigos (A, B ou C), conforme está ilustrado na Figura 5. Para cada critério escolhe-se apenas um parâmetro, e assim, o código do parâmetro é atribuído ao critério.

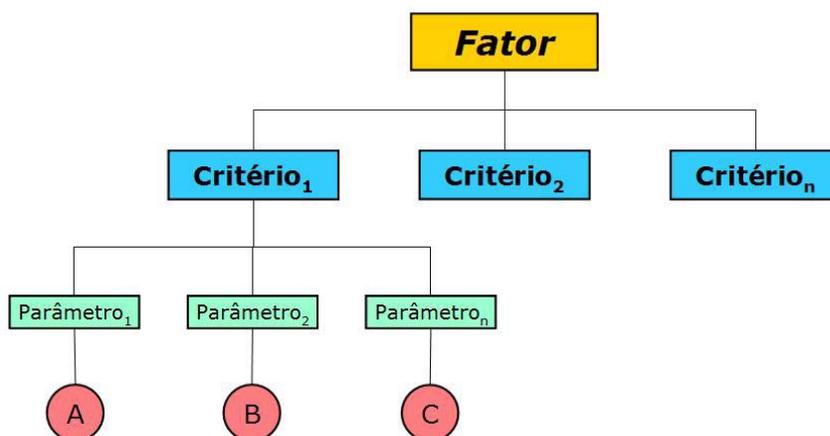


Figura 5- Subdivisão dos Fatores.

A classificação atribuída aos critérios (A, B ou C) irá formar um caminho a ser seguido no fluxograma geral do método, apresentado na Figura 8.

Aplicando-se a subdivisão proposta ao Fator de Risco obtemos o resultado apresentado na Figura 6.

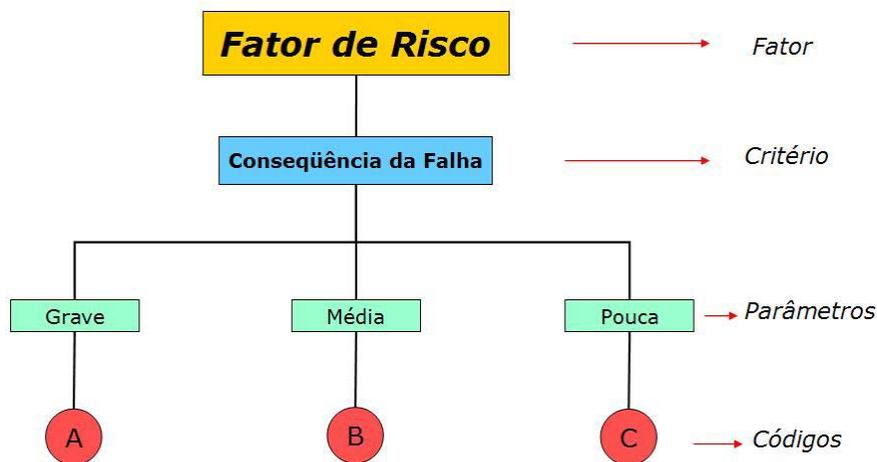


Figura 6 - Subdivisão do Fator de Risco.

A aplicação do método proposto é dividida em três etapas. A primeira consiste na obtenção de informações, que permitam avaliar as “características do equipamento”, por meio de consultas ao histórico dos equipamentos, seus manuais e em alguns casos aos operadores. A segunda etapa corresponde à classificação dos critérios. Com esta classificação, na terceira etapa, é traçado um caminho dentro do fluxograma de decisões, que pode levar à periodicidade de MP da classe de equipamento analisada ou a sua exclusão do processo.

Esse método é aplicável apenas aos equipamentos que realizam MP interna, para equipamentos que a equipe não há condições de realizar a manutenção (tomógrafos, por exemplo, que exigem pessoal técnico altamente especificado e

possuem elevado custo de manutenção), devem, quando o caso, estar cobertos por programas de MP terceirizadas.

A seguir serão apresentados detalhadamente os fatores que constituem o método proposto. Após essa explanação, será apresentado o fluxograma geral do método.

### **6.1. Fator de risco**

A preocupação com o fator de risco dos equipamentos médicos data da década de 70. Pela definição da norma NBR-IEC 60601-1, risco é “a combinação da probabilidade de ocorrência de dano e o grau de severidade causado por esse mesmo dano”. O termo dano é definido pela norma ISSO 14.941:2000 como sendo “avaria física ou prejuízo à saúde de homens e animais, ou prejuízo a propriedades ou ao meio ambiente”. De acordo com Hertz (1990), dano é definido como “qualquer evento desfavorável causado ao paciente pelo equipamento por uma ação física direta (ex: queda de um monitor de vídeo sobre o paciente ou usuário) ou por falha do equipamento (ex: a indicação errônea da pressão sanguínea de um paciente por um equipamento levando o médico a tomar decisões inadequadas no tratamento deste paciente)”.

É certo que é impossível haver um ambiente hospitalar totalmente desprovido de riscos. De certo modo, qualquer que seja o tipo de equipamento (invasivo ou não-invasivo, de intervenção diagnóstica, terapêutica ou de monitoração), todos eles oferecem um certo risco ao paciente e/ou operador [Gullikson,1995]. No entanto deve ser estabelecido um limite de riscos aceitáveis para que se possa administrar

de forma correta o risco oferecido pelos equipamentos. Este limite, por muitos chamado de segurança, é algo de difícil definição, uma vez que não se tem ao certo a resposta para: qual o nível aceitável de risco. Os engenheiros clínicos, a Vigilância Sanitária, a *Food and Drug Administration* (FDA) e a JCAHO analisam o risco e o seu nível de aceitação de formas distintas [James, 1999].

Dentre as diversas definições para fator de risco, nesse trabalho será adotada a consequência causada pela ocorrência da falha do equipamento, refletida diretamente no operador do equipamento e/ou no seu usuário, neste caso o paciente. A classificação dessa consequência é baseada em respostas a perguntas simples [Anderson, 1992]:

- A falha do equipamento causa algum tipo de dano ao paciente e/ou operador?
- Como essa falha afeta a qualidade do tratamento do paciente?
- Qual será a severidade dos danos causados caso o equipamento falhe?

De acordo com as respostas às perguntas acima pode-se definir a consequência da falha de acordo com a Tabela 3.

| <b>Código</b> | <b>Consequência da falha</b>   |
|---------------|--|
| <b>A</b>      | Grave (morte ou dano sério).   |
| <b>B</b>      | Média (terapia inadequada, dano ou prolongação do tempo de recuperação). |
| <b>C</b>      | Pouca (sem consequência significativa).                                  |

Tabela 3 - Nível de risco.

## **6.2. Fator de falha**

A taxa de falhas ( $\lambda$ ) quantifica a incidência de falhas (número de falhas/período).

Neste trabalho será considerado o período de um ano.

A Tabela 4 trás a classificação dada aos equipamentos de acordo com a sua taxa de falhas anual. Os limites para classificação dos parâmetros de  $\lambda$  são obtidos através da média de todas as taxas de falhas dos equipamentos ( $\bar{\lambda}_s$ ), de um mesmo tipo e modelo, dos quais se deseja determinar a periodicidade da MP. Desta forma cada hospital pode classificar a taxa de falhas de acordo com a sua realidade.

| <b>Código</b> | <b>Taxa de falhas <math>\lambda</math> (falhas/ano)</b> |   |
|---------------|---|---|
| <b>A</b>      | alta  | $\lambda > \bar{\lambda}^*$                       |
| <b>B</b>      | média   | $\bar{\lambda} \geq \lambda \geq \bar{\lambda}/2$ |
| <b>C</b>      | pequena   | $\bar{\lambda}/2 > \lambda \geq 0$                |

Tabela 4 - Fator de falha anual ( $\lambda$ ) (\*média das taxas de falhas).

A taxa de falhas deve ser considerada para uma classe de equipamentos que mais se assemelham, por exemplo: para a classe de monitores cardíacos, supondo que existam 30 equipamentos com os mesmos opcionais, recursos e funções, e que em um ano são constatadas 20 ocorrências de falhas, conclui-se que a taxa anual de falhas para essa classe de equipamentos é 0,67.

O fator de falha de um equipamento pode ser agravado pelas condições ambientais às quais o mesmo é exposto, especialmente em meios hospitalares, onde muitas vezes o ambiente apresenta condições adversas ao equipamento [James, 1999]. As condições ambientais caracterizam o local onde o equipamento está operando, bem como a sua forma de armazenamento. Deve-se verificar se o equipamento é posto em operação sob temperatura, níveis de umidade e pressão

adequadas, níveis de tensão entregue em conformidade com as normas, etc. De forma sucinta, deve-se verificar se o equipamento está devidamente instalado, armazenado e/ou sendo guardado de acordo com as especificações do fabricante.

