

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Amanda Zani Dutra Silva

Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos de um Hospital

São Paulo

2006

Amanda Zani Dutra Silva

Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos de um Hospital

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Mecânica da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Área de concentração: Eng. Mecânica
Orientador: Prof. Marcelo Massarani

São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Amanda Zani Dutra
Gerenciamento de manutenção de equipamentos
de um hos-
pital / A.Z.D. Silva. -- São Paulo, 2006.
46 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da
Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia
Mecânica.

1. Manutenção preventiva 2. Manutenção preditiva
3. Hospitais
universitários (Equipamentos) I. Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Mecânica II.t.

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu avô, Orlando Walter Zani, ex-politécnico, que tem sido minha fonte de força e inspiração para concluir o curso de Engenharia Mecânica, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Agradecimentos

É com grande orgulho e satisfação que venho por meio deste, agradecer a todos aqueles que de alguma forma participaram e contribuíram para a realização deste Trabalho de Formatura e que estiveram junto comigo nesta jornada de 5 anos de estudos nesta Escola.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Luiz José e Rita Maria, que juntos, proporcionaram tudo de melhor para mim. Estudos, educação, amor e lar, foram elementos fundamentais para eu chegar até aqui. Agradeço também ao meu irmão Vitor, por toda paciência e carinho.

Ao meu avô Walter, fonte de inspiração, e toda minha família, avôs, tios e primos que me ajudaram a ser a pessoa que sou hoje.

A minha madrinha, padrinho, Mari e Andréa, por todos os momentos de descontração e força que me deram.

Ao “grupo terapia”, essencial nessa jornada política, formado por amigas de verdade. Paloma, Marcela, Luciana, Patrícia e Renata, obrigada por tudo.

Ao Murilo e ao Akira, pessoas especiais, que tantas vezes me apoiaram e me ajudaram nos momentos mais difíceis da Poli e deste Trabalho de Formatura.

Ao meu orientador, Marcelo Massarani, e ao tecnólogo, Paulo Zanuzzio, que proporcionaram orientações e informações para a realização deste trabalho.

E finalmente, agradeço a todos aqueles que me escutaram, me apoiaram e me acompanharam nesses 5 anos, e que podem comemorar hoje comigo mais esta vitória na minha vida. Carol, Simone, pessoal da mecânica, Wetrats e todos aqueles que de alguma forma torceram por mim e contribuíram para este dia chegar. Muito Obrigada!

Resumo

O Hospital Universitário apresenta algumas deficiências devido à má administração de verbas e investimentos ocorrida há algum tempo atrás no mesmo. Uma das deficiências atuais, apresentada pelo projeto Poli Cidadã, foi a sobrecarga do sistema de gestão da manutenção de seus equipamentos hospitalares, devido a alta demanda. Baseado neste fato é que se insere o atual projeto de formatura que, através de pesquisas sobre os cálculos e métodos existentes para selecionar o melhor tipo de manutenção para equipamentos, visa criar um programa, de fácil uso, para implantar no HU. A elaboração deste programa será feita a partir de informações fornecidas pelo usuário como idade do equipamento, tipo de manutenção usada atualmente, freqüência absoluta de falhas, custos com manutenção, entre outros dados, onde o usuário possa obter como resposta qual o tipo de manutenção que deverá ser aplicada ao equipamento e qual o tempo ótimo para a aplicação desta manutenção. Para a aplicação deste sistema de gestão, será preciso apenas um computador, onde se possa instalar o programa desenvolvido, e um usuário, para fornecer as informações necessárias para o planejamento da manutenção.

Abstract

The Hospital Universitário presents some deficiencies due to the poor administration of money and investments along the years. One of the current deficiencies, brought up by the project Poli Cidadã, was the overload of the management system for the maintenance of hospital equipment. Based on this fact the current graduation project is put into this scenario, through research on the existing calculations and methods, to select the best type of equipment maintenance, which aims the creation of a program, easy to use, to be carried out in the HU. The development of the program will be elaborated on information gathered from the user, such as: age of equipment, type of maintenance currently used, failure frequency, maintenance cost, among other data. The user will obtain from these information the best type of maintenance to be applied to the equipment and the optimum time to use it. Only one computer will be necessary for the application of this management system, and one user to input the necessary information for maintenance plan.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Tipos de Manutenção.....	17
Figura 2: Gráfico Banheira - Variação da taxa de falhas em função do tempo (T)	23
Figura 3: Excel: primeiro passo	36
Figura 4: Segundo passo: fornecendo dados.....	38
Figura 5: Primeira resposta	38
Figura 6: Instruções.....	39
Figura 7: Planilha “Taxa de Falhas”	40
Figura 8: Tempo Ótimo	41
Figura 9: O programa: planilha 1	41
Figura 10: O programa: planilha 2.....	42
Figura 11: $R(t)$ e $\int R(t)$	42
Figura 12: Equação do Custo.....	43
Figura 13: Equação da Manutenção Preventiva.....	43
Figura 14: Programação - VBA	44