### **6.3. Importância do equipamento**

A importância do equipamento deve ser considerada dentro da missão global da instituição. De acordo com a JCAHO: “todos os departamentos de um hospital devem desenvolver políticas e metodologias com a colaboração de todos os departamentos associados” (LD.3.4). Assim parece ser mais apropriado reinterpretar o critério de “função do equipamento” como a “importância do equipamento na missão global da instituição” [Wang, 2000]. Além disso, para o caso de instituições de saúde no Brasil, propõe-se considerar a receita cessante durante a paralisação do equipamento. Assim, se o equipamento falhar deve-se avaliar: quantas pessoas serão realmente prejudicadas e como essa falha irá afetar operacional e financeiramente toda a instituição.

O fator de importância do equipamento é composto por um critério único, formado por três parâmetros, obedecendo a seguinte classificação:

| <b>Código</b> | <b>Importância do equipamento.</b> |
|---------------|------------------------------------|
| <b>A</b>      | indispensável                      |
| <b>B</b>      | recomendável                       |
| <b>C</b>      | dispensável                        |

Tabela 5 - Importância do equipamento.

Esta classificação é uma adaptação da sugestão do Ministério da Saúde do Brasil [Brasil, 1994]. Neste trabalho propõe-se a divisão dos equipamentos em três

categorias:

- Equipamentos indispensáveis: são diretamente relacionados à prestação do serviço, sem os quais não é possível oferecê-lo, representando receita cessante considerável para o hospital.
- Equipamentos recomendáveis: são diretamente relacionados à prestação de serviço, sem os quais este é dificultado, porém pode ser prestado, não apresentando receita cessante significativa;
- Equipamentos dispensáveis: são relacionados à prestação de serviço, sem os quais este pode ser prestado sem dificuldade, não afetando a geração de receitas para o hospital.

#### **6.4. Fator de manutenção**

Esse fator exprime a facilidade de se realizar a manutenção do equipamento, e também leva em consideração o requerimento de manutenção de cada tipo de equipamento.

De acordo com a norma NBR 5462, “mantenabilidade é a facilidade de um item ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e por meio de procedimentos e meios prescritos”. Não se deve confundir mantenabilidade com a manutenção de um item já definido antes; a mantenabilidade envolve características do equipamento e capacitação da equipe técnica que definem a facilidade de efetuar a manutenção [Lafraia, 2001].

A mantenabilidade serve como indicador da capacidade que uma equipe de

engenharia clínica possui de realizar a atividade de manutenção: altos valores de manutenibilidade indicam “rapidez e facilidade” em se realizar a tarefa, o que é um reflexo direto da qualificação dos técnicos, disponibilidade de manuais e materiais de pesquisa, disponibilidade de peças de reposição e materiais adequados (bancadas, ferramentas, equipamentos de calibração, etc.) para execução da manutenção. Ao se incluir um equipamento em um programa de manutenção todos esses fatores devem ser levados em consideração, pois é preferível prestar manutenção aos equipamentos que representam maiores chances de sucesso ao invés de perder tempo, mão de obra e insumos com equipamentos para os quais não se dispõe de condições para a realização da manutenção.

Pesquisas realizadas na indústria de aviação, petroquímica, dentre outras, comprovaram que a manutenibilidade pode ser expressa pela seguinte equação [Kardec & Nascif, 2001]:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $M(t)$  é a função manutenibilidade;
- $\mu$  é o número de reparos efetuados no total de horas de reparo do equipamento (reparos/horas). O inverso da taxa de reparos resulta no tempo médio para reparos (MTTR – *Mean Time to Repair*);
- $t$  é o tempo gasto em horas com o reparo do equipamento.

Na Figura 7 está traçado o gráfico  $[M(t) \times t]$  para alguns valores de  $\mu$ . Observa-se que quanto maior a taxa de reparo, ou seja, quanto mais reparos forem efetuados por unidade de tempo, maior a manutenibilidade do equipamento para um mesmo

instante de tempo ( $t$ ). As curvas foram traçadas para diferentes tipos de  $\mu_S$ , temos que  $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3 < \mu_4 < \mu_5$ , onde cada  $\mu$  corresponde a uma equipe de manutenção. A equipe com taxa de reparos igual a  $\mu_1$ , é a que necessita de mais tempo para realizar um determinado serviço, seja por falta de capacitação ou de recursos materiais; ao contrário, a equipe com taxa de reparos igual a  $\mu_5$  apresenta o melhor desempenho dentre as equipes analisadas, ou seja, para um mesmo intervalo de tempo é a que realiza o maior número de serviços.

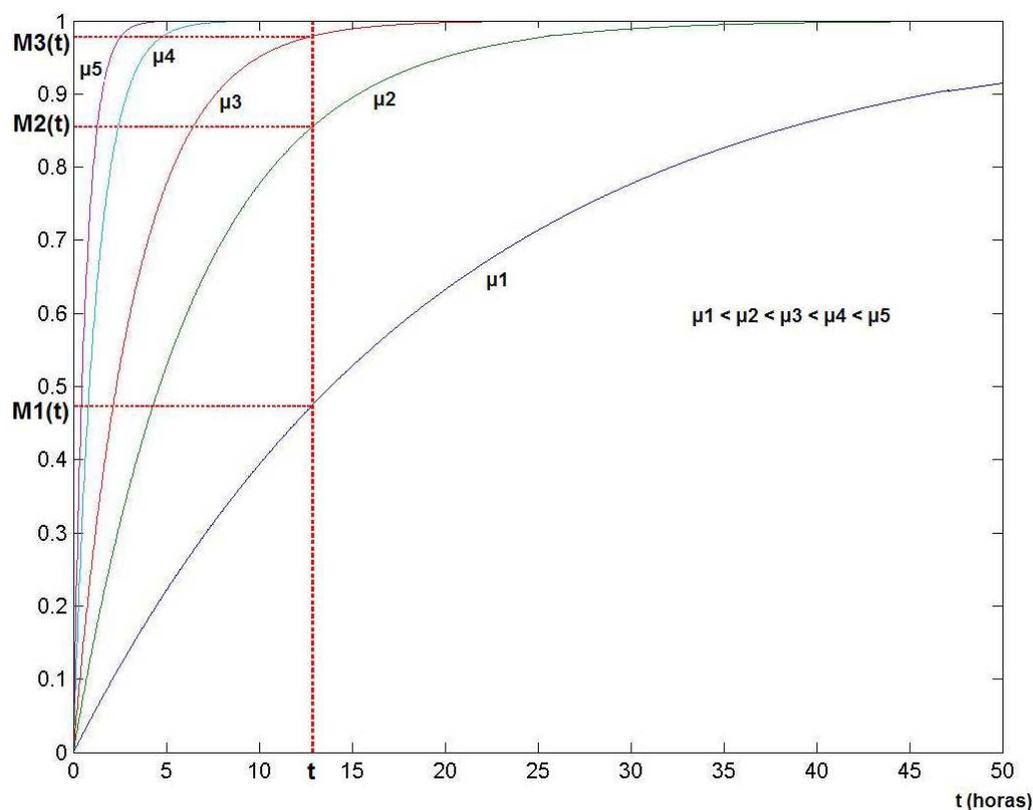


Figura 7 - Manutenibilidade  $\times$  tempo para diferentes valores de  $\mu$ .

A taxa de reparos ( $\mu$ ) não é calculada apenas para números de reparos realizados, ou seja, números de MCs, ela também pode expressar o número de ordens de serviço (OS) atendidas, incluindo nesse caso a quantidade de MPs realizadas em um determinado período de tempo. Deste modo, ao se implementar a

metodologia proposta em um hospital que ainda não realize MP, pode-se, inicialmente, utilizar a quantidade de MCs realizadas, o que dará uma idéia da familiarização da equipe de manutenção com o equipamento. Após um período razoável de tempo, em que se tenha coletado dados suficientes para se tirar conclusões, passe-se a utilizar o número de MPs.

O tempo gasto no reparo vai além do tempo efetivamente gasto com a manutenção, abrange desde o tempo de parada do equipamento para execução da manutenção até a sua recolocação em funcionamento. Ao analisar a eficiência de uma equipe de manutenção, a direção do hospital não está só interessada nas horas ou minutos em que ela executa o serviço, mas principalmente, em quanto tempo o equipamento estará disponível para uso novamente. De nada adianta o reparo ser feito em minutos, mas o equipamento só ser disponibilizado após dias.

A classificação dos equipamentos quanto a sua manutenibilidade aparece na Tabela 6. Os limites de manutenibilidade foram obtidos da mesma como os limites da taxa de falhas.

| <b>Código</b> | <b>Mantenabilidade <math>M(t)</math></b> |  |
|---------------|--|--|
| <b>A</b>      | boa                                      | $M(t) > \bar{M}(t)^*$                      |
| <b>B</b>      | razoável                                 | $\bar{M}(t) \geq M(t) \geq (\bar{M}(t)/2)$ |
| <b>C</b>      | ruim                                     | $(\bar{M}(t)/2) \geq M(t) \geq 0$          |

Tabela 6 - Manutenibilidade (\*média das manutenibilidades dos equipamentos).

Outro critério a ser considerado neste fator é o requerimento de manutenção, definido pelo ECRI (1990) como “o intervalo de manutenção ideal para se manter o equipamento funcionando adequadamente em perfeitas condições de segurança”.

Esse intervalo pode ser informado pelo próprio fabricante do equipamento, pelo ECRI e/ou órgãos governamentais competentes no assunto. O requerimento de manutenção é classificado conforme a Tabela 7.

| <b>Código</b> | <b>Requerimento de Manutenção</b>  |
|---------------|------------------------------------|
| <b>A</b>      | Mínimo (anual)                     |
| <b>B</b>      | Médio (semestral)                  |
| <b>C</b>      | Extensivo (trimestral ou inferior) |

Tabela 7 - Requerimento de manutenção.

### **6.5. Fator de operação**

O fator de operação inclui os critérios referentes ao modo de operação e utilização do equipamento que podem agravar ou reduzir a incidência de falhas, como treinamento dos usuários e taxa de utilização dos equipamentos.

Segundo Lafraia (2001), até 90% de todas as falhas de equipamentos podem ser atribuídas ao erro humano. Esse número revela a grande importância de investir não apenas na confiabilidade dos equipamentos e sistemas, mas também na confiabilidade humana, assegurando uma qualificação dos operadores adequada e que seja constantemente renovada.

Para avaliar a qualidade do treinamento, e então classificá-la em avançada, básica e elementar, é necessário conhecer o montante de verbas utilizada para treinamento, o tempo investido nesta atividade e o nível de conhecimento assimilado com o treinamento pela classe médica. Infelizmente essas informações não são sempre disponíveis e então esse critério será quantificado apenas através da informação do treinamento ter sido ou não realizado, sem uma preocupação *a priori*

com o nível desse treinamento, ou se é feita reciclagem periódica. Dessa forma o treinamento dos operadores aparece conforme a Tabela 8.

| <b>Código</b> | <b>Treinamento dos operadores</b>                     |
|---------------|---|
| <b>A</b>      | Recebeu treinamento para operação do equipamento.     |
| <b>B</b>      | Não recebeu treinamento para operação do equipamento. |

Tabela 8 -Treinamento dos operadores.

Outro critério deste fator é a taxa de utilização ( $T_U$ ). Embora muitos autores prefiram utilizar apenas o número de equipamentos disponíveis de cada tipo, considerar apenas o número exato sem ponderar a sua real necessidade daria uma interpretação errônea da disponibilidade dos equipamentos [Wang & Levenson, 2000]. Um exemplo de má interpretação seria que equipamentos presentes em grandes quantidades não deveriam ser inseridos em programas de MP, uma vez que, caso um falhe existem outros para substituí-lo. Isso seria verdade somente se a taxa de utilização desses equipamentos fosse baixa. Deve-se, portanto, considerar a taxa de utilização, ou seja, analisar a porcentagem do tempo em que o equipamento está sendo utilizado com relação à média das taxas de utilização dos equipamentos ( $\bar{T}_U$ ) da instituição. A classificação é realizada de acordo com a Tabela 9.

| <b>Código</b> | <b>Taxa de utilização (<math>T_U</math>)</b> |                                    |
|---------------|--|------------------------------------|
| <b>A</b>      | intensa                                      | $T_U \geq \bar{T}_U^*$             |
| <b>B</b>      | média  | $\bar{T}_U > T_U \geq \bar{T}_U/2$ |
| <b>C</b>      | baixa  | $T_U < \bar{T}_U/2$                |

Tabela 9 - Taxa de utilização (\*média das taxas de utilização dos equipamentos).

## 6.6. Fator de projeto

O fator de projeto evidencia as características do equipamento que facilitam a detecção da ocorrência de falhas (alarmes, mensagem de erro, *auto-check*), ou dispositivos de proteção contra eventuais falhas, ou ainda a existência de partes que exijam uma atenção mais periódica (baterias, filtros, calibração).

O fator de projeto é analisado em dois blocos. No primeiro (Tabela 10) avaliam-se os dispositivos de detecção de falhas e os de proteção contra falhas. No segundo (Tabela 11) os dispositivos que exigem inspeções (ou trocas) periódicas.

| <b>Bloco 1 – Dispositivos de detecção de falhas</b> | <b>Código</b> |          |
|---|---------------|----------|
| Possui mensagens de código de erro?                 | sim           | <b>A</b> |
|   | não           | <b>B</b> |
| Possui sistema de alarme visual e/ou sonoro?        | sim           | <b>A</b> |
|   | não           | <b>B</b> |
| Apresenta algum mecanismo anti-falhas?              | sim           | <b>A</b> |
|   | não           | <b>B</b> |

Tabela 10 – Dispositivos de detecção de falhas.

| <b>Bloco 2 – Características que indicam necessidade de MP</b>               | <b>Código</b> |          |
|--|---------------|----------|
| Possuem baterias e/ou filtros que requerem troca constante?                  | sim           | <b>A</b> |
|  | não           | <b>B</b> |
| Existem partes móveis sujeitas a desgaste e com necessidade de lubrificação? | sim           | <b>A</b> |
|  | não           | <b>B</b> |
| Necessidade de calibração freqüente?   | sim           | <b>A</b> |
|  | não           | <b>B</b> |

Tabela 11 – Outras características de projeto.

O bloco 2 do fator de projeto possui influência decisiva na realização ou não da manutenção preventiva, pois a experiência vem mostrando que apenas os equipamentos que atendam as especificações desse bloco respondem bem a

programas de MP. Aos demais é sugerida a realização de ISDs.

No bloco 2 a ocorrência de pelo menos um “sim”, indica a determinação de código A para o critério em questão pois, como mencionado anteriormente, equipamentos que cumprem pelo menos um desses requisitos apresentam redução de falhas com MP. Com relação ao bloco 1, prevalece o que aparecer em maior quantidade, pois esse bloco refere-se aos “mecanismos de segurança” do equipamento em caso de falha, sendo necessário satisfazer no mínimo a dois critérios de segurança para a escolha do caminho a seguir.

### **6.7. Fator de custos**

A literatura costuma considerar que os hospitais chegam a gastar anualmente de 3% a 13% do valor de aquisição do equipamento com sistemas de manutenção e reparos [Cohen, 1982; Bronzino, 1992; Calil & Teixeira, 1998], o que é bastante elevado considerando o valor financeiro do patrimônio de um hospital. Uma das metas de um programa de MP é a redução de custos, mas muitas vezes não é isso que é observado. Programas de manutenção são caros e mesmo os mais bem elaborados não irão e nem poderão evitar todas as falhas possíveis, uma vez que algumas falhas têm caráter aleatório, sendo totalmente imprevisíveis [Hyman, 2003].

A análise do custo com manutenção corretiva dá a idéia de quão dispendioso é para instituição deixar que o equipamento venha a falhar antes que qualquer tipo de inspeção ou MP venha a ser feita no mesmo. Essa análise pode ser baseada no índice do custo da manutenção corretiva ( $ICM_c$ ), calculado conforme a Equação 4. Embora essa equação não utilize o custo real da manutenção corretiva, uma vez que

não considera a receita cessante de parada do equipamento enquanto quebrado, ela fornece uma boa aproximação, pois leva em consideração o valor das horas técnicas e dos materiais utilizados no conserto do equipamento.

$$ICM_C = \frac{CustoMC}{CustoSUB} \times 100\% \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- *CustoMC*: média do custo anual com manutenção corretiva para cada equipamento;
- *CustoSUB*: custo de substituição do equipamento.

Um sutil aumento do  $ICM_C$  indica maior necessidade de manutenção preventiva, com o intuito de minimizar a manutenção corretiva. Aumentos demasiados do  $ICM_C$  podem sugerir, dentre outras ações, a substituição do equipamento, no caso de ser constatado o fim da sua vida útil. Mais uma vez é lembrado que a redução dos custos de MC não significa redução efetiva dos custos. A classificação dos custos é feita de acordo com a Tabela 12.

| Código   | $ICM_C$  |               |
|----------|--|---------------|
| <b>A</b> | $13\% \leq ICM_C \leq 0\%$   | Aceitável     |
| <b>B</b> | Valor Máximo $> ICM_C > 13\%$  | Não aceitável |
| <b>C</b> | $ICM_C$ acima de um certo valor estipulado pela direção do hospital (Valor Máximo) |               |

Tabela 12 - Índice do custo da manutenção corretiva ( $ICM_C$ ).