Sumário

1- Introdução.....	10
1.1 O Projeto Poli Cidadã e a escolha do tema	10
1.2 O HU.....	11
1.3 - Relatório	13
2- Manutenção	14
2.1- Tipos de Manutenção	16
2.1.1 – Manutenção Preventiva a idade constante	20
2.1.2 – Manutenção Preventiva a data constante	22
3- Fundamentos do programa.....	23
3.1- Parâmetros e equações.....	23
3.2 – Taxa de falhas e Tempo Ótimo.....	27
4- Algoritmo	31
5- O programa.....	34
5.1- Etapas	35
5.2 – Programação	42
6- Conclusão.....	45
Referências.....	46

1- Introdução

1.1 O Projeto Poli Cidadã e a escolha do tema

O Projeto Poli Cidadã é um projeto que visa facilitar o vínculo entre os Projetos de Graduação para conclusão de curso e as necessidades que a sociedade apresenta, através do oferecimento de um conjunto de informações organizado na forma de banco de dados para que os alunos de graduação e os docentes orientadores possam selecionar temas e desenvolvê-los dentro de sua área de interesse. O objetivo é estabelecer mecanismos para incentivar a realização de Projetos de Conclusão da Graduação que atendam necessidades identificadas junto a organismos representativos da sociedade.

Através desta alternativa para os trabalhos de formatura, é possível colaborar na formação social dos alunos de graduação, incentivando o processo de Educação com o aumento do senso de Responsabilidade Social, integrando-se Ensino de Graduação e Extensão Universitária, aproximando a Universidade da Sociedade. Tal iniciativa promove respostas de forma mais direta às expectativas que há em relação ao papel desta Universidade Pública gerida financeiramente pelo Estado de São Paulo.

Neste contexto é que se insere o presente trabalho, cujo tema “Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos de um Hospital” provém do projeto Poli Cidadã. Em busca de uma ação social que utilizasse meus conhecimentos obtidos no curso de Engenharia Mecânica e proporcionasse o desenvolvimento do meu Trabalho de Formatura, escolhi este tema que visa a criação de um

projeto de gestão da manutenção dos equipamentos hospitalares do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo, HU-USP.

1.2 O HU

O Hospital Universitário da Universidade de São Paulo (HU USP) foi idealizado em 1967 e iniciou suas atividades em 1968. Teve implantado a área de Pediatria e Obstetrícia em 1981, a Clínica médica em 1985 e logo em 1986 a Clínica Cirúrgica. Em 2000, visando melhorar a qualidade do atendimento passou por um Redirecionamento Assistencial e finalmente em 2003 retomou sua missão acadêmica.

Localiza-se no campus da Cidade Universitária ocupando 36.000 m² de área construída, distribuídos em:

- 258 leitos
- Centro Cirúrgico com 9 salas e 7 leitos de recuperação
- Centro Obstétrico com 4 salas
- UTI de adultos com 14 leitos
- UTI Pediátrica com 6 leitos
- Ambulatório com 57 consultórios
- 5 Anfiteatros
- 17 salas de aula distribuídas por todo o hospital

No HU USP, alunos de graduação e de pós-graduação das unidades ligadas à área de saúde: médicos, enfermeiros, odontologistas, nutricionistas,

psicólogos, fisioterapeutas, terapeutas-ocupacionais, fonoaudiólogos e farmacêuticos, bem como os residentes médicos recebem ensinamentos práticos e teóricos que complementam sua formação.

O Hospital Universitário é um hospital de bastantes investimentos. Ele recebe uma porcentagem dos cerca de 10,9% do ICMS do Estado de São Paulo que é destinado a USP (Universidade de São Paulo). Porém, há algum tempo atrás, tal investimento foi muito mal administrado e investido no Hospital, principalmente na área de manutenção dos equipamentos. Atualmente o hospital já possui uma área responsável pela manutenção muito bem organizada, porém, com demanda excessiva, devido ao abandono ocorrido anteriormente.

Devido a essas circunstâncias e buscando contribuir com melhorias para a comunidade, este projeto visa ajudar a aumentar o número de atendimentos do Hospital Universitário, através da otimização da disponibilidade dos equipamentos. Isso é possível com a elaboração de um sistema de manutenção adequado às estruturas do mesmo.

Este Hospital possui um sistema de gestão de manutenção adequado aos equipamentos, porém, devido a grande demanda de manutenção por falta de reparos anteriores, apresenta o acúmulo de diversos aparelhos que necessitam de consertos ou ajustes. Estes aparelhos ociosos prejudicam o atendimento dos pacientes, pois restringem o número de atendimentos e os recursos para tais.

Sendo assim, seria de grande valia projetar um sistema de gestão da manutenção dos equipamentos do HU-USP, dizendo o que fazer, como fazer e quanto custaria para implementar este sistema de gestão no hospital.