Se o  $ICM_C$  apresentar código A significa que ele está dentro dos limites de gastos anuais apontados na literatura [Cohen, 1982; Bronzino, 1992] para manutenção de um equipamento; se o código for B os gastos com corretiva estão além do esperado, indicando necessidade de investir em MP com a finalidade de

reduzir as corretivas, além de descobrir os problemas que ocasionaram esse aumento. O código C merece uma atenção especial, pois especifica o máximo que a direção do hospital está disposta a gastar com o equipamento. Para equipamentos que com  $ICM_C$  acima do valor definido deve ser adotada uma política que determine quais fatores ocasionaram o valor elevado do  $ICM_C$  e procure saná-los, mas caso seja detectado o aumento do  $ICM_C$  devido ao fim da vida útil do equipamento, então deve ser sugerida a sua substituição.

Após a realização de MPs por cerca de um ano, é possível coletar informações a respeito dos gastos gerados pelo programa, devendo os mesmos ser analisados e confrontados com os gastos de corretiva. Como isso, é possível analisar se o programa realmente está trazendo economia de recursos financeiros para a instituição.

### **6.8. Fluxograma Geral**

O bloco de partida do fluxograma proposto analisa a necessidade real de se realizar a manutenção (Fator de Projeto – Características de projeto que indicam a necessidade de MP), pois como já mencionado anteriormente, alguns tipos de equipamentos não respondem bem a programas de manutenção preventiva, como equipamentos puramente eletrônicos. Equipamentos dotados de sistemas hidráulicos e pneumáticos se adequam melhor a programas de MP por possuírem grande parte de suas falhas relacionadas à degradação por uso. Tal característica também é encontrada em equipamentos que necessitam de calibração freqüente e trocas de baterias e filtros. Por isso, esforços devem ser centrados nesses tipos de equipamentos, para que o programa de MP seja rentável e gere resultados satisfatórios. Aos equipamentos que não se enquadram nesse perfil, é sugerido que

sejam realizadas apenas as ISDs.

Uma vez caracterizado que o equipamento se enquadra no perfil dos equipamentos que necessitam de MP, suas características são analisadas balizadas pelos demais fatores propostos. Se o equipamento não for enquadrado no perfil para MP então é sugerido ao mesmo apenas ISDs. O caminho seguido por cada equipamento no fluxograma está ilustrado na Figura 8.

Quatro são os resultados que podem ser atingidos no fluxograma proposto: ISD, MP trimestral, MP semestral e MP Anual. Se o resultado for o ISD, isso indica que o equipamento deve ser excluído do programa de MP, seja pela ausência de necessidade, custos muito elevados para realização desta atividade ou seja pela falta de capacitação da equipe de manutenção. Estes equipamentos, quando necessário, devem estar cobertos por contratos que incluam serviços de manutenção prestados pelos próprios fabricantes ou equipes autorizadas indicadas por eles.

Partindo do risco, que representa a característica primordial que se deseja controlar, considera-se os equipamentos de alto e médio risco os mais críticos, devendo ser observados atentamente. Caso esses equipamentos possuam uma taxa de falhas alta, sua criticidade torna-se ainda maior. Deve-se analisar então a taxa de utilização desses equipamentos; se forem altas e médias, analisa-se a sua manutenibilidade. Para manutenibilidade baixa sugere-se tirar o equipamento do programa, optando pela ISD.

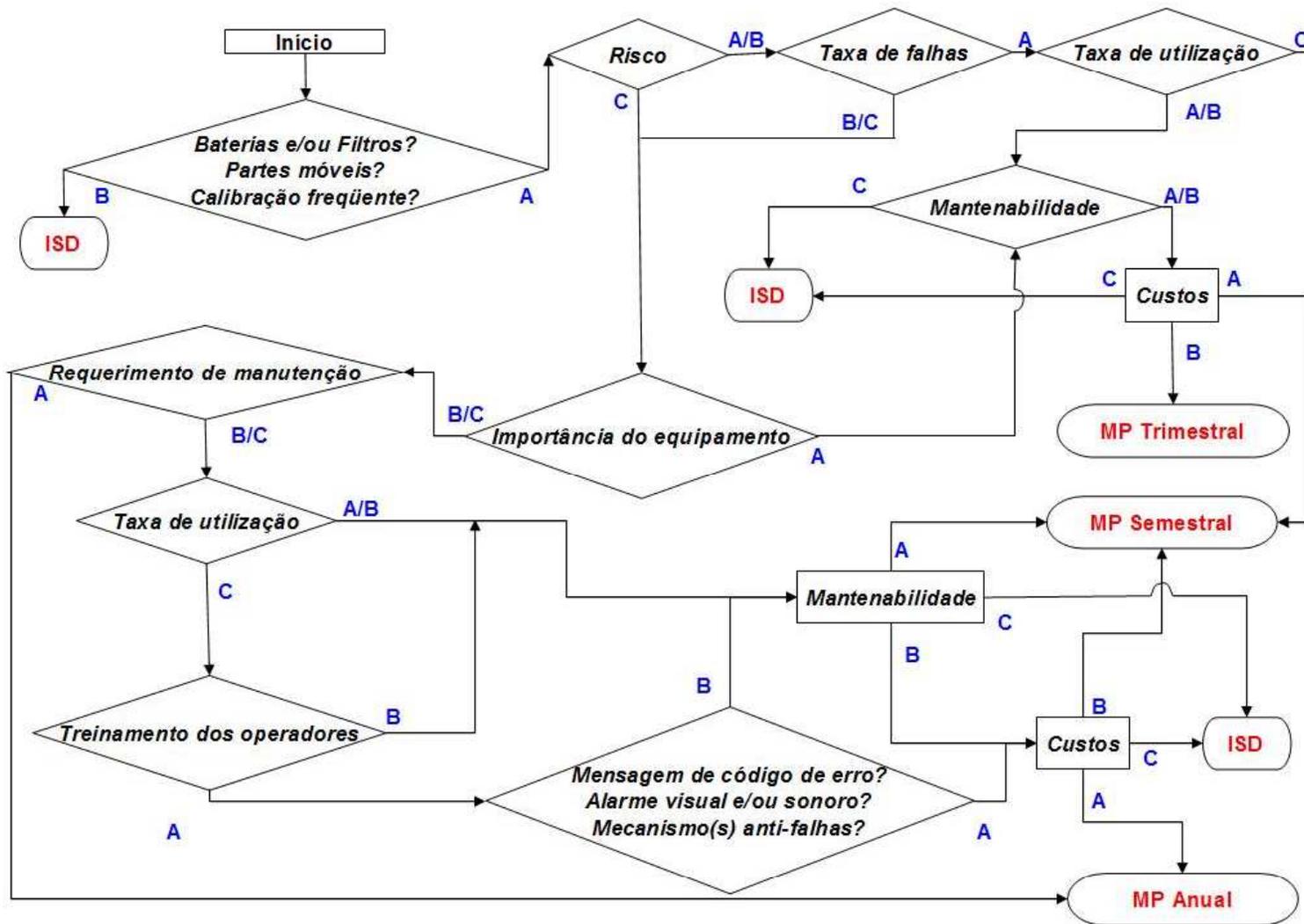


Figura 8 - Fluxograma para decisão de periodicidade de MP.

Quando a manutenibilidade for boa ou razoável, verificam-se os custos gerados pelo equipamento. Custos considerados aceitáveis (Tabela 12), levam a uma MP semestral; custos não-aceitáveis resultam numa MP trimestral. Para equipamentos com custos acima dos limites estabelecidos pela direção do hospital, sugere-se a sua exclusão do programa e a verificação dos fatores que levaram ao aumento dos custos. Aos equipamentos com baixa taxa de utilização é sugerida uma MP semestral.

Taxa de falhas médias e baixas, assim como equipamentos de baixo risco, levam à análise da importância do equipamento, neste ponto considera-se a importância estratégica do equipamento. Caso o equipamento seja considerado indispensável, sua criticidade volta a ser equiparada à dos equipamentos de alto e médio risco, verifica-se então a sua manutenibilidade. Caso contrário, ou seja, se o equipamento for considerado dispensável, analisa-se o requerimento de manutenção, geralmente indicado pelo próprio fabricante do equipamento. Se o fabricante indicar uma manutenção anual, é acatada essa indicação. Mas, caso a manutenção exigida seja semestral, trimestral ou inferior, então outros fatores devem ser levados em consideração, a fim de se otimizar o intervalo entre MP para o equipamento. Parte-se para a taxa de utilização: equipamentos muito utilizados ou moderadamente utilizados são levados à análise de sua manutenibilidade. Manutenibilidade boa (Tabela 6) resulta em MP semestral, a média à análise dos custos e a baixa leva a ISD.

Equipamentos com taxa de utilização baixa recebem um tratamento diferente, podendo ter a sua periodicidade estendida um pouco mais. Analisa-se então o

treinamento dos operadores; para operadores sem treinamento, é sugerido a análise da manutenibilidade. Para operadores com treinamento, avaliam-se as “características de projeto” do equipamento (mensagem de código de erro, alarme visual e/ou sonoro e mecanismo anti-falhas). Estas são definidas também como “facilidades de detecção de falhas”. Operadores sem treinamento raramente poderiam interagir com essas características, e se o pudessem seria após uma série de “tentativas e erros”, adquirindo assim um “pseudo-treinamento” ao término do qual, algumas funções do equipamento já poderiam estar comprometidas ou totalmente danificadas. Para o equipamento dotado de “facilidades de detecção da falhas” analisa-se os custos envolvidos na MC desse equipamento. Caso os custos estejam acima de um certo valor então pelo menos uma MP semestral é sugerida de modo a se tentar conter esses custos enquanto o equipamento não puder ser desativado e substituído.

Nos equipamentos que não possuem “facilidades de detecção de falhas” é analisada a sua manutenibilidade. Para equipamento com boa manutenibilidade é sugerida uma MP semestral, pois caso esse equipamento venha a falhar não é tão óbvio constatar a sua falha.

Equipamentos que, por um motivo qualquer, sejam excluídos deste programa devem ter as solicitações dos seus fabricantes para troca dos seus insumos consumíveis (baterias, filtros e afins) acatadas.

Esta metodologia deve ser aplicada apenas para os equipamentos que possuem MP interna, ou seja, equipamentos que a equipe de manutenção é capaz de atender. Equipamentos como tomógrafos computadorizados que requerem uma

equipe de manutenção muito especializada resultando em MP de custo elevado, devem ter contratos de MP, cujos intervalos devem ser negociados com o fabricante e a direção do hospital.

## 7. Aplicação do método

Os dados utilizados para a aplicação do método proposto são referentes a um dos hospitais da região metropolitana de Recife, PE. Por razões éticas, o nome do hospital não será citado, referido daqui por diante como Hospital. A base de dados que foi gentilmente disponibilizada para esse trabalho contém o histórico dos equipamentos por cinco anos, de 1999 até 2003.

Nesse método, assim como nos outros métodos apresentados no item 5.0, devem ser analisados apenas os dados de um hospital por vez. Isso porque as características de cada hospital influenciam diretamente sobre o perfil dos seus equipamentos (taxa de falhas, taxa de utilização, treinamento dos operadores, etc.), ou seja, a priorização dos equipamentos num programa de MP poderá ser diferente para diferentes hospitais.

Foram escolhidas doze classes de equipamentos e seus históricos analisados. Posteriormente foi traçado o caminho seguido no fluxograma de decisão do método proposto. Na Tabela 13 se encontra a classificação dada aos fatores de cada classe de equipamento. Seguindo-se o caminho traçado pelo fluxograma do método proposto obtêm-se as periodicidades mais indicadas para MP de cada equipamento.

A classificação do fator de risco (A, B ou C), que analisa os efeitos causados pela ocorrência da falha (grave, média ou pouca), foi realizada por meio da indicação de uma lista fornecida pelo ECRI (1995). Nesta lista está exposta a classificação de risco para uma série de equipamentos, divididos em categorias de: alto risco, médio risco e baixo risco. Nem todos os equipamentos selecionados para aplicação do método encontravam-se na lista. Para esses equipamentos foram utilizadas as

classificações de risco encontradas na literatura de Wang & Levenson (2000) e Ramirez (1996).

| Classe de Equipamento      | Fator de Risco | Fator de Falha | Import. do equip. | Fator de Manutenção |                            | Fator de operação |                    | Fator de projeto |         | Fator de custos |
|----------------------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|-----------------|
|                            |                |                |                   | Mantenabilidade     | Requerimento de manutenção | Treinamento       | Taxa de utilização | bloco 1          | bloco 2 |                 |
| <b>Autoclave</b>           | A              | A              | A                 | A                   | B                          | A                 | A                  | B                | A       | B               |
| <b>Carro de anestesia</b>  | A              | B              | A                 | A                   | B                          | A                 | B                  | A                | A       | A               |
| <b>Foco cirúrgico</b>      | C              | A              | C                 | A                   | A                          | A                 | B                  | B                | A       | B               |
| <b>Mesa cirúrgica</b>      | C              | B              | C                 | B                   | A                          | A                 | B                  | B                | A       | B               |
| <b>Esfigmoman.</b>         | C              | C              | C                 | A                   | A                          | A                 | A                  | B                | A       | A               |
| <b>Bisturi elétrico</b>    | B              | A              | B                 | A                   | B                          | A                 | B                  | A                | A       | A               |
| <b>Desfibrilador</b>       | A              | C              | B                 | C                   | B                          | A                 | C                  | A                | A       | B               |
| <b>Incubadora</b>          | A              | B              | B                 | B                   | B                          | A                 | B                  | A                | A       | B               |
| <b>Monitor de ECG</b>      | B              | B              | B                 | B                   | A                          | A                 | A                  | A                | A       | B               |
| <b>Raio-X portátil</b>     | B              | A              | A                 | B                   | A                          | A                 | B                  | B                | A       | B               |
| <b>Balão intra-aórtico</b> | A              | B              | B                 | A                   | B                          | A                 | B                  | B                | A       | A               |
| <b>Oxímetro de pulso</b>   | B              | B              | B                 | B                   | B                          | A                 | A                  | A                | A       | A               |

Tabela 13 - Classificação dos fatores para a lista de equipamentos selecionados.

O fator de falha, a manutenibilidade e o fator de custos foram obtidos por meio dos históricos dos equipamentos, analisando-se a incidência de falhas, o MTTR, e os gastos com MC respectivamente. Estes dados foram calculados pelas médias históricas anuais.

Para a determinação da importância do equipamento na missão global da instituição foi utilizada uma listagem fornecida pelo Ministério da Saúde do Brasil [Brasil, 1994] e na classificação dada pela literatura (Wang & Levenson, 2000; Ramirez, 1996).

O fator de operação (treinamento e taxa de utilização) foi obtido por meio de informações fornecidas pelo próprio Hospital. Por último, o fator de projeto e o requerimento de manutenção foram analisados através de informações de *checklists*

de MP sugeridos pelo ECRI (1995) e/ou contidos nos manuais dos equipamentos.

Nem todos os fatores são analisados para cada equipamento, pois a seleção do caminho é baseada em características específicas de cada equipamento. Se todos os fatores fossem analisados para cada equipamento poderia ocorrer uma interferência entre os fatores, ocasionando assim uma “camuflagem” da real criticidade do mesmo.

A Tabela 14 apresenta o resultado da periodicidade estabelecida pelo método proposto para os equipamentos analisados. A periodicidade proposta é dinâmica, podendo ser redefinida em intervalos de tempo de um ano. Esta característica é decorrente de serem analisados não apenas fatores e critérios estáticos (fator de risco, requerimento de manutenção, fator de projeto, etc.) mas também fatores e critérios variáveis de ano para outro (taxa de falhas, manutenibilidade, treinamento dos operadores, etc.).

| <b><i>Classe de Equipamento</i></b> | <b><i>Periodicidade da MP</i></b> |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Autoclave                           | TRIMESTRAL                        |
| Carro de anestesia                  | TRIMESTRAL                        |
| Foco cirúrgico                      | ANUAL                             |
| Mesa cirúrgica                      | ANUAL                             |
| Esfigmomanômetro                    | ANUAL                             |
| Bisturi elétrico                    | TRIMESTRAL                        |
| Desfibrilador                       | SEMESTRAL                         |
| Incubadora                          | SEMESTRAL                         |
| Monitor de ECG                      | ANUAL                             |
| Raios-X portátil                    | TRIMESTRAL                        |
| Balão intra-aórtico                 | SEMESTRAL                         |
| Oxímetro de pulso                   | ANUAL                             |

Tabela 14 - Periodicidade obtida com o método.

Deve-se observar que alguns desses equipamentos possuem procedimentos que devem ser executados em períodos pré-determinados pelo fabricante, como por exemplo, a troca dos filtros a cada três meses das incubadoras infantis. De acordo com o método proposto, a incubadora para recém-nascidos deve ter uma periodicidade de MP semestral, no entanto, é necessário que a troca dos filtros seja realizada no período determinado pelo fabricante, ficando os demais itens do *checklist* da MP para serem realizados no intervalo determinado pelo método. A data da próxima troca dos filtros deve ser anotada no histórico do equipamento e afixada (por meio de uma etiqueta) no lado externo do equipamento, de preferência nas proximidades do filtro.

## 8. Discussão e Conclusões

Um bom programa de manutenção necessita da cooperação e suporte de todo o hospital. Entender a importância de se realizar as rotinas de manutenção preventiva é essencial [Topham, 1979]. As rotinas de MP devem ser programadas a fim de não se tornarem inconvenientes e então receber a colaboração de todo o hospital.

Para implementar de maneira eficiente e segura o método proposto, é necessário que exista uma base de dados completa, confiável e atualizada do histórico dos equipamentos. A falta de histórico é sem sombra de dúvidas um dos principais problemas enfrentados ao se tentar implementar programas de manutenção, em particular no ambiente hospitalar. Setores de atividades onde os programas de manutenção já estão implementados a mais tempo e são parte integrante dessas atividades (indústria, aeronáutica, etc.) dispõem de dados e históricos com informações de todos os equipamentos.

Todos os procedimentos de manutenção, seja ela corretiva ou preventiva, devem ser devidamente registradas em fichas de controle, para que o perfil dos equipamentos que compõem o parque do hospital possa ser traçado, e assim se possa definir qual a melhor forma de administrar esse patrimônio. Na realização desse trabalho observou-se que históricos preenchidos de forma incompleta dificultam e limitam a aplicação do método. Os achados mais frequentes foram campos em branco nos históricos, e campos que embora preenchidos não apresentavam confiabilidade satisfatória.

Um exemplo claro da falta de confiabilidade está na obtenção do MTTR, o

tempo médio para reparo. Este dado é preenchido pelo técnico que executa o serviço de manutenção, muitas vezes sem saber a sua utilidade. Muitos têm a idéia que essa informação servirá apenas para comparar o seu desempenho profissional com o dos demais colegas, e por isso tentam “camuflar” esse valor. Na realidade outras informações úteis e necessárias para o melhor gerenciamento dos equipamentos podem ser retiradas desse critério, como: capacitação do corpo técnico para realizar MP ou MC em determinados equipamentos, indicação de necessidade de mais treinamento do corpo técnico, falta de material técnico (manuais, ferramentas, etc.) para prestação dos serviços, etc.

Este problema no preenchimento dos dados e históricos não foi observado apenas em instituições isoladas como no estudo do Hospital. Em outras instituições de saúde que ofereceram seus dados para análise, observaram-se os mesmos problemas: históricos preenchidos de forma incompleta e pouca confiabilidade dos dados. Neste trabalho optou-se por utilizar os dados do Hospital, por este, na comparação com os outros, apresentar os dados mais completos e aparentemente mais confiáveis.

É necessário que se realize um trabalho de conscientização junto aos agentes da manutenção (técnicos e engenheiros clínicos) sobre a importância de se manter os históricos dos equipamentos sempre atualizados, organizados e devidamente preenchidos. Garante-se assim maior confiabilidade das informações extraídas dos dados dos históricos para que as decisões baseadas nessas informações possam resultar em atitudes coerentes com a realidade do hospital. Administradores, médicos, enfermeiros, técnicos e engenheiros, cada qual possui seu papel no processo de gerenciamento e manutenção dos equipamentos eletromédicos, seja na

confeção de históricos de equipamentos bem elaborados e preenchidos, ou na participação e comprometimento com os treinamentos ou qualquer outra atividade que direta ou indiretamente influencie no sucesso dos programas de manutenção e gerenciamento dos equipamentos do hospital.

Mesmo os hospitais que terceirizam o serviço de manutenção devem possuir seus registros sempre atualizados, pois o hospital é responsável perante a lei pelo bom funcionamento e segurança dos seus equipamentos, recaindo sobre a instituição a responsabilidade de qualquer dano que seus equipamentos venham a causar a outrem, caso seja comprovada a negligência do hospital no que toca a manutenção e inspeção do seu patrimônio.

Embora os engenheiros clínicos, em conjunto com a sua equipe, sejam os maiores responsáveis pelos equipamentos, não são os únicos. Cabe aos operadores (enfermeiras, médicos, técnicos, etc.) realizarem inspeções pré-uso, garantindo a detecção das “falhas óbvias” [ECRI, 1989]. Esses *checklists* são geralmente realizados antes ou após cada utilização do equipamento, garantindo assim uma maior segurança nos procedimentos.

É sabido que nem todas as falhas podem ser evitadas, e implementar MP não significa eliminar por completo MC. Existem muitos problemas que ocorrem repentinamente assumindo caráter aleatório, que não podem ser detectados ou prevenidos por procedimentos de MP. No entanto, problemas decorrentes da deterioração causados pelo uso normal do equipamento podem ser detectados antes que venham a causar mau funcionamento ou falhas no equipamento. Observa-se ainda que a MP não se aplica a todos os tipos de equipamentos; os melhores resultados são obtidos geralmente naqueles que contêm peças mecânicas ou que

apresenta degradação por uso (desgaste físico, descalibração, etc.). Aos demais (equipamentos puramente eletrônicos, por exemplo) a experiência vem mostrando que é preferível esperar pela falha, pois inspeções periódicas são pouco custo-efetivas e podem mesmo acabar por introduzir falhas no equipamento.

A implementação de um programa de manutenção preventiva apresenta custos financeiros elevados. Muitos esperam que através de programas de MP se observe uma redução de custos com manutenção. Se os custos com MC forem analisados isoladamente, pode-se em alguns casos considerar essa sentença verdadeira. No entanto, deve-se levar em consideração o custo global, o valor efetivo que todo programa de manutenção irá custar para a instituição, e então se constata que na grande maioria das vezes o que se observa com a implementação de programas de MP é um aumento no custo global.

A redução de custos com MC é compensada com os custos de MP, quando não ultrapassada. A manutenção preventiva possui uma série de gastos que não devem ser desprezados, como: custo da hora técnica do técnico que realiza a manutenção, custo da hora técnica do engenheiro clínico que elaborou a planilha de manutenção e supervisiona o serviço, custo do material utilizado nos procedimentos e o lucro cessante do equipamento, pois para se realizar a MP em um equipamento que estava funcionando perfeitamente e gerando receita para instituição deve ser parado por um período de tempo, o que representa perda de receita.

Portanto, para se analisar o quanto um programa de MP pode vir a “economizar” para a instituição, todos os custos envolvidos no processo de sua realização devem ser considerados e acrescentados aos custos de MC. Talvez seja frustrante verificar que nem sempre o programa será realmente econômico. No

entanto, essa economia precisa ser vista de forma mais abrangente, focando principalmente nos pontos chaves, como: aumento de qualidade e segurança, e na satisfação total do cliente (corpo clínico e paciente).

Os inconvenientes da MP, em particular a parada dos equipamentos, devem ser judiciosamente negociados com todos os envolvidos no hospital em particular com a administração e o corpo clínico. Deve-se estar atento para que a qualificação (treinamento) da equipe de manutenção seja a melhor e mais atualizada possível, além de dispor de materiais (livros, peças de reposição, manuais técnicos, ferramentas, equipamentos de calibração, bancadas, etc.) adequados para realização eficiente e bem sucedida da MP. Isso refletirá diretamente na qualidade do serviço prestando e no menor tempo possível de parada do equipamento, diminuindo assim as eventuais “insatisfações” que o programa possa vir a gerar.

É importante ressaltar que a deterioração causada por mau uso do equipamento decorrente da falta de treinamento dos operadores não pode ser prevenida por programas de MP, por mais bem elaborado que este seja. O quadro é bastante crítico pois, de acordo com o ECRI (1995) uma pesquisa que analisou a falha dos equipamentos médicos que resultaram em morte do paciente ou ocasionaram sério dano ao mesmo, constatou que 25% dos incidentes foram atribuídos a erro do operador. O primeiro passo para solucionar esse problema é tentar identificar as falhas de operação por meio de uma Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and effect Analysis - FMEA*) ou uma Análise de Árvore de Falhas (*Failure Tree Analysis - FTA*). Uma vez detectadas as falhas de operação, é preciso investir mais no treinamento dos operadores, e garantir a eficácia do treinamento através de algum tipo de avaliação.

Sabe-se que esta é uma atividade árdua, uma vez que na maioria das vezes a equipe médica não tolera ser avaliada e muitos sequer disponibilizam tempo para participarem do treinamento, dificultando ainda mais o processo. Em hospitais onde a rotatividade funcional é alta, como no caso de Hospitais Escola, ministrar treinamento aos funcionários é uma tarefa quase impossível. Como um treinamento formal é impraticável na maioria das ocasiões, sugere-se pelo menos garantir uma “orientação informal” que seja satisfatória, podendo ser um treinamento local, rápido e econômico, mas que seja eficiente. Investir em treinamento é investir na qualificação e capacitação do profissional e garantir a melhor e mais segura utilização dos equipamentos, o que refletirá diretamente na disponibilidade e confiabilidade dos mesmos.

Embora fosse interessante verificar a aplicabilidade desse método num hospital e acompanhar a sua evolução para se constatar a sua eficácia ou não, por motivos de tempo, isto não pôde ser feito. Para aplicar esse método num hospital e obter dados para sua aprovação seriam necessários mínimo de quatro a cinco anos, tempo que ultrapassaria o período do mestrado. Apesar disso, baseado nos resultados obtidos pode-se afirmar que a solução apontada pelo método não ficou muito longe da realidade. Sendo atribuída aos equipamentos uma periodicidade bastante razoável, atingindo assim seu objetivo.

Fazendo uma divisão no nível de criticidade dos equipamentos (alto, médio e baixo) com relação à periodicidade resultante do método proposto, temos a distribuição exposta na Tabela 15. Na coluna três desta tabela aparece uma breve justificativa (motivo maior) para a periodicidade atribuída a cada classe de equipamento.

| <b>Nível de criticidade</b> | <b>Classe de Equipamento</b> | <b>Motivo maior</b>   |
|-----------------------------|------------------------------|---|
| <b>ALTO</b>                 | Autoclave                    | Alto risco e alta taxa de falha.  |
|                             | Carro de anestesia           | Alto risco e importância estratégica do equipamento.                                  |
|                             | Bisturi elétrico             | Alta taxa de falhas.  |
|                             | Raios-X portátil             | Alta taxa de falhas, manutenibilidade média e custos médios.                          |
| <b>MÉDIO</b>                | Desfibrilador                | Sugestão do fabricante de MP semestral e manutenibilidade boa (alta).                 |
|                             | Incubadora                   | Média taxa de utilização (60%).   |
|                             | Balão intra-aórtico          | Alto risco, mas média taxa de utilização (50%).                                       |
| <b>BAIXO</b>                | Monitor de ECG               | Alto risco, mas média taxa de falhas. Sugestão do fabricante de MP anual.             |
|                             | Foco cirúrgico               | Sugestão do fabricante de MP anual.   |
|                             | Mesa cirúrgica               | Sugestão do fabricante de MP anual.   |
|                             | Esfigmomanômetro             | Sugestão do fabricante de MP anual.   |
|                             | Oxímetro de pulso            | Alto risco, mas média importância estratégica acompanhada de custos dentro do limite. |

Tabela 15 - Nível de criticidade dos equipamentos analisados.

Observa-se que aparecem equipamentos de alto risco que não são enquadrados na categoria de criticidade máxima, por exemplo: o monitor de ECG. Este equipamento é considerado de alto risco, no entanto para ele foi designada uma MP anual, pois apresentou uma taxa de falhas média e o seu fabricante sugeriu uma MP anual. Fazendo uma breve análise de um monitor de ECG constata-se que ele não possui partes sujeitas a desgaste, nem filtros a serem trocados. Sendo basicamente eletrônico, tendo sido incluído na MP por possuir baterias e necessitar de calibração, não apresenta motivos suficientes para MP freqüentes, e uma periodicidade anual é razoável para a verificação de baterias e eventuais calibrações. Caso a sua taxa de falhas aumente muito, o mais provável é que seja por falha de

operador (mau uso), então medidas devem ser tomadas a fim de elucidar tal problema.

O nível de detalhamento da MP executada é uma questão que merece destaque, principalmente quando se trata dos custos finais de cada procedimento. Entende-se por nível de detalhamento da MP a intensidade ou grau da abrangência das atividades de MP. Manutenções mais simples são mais baratas e também mais rápidas, já as manutenções mais completas, resultam em um custo mais elevado e em um aumento do tempo de parada do equipamento. É interessante alternar os níveis de detalhamento das MPs nos equipamentos, ou seja, se em uma MP foram realizados todos os procedimentos previstos na planilha de execução, na próxima sugere-se apenas executar os itens da planilha que sejam os pontos chaves, resultando assim em uma MP mais simplificada. Esta alternância é mais adequada para equipamentos que possuem periodicidades de MP trimestrais ou semestrais, para equipamentos com MP anuais a relação “segurança × economia de custo e tempo” pode vir a ficar comprometida, devido ao grande intervalo de tempo (2 anos) entre uma MP completa e outra.

| <b>MP</b>         | <b>Nível de detalhamento da MP</b> |              |
|-------------------|------------------------------------|--------------|
| <b>TRIMESTRAL</b> | 1º trimestre                       | COMPLETA     |
|                   | 2º trimestre                       | SIMPLIFICADA |
|                   | 3º trimestre                       | COMPLETA     |
|                   | 4º trimestre                       | SIMPLIFICADA |
| <b>SEMESTRAL</b>  | 1º semestre                        | COMPLETA     |
|                   | 2º semestre                        | SIMPLIFICADA |
| <b>ANUAL</b>      | COMPLETA                           |              |

Tabela 16 - Nível de detalhamento da MP.

Assim como os demais métodos apresentados no item 5, o método proposto apresenta suas desvantagens e limitações. A sua principal desvantagem é ser aplicada a classes de equipamentos, quando o ideal seria que fosse aplicada a cada equipamento em particular, assim poderia se ter uma visão mais real da criticidade de cada equipamento. No entanto, isto só poderia ser realizado com uma base de dados completa e devidamente preenchida. É imprescindível que a base de dados esteja informatizada, pois seria inviável fazer a análise manual do grande número de informações sobre os equipamentos.

Para facilitar a utilização do método, o mesmo poderia ser implementado em um *software* que auxiliasse no tratamento dos dados e gerasse automaticamente a periodicidade da MP. Seria necessário apenas manter o histórico sempre atualizado e “rodar” o programa a cada início de ano, desta forma poder-se-ia agendar com bastante antecedência as paradas dos equipamentos e traçar metas a serem atingidas até o final do ano. Observa-se que alguns dos critérios analisados para cada classe de equipamentos são dinâmicos (taxa de falhas, manutenibilidade, custos, treinamento dos operadores e taxa de utilização), de forma que estes podem sofrer alterações em um certo período de tempo, que deve ser longo o suficiente para detectá-las. Com isto haveriam caminhos diferentes seguidos por uma determinada classe de equipamentos dentro do fluxograma em diferentes épocas de sua vida, ou seja, equipamentos com periodicidade de MP trimestral poderiam, após um período de tempo, ter periodicidade de MP semestral e vice-versa. Desta forma o sistema fica sempre em constante atualização, adequando a periodicidade de MP à realidade atual do equipamento.

A engenharia clínica no Brasil ainda é uma atividade recente quando

comparada a países mais desenvolvidos, mas é inegável que a sua evolução no Brasil sofreu um grande avanço nos últimos anos. Isto decorre da globalização que trouxe consigo preceitos de desenvolvimento em todas as áreas, inclusive no setor médico-hospitalar. O acesso e divulgação da informação atingiram um patamar jamais imaginado há trinta anos atrás. Através da Internet pode-se saber hoje o que acontece do outro lado do mundo, o que aproxima pessoas de realidades distintas e facilita a troca de experiências. Isto fez com que o nível de consciência e exigências tenha aumentado consideravelmente, e assim o termo “qualidade” passou a fazer parte do cotidiano das pessoas. As instituições de saúde do país, apesar de todos os problemas enfrentados, já estão começando a enxergar isto. Aos poucos vêm aceitando que esforços não devem ser medidos para se atingir a meta principal: garantir um atendimento ao paciente com a melhor segurança e qualidade possível, uma vez que são os pacientes a razão de ser de toda instituição de saúde, e que seu propósito é melhorar a qualidade de vida dos pacientes, e não expô-los a mais riscos além dos das suas próprias doenças.

***“Manutenção é isso:***

***Quando tudo vai bem, ninguém lembra que existe.***

***Quando tudo vai mal, dizem que não existe.***

***Quando é para custeá-la, acham que não é necessário que exista.***

***Porém, quando realmente não existe, todos concordam que deveria existir.”***

***Autor desconhecido.***

## Referências

- ABRAMAN. Manutenção Hospitalar – A Permanente Função de Preservar Vidas. Revista Manutenção. Ed.90 – Jan/Fev 2003.  
Em: [www.abraman.org.br/revista\\_manutencao/edicao\\_90\\_materia\\_5.asp](http://www.abraman.org.br/revista_manutencao/edicao_90_materia_5.asp). (07/05/03)
- ANDERSON, J.T. A risk-related preventive maintenance system. Journal of Clinical Engineering, v.17, jan/fev, 1992. p. 65-68.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia, NBR 5462. Rio de Janeiro, p.37, 1994.
- BARATA, L.R.B. A importância da manutenção no processo hospitalar. Revista Manutenção. Ed.90 – Jan/Fev 2003.  
Em:[www.abraman.org.br/revista\\_manutencao/edicao\\_90\\_materia\\_4.asp](http://www.abraman.org.br/revista_manutencao/edicao_90_materia_4.asp). (07/05/03).
- BAULD, T.J. The Definition of a Clinical Engineer. Journal of Clinical Engineering, v. 16 set/out, 1991. p. 403-405.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Equipamentos para estabelecimentos assistenciais de saúde; planejamento e dimensionamento. Brasília, 1994. 239p.
- BRITISH STANDARD. Maintenance Terminology, BS EN 13306, 2001.
- BRONZINO, J.D. Management of medical technology: a primer for clinical engineers. Stoneham: Butterworth-Heinemann, 1992. 452p.
- BUCZKOWSKI, T. Capacitor History. Farad.Net , 24 Mar 2000.  
Em: <http://www.faradnet.com/know/historix.htm> (25/09/03).
- CALIL, S. J. & TEIXEIRA, M. S., Saúde & Cidadania: Gerenciamento de Manutenção em Equipamentos Hospitalares – São Paulo: AGWM Artes Gráficas,1998. 127p.
- CALIL, S.J. Papel do Engenheiro Hospitalar nas Unidades de Saúde. Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Engenharia Biomédica. v.7, 1990. p. 325-440.
- CAPUANO, M. & KORITKO, S. Risk-Oriented Maintenance – Increase the effectiveness of your PM program. Biomedical Instrumentation & Technology, jan/fev, 1998. p. 25-37.
- CASTELAR, R. M., MORDELET, P., GRABOIS, V. Gestão Hospitalar - Um Desafio para o Hospital Brasileiro. Éditions École Nationale de la Santé Publique, 1993. 235 p.
- COHEN, T. Benchmark Indicators for Medical Equipment Repair and Maintenance. Biomedical Instrumentation and Technology. jul/ago, 1995. p. 308-321.
- COHEN, T. The cost of biomedical equipment repair and maintenance: results of a survey. Medical Instrumentation. vol 16, No.05. set/out, 1982. p. 289-271.
- COOK, J. E. Healthcare Technology Management Problems in Developing Countries. Business Briefing: Hospital Engineering & Facilities Management. Dez/2001, pg. 24-27.

- ECRI - Emergency Care Research Institute. Health Devices – Inspection and Preventive Maintenance System. 3<sup>a</sup> Ed. – 1995.
- ECRI - Emergency Care Research Institute. The JCAHO Standard for Equipment Management. Health Technology Management – Accreditation and Standards 1. Spring 1990. p. 1 – 5.
- ELIAS, G. A. Metodologia para Desenvolvimento de Protocolos para Controle de Qualidade de Equipamentos Eletromédicos após Manutenção Corretiva. Janeiro 2002. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação – UNICAMP, SP.
- ENDERLE, J, BLANCHARD, S., BRONZINO, J. Introduction to Biomedical Engineering. Academic Press Ed., 2000. p. 1062.
- FENNIGKOH, L. & SMITH, B. Clinical Equipment Management. JCAHO Plant Safety Technology and Safety Management Standard Series, n.2, 1989. 1:5-14.
- GEDDES, L.A. Medical Devices Accidents – with illustrative cases. CRC Press – NY. 1998. 245p.
- GULLIKSON, M. L. Risk Factors, Safety, and Management of Medical Equipment. In: Bronzino, J. D. The Biomedical Engineering Handbook. USA: CRC Press, Inc. 1995. p. 2522-2536.
- HAYMAN, W. A. The Theory and Practice of Preventive Maintenance. Journal of Clinical Engineering, jan/fev, 2003. p. 31 – 36.
- HERTZ, E. Establishing the Priority of Equipment Inspection. Biomedical Instrumentation & Technology, v.24, nov/dez, 1990. p. 410-416.
- IEC – International Electrotechnical Commission. Technical Report – Fundamental aspects of safety standards for medical electrical equipment. IEC 60513:1994
- IEC – International Electrotechnical Commission. Medical Electrical Equipment. Part 1 – General requirements for safety and essential performance. IEC 60601-1:2002.
- IEC – International Electrotechnical Commission. Medical Electrical Equipment Part 1 – 6: General requirements of safety – Collateral standard: Usability. IEC 60601-1-6:2001.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. 2<sup>a</sup>. Edição. Brasília, p. 62 – 2000.  
Em: <http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/vim.pdf> (08/08/03)
- JAMES, P. L. Equipment Management Risk Rating System Based on Engineering Endpoints. Biomedical Instrumentation & Technology, mar/abr 1999. p. 115 – 120.
- KARDEC, A. & NASCIF, J. Manutenção – Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. – 2001. 341p.

- KEIL, O. R. Hospitals are Big Consumers of “New and Improved”. *Journal of Clinical Engineering*, Jul/Ago 2000. p. 181 – 182.
- KENDALL, E.B.; CRONIK, J. W. & WHITE, R. N. Real-time flexible preventive maintenance scheduling. *Biomedical Instrumentation & Technology*, v. 27, jan/fev, 1993. p.16-20.
- KLÜCK, M. O Papel do Programa Brasileiro de Acreditação Hospitalar na Gestão da Qualidade Assistencial. Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRS, 2002.  
Em: <http://www.alass.org/CALASS2002/actas/109-BR.doc> (29/10/03)
- LAFRAIA, J. R. B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 388p.
- LUCATELLI, M. V. Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos. Florianópolis, 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LUCATELLI, M. V. Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares. Florianópolis, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- MARTINS, M. C. Uma proposta de priorização de equipamentos médico-hospitalares para manutenção preventiva. *Revista Brasileira de Engenharia*, Caderno de Engenharia Biomédica v.7, n.1, p.561-571, 1990.
- MIRSHAWKA, V. & OLMEDO, N.L. Manutenção – Combate aos custos de não-eficácia – A vez do Brasil. São Paulo: Makron Books, 1993. 373pgs.
- MOUBRAY, J. Reliability-Centered Maintenance. 2<sup>nd</sup> ed – Woodbine, NJ – Industrial Press Inc., 1997.
- MOUSSAVI, S. & WHITMORE, K. Review of Scheduled Performance Assurance Inspections. *Journal of Clinical Engineering* - v.18 mar/abr, 1993. p. 159-164.
- OLIVEIRA, R. P. Dicionário Técnico de Manutenção e Engenharia Industrial. Livro On-line – [manutençãomundial.com](http://manutençãomundial.com), 2003.  
Em: <http://www.datastream.net/latinamerica/libro/policarpo.asp?lang=POR> (26/10/03)
- PATTON, J. D. Maintainability and Maintenance Management. 2a Edição – Instrument Society of America, 1988. 446p.
- PATTON, J.D. Preventive Maintenance. Instrument Society of America, 1983. 192p.
- RAMÍREZ, E. F. F. Metodologia de Priorização de Equipamentos Médicos para Programas de Manutenção Preventiva em Hospitais. Campinas, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- RAMIREZ, E. F.F. & CALDAS, E. C. & SANTOS, P. R. Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva. Editora da Universidade Estadual de Londrina - Londrina, 2002. 180p.

- RAMÍREZ, F. F. & CALIL, S. J. Classificação de Critérios de Equipamentos Médico-Hospitalares em Manutenção Preventiva. In: Anais do III Fórum de Ciência e Tecnologia em Saúde, v.1. São Carlos, 1996. p. 167-168
- REZENDE, J. M. O Símbolo da Medicina: Tradição e Heresia. IV Congresso Brasileiro de História da Medicina. São Paulo, 17 – 18/12/1999.  
Em: <http://usuarios.cultura.com.br/jmrezende/simbolo.htm> (22/10/03).
- RIDGWAY, M. Analyzing Planned Maintenance (PM), inspection data by Failure Mode and Effect Analysis Methodology. Biomedical Instrumentation & Technology, May/June 2003. pg. 167 – 179.
- SÁNCHEZ, M. C. Mantenimiento orientado a riesgo, en un sistema de gestión tecnológica hospitalaria. In: Barrios, V. Avances recientes en bioingeniería: Investigación y Tecnología Aplicada. Caracas: Gráficas León SRL, 1997. p. IC41-IC47.
- SHEPHERD'S SYSTEM. Shepherd's System for Medical Device Incident Investigation & Reporting. DEVTEQ Publishing Company, 1998.
- SILVA, G. A. Das razões do juramento. Março, 2001.  
Em: <http://www.diocamp.org.br/voz/diversos/razaaju.htm> (22/10/03).
- SILVA, R. & PINEDA, M. Risk-Based Preventive Maintenance Program for Medical Equipment. Journal of Clinical Engineering. Set/Out, 2000. p. 265-268.
- SMITH, A. M. Reliability-Centered Maintenance. USA: McGraw-Hill, Inc. 1993.
- VIZZONI, E. Manutenção Centrada em Confiabilidade – Avaliação da sua Aplicabilidade e Adaptação a Sustentações de Energia Elétrica. Dissertação (Mestrado em Eng. Elétrica) – DEE – PUC
- WANG, B. & CALIL, S.J. Clinical Engineering in Brazil: Current Status. Journal of Clinical Engineering, v. 16 mar/abr, 1991. p. 129-135.
- WANG, B. & LEVENSON, A. An Improved Method for Including Equipment in the Technology Management Program and Determining its Inspection Frequency - 2001.  
Em: [http://home.earthlink.net/~binseng/pdf/wang\\_levenson.PDF](http://home.earthlink.net/~binseng/pdf/wang_levenson.PDF) (21/09/03).
- WANG, B. & LEVENSON, A. Equipment Inclusion Criteria – A New Interpretation of JCAHO's Medical Equipment Management Standard. Journal of Clinical Engineering. Jan/fev, 2000. p. 26-35.
- WANG, B. & RICE, W. P. JCAHO's Equipment Inclusion Criteria Revisited – Application of Statistical Sampling Technique. Journal of Clinical Engineering. Jan/Mar, 2003. p. 37-48.