1.3 - Relatório

Este trabalho apresenta-se da seguinte maneira:

No Capítulo 1, trataremos da motivação da escolha do tema, além de ambientar o leitor sobre as necessidades e objetivos deste projeto

Já no Capítulo 2, introduziremos os conceitos de manutenção, além de apresentar as teorias e equações pesquisadas sobre o tema.

O Capítulo 3, apresenta os fundamentos do programa, ou seja, as equações e parâmetros, sobre manutenção preventiva, que serão utilizadas para construir o programa, além das já apresentadas no capítulo 2.

A partir daí, no Capítulo 4 teremos então, a estruturação do algoritmo. Neste capítulo pode-se constatar como o programa foi construído, ordenando as ações e equações.

Assim sendo, no Capítulo 5, temos o passo a passo da utilização do programa.

E finalmente, no Capítulo 6, podemos constatar as conclusões deste trabalho. Nele apresentamos as percepções obtidas e sugestões de trabalhos futuros.

2- Manutenção

Segundo Mirshawka et al (1993) a manutenção pode ser definida como o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas ou equipamentos, visando garantir a consecução de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade de qualidade de prazos, de custos e de vida útil adequados.

Gerir a manutenção no HU seria calcular o aumento da disponibilidade dos equipamentos e serviços, ou seja, calcular a relação entre o tempo de bom funcionamento do equipamento e o tempo total que ele deveria funcionar, ao se aumentar o controle e as operações de manutenção. A disponibilidade do equipamento é que define o tipo de manutenção a ser utilizada. No entanto, a disponibilidade dos equipamentos depende, simultaneamente, da qualidade de sua fabricação, do modo de utilização e do tipo de manutenção aplicada no equipamento.

De acordo com Mirshawka et al (1993), os objetivos de uma Gerência de Manutenção moderna seriam:

1. Maximizar a produção (disponibilidade) com o menor custo e a mais alta qualidade sem infringir normas de segurança e causar danos ao meio ambiente.
2. Otimizar níveis de estoques de peças.
3. Estabelecer a logística adequada para aquisição de materiais, peças e serviços.
4. Manter registros de Manutenção por equipamentos. A Ordem de Serviço (OS) é o documento base. O histórico é fundamental.

5. Continuamente identificar e recomendar reduções de custo, tais como: racionalização de uso da energia, eliminação de Custos da Não-Eficácia (CNE), modernização de equipamentos, diminuição de custos próprios, etc.
6. Conhecer a matriz de custos da manutenção bem como custos gerais da empresa, principalmente custos da produção parada.

Assim sendo, de acordo com estes objetivos, este projeto visa prover uma tabela em Excel que permita ao usuário definir qual tipo de manutenção ele deverá aplicar para o equipamento analisado. O usuário deverá fornecer dados como idade do equipamento, tipo de manutenção usada atualmente, freqüência absoluta de falhas e custos com manutenção, para obter como resposta o tipo de manutenção que deverá aplicar ao equipamento, além do tempo ótimo para a realização da mesma. A construção desta tabela será baseada em métodos e equações pesquisadas ao longo deste projeto, para promover a otimização da manutenção e, assim, fazer a escolha apropriada do tipo de manutenção a ser utilizada em cada caso.

Tratando-se de um sistema de gestão de manutenção em um Hospital, vale lembrar que, segundo Calil (1998), ao se implantar um sistema de manutenção de equipamentos médico-hospitalares é necessário considerar a importância do serviço a ser executado e, principalmente, a forma de gerenciar a realização desse serviço. Não basta a uma equipe de manutenção simplesmente consertar um equipamento – é preciso conhecer o nível de importância do equipamento nos procedimentos clínicos ou nas atividades de suporte (apoio) a tais procedimentos. É necessário conhecer a história do equipamento dentro do

Estabelecimento de Assistência à Saúde, a que grupo ou família de equipamentos ele pertence, sua vida útil, seu nível de obsolescência, suas características de construção, a possibilidade de substituição durante a manutenção; enfim, tudo o que se refira ao equipamento e que possa, de alguma maneira, subsidiar o serviço de manutenção, visando obter segurança e qualidade no resultado do trabalho. Todos esses dados vão auxiliar o técnico na análise para a detecção de falhas, no conhecimento da urgência da realização do serviço, no estabelecimento de uma rotina de manutenção preventiva e na obtenção do nível de confiabilidade exigido, já que uma manutenção inadequada poderá colocar em risco a vida do paciente.

2.1- Tipos de Manutenção

Existem alguns tipos de manutenção que podem ser aplicados aos equipamentos. Tem-se a manutenção corretiva (quebrou, conserta), a manutenção preditiva (tem-se um sinal visual ou sonoro para realizar a manutenção) e a manutenção preventiva, de acordo com a Fig. (1).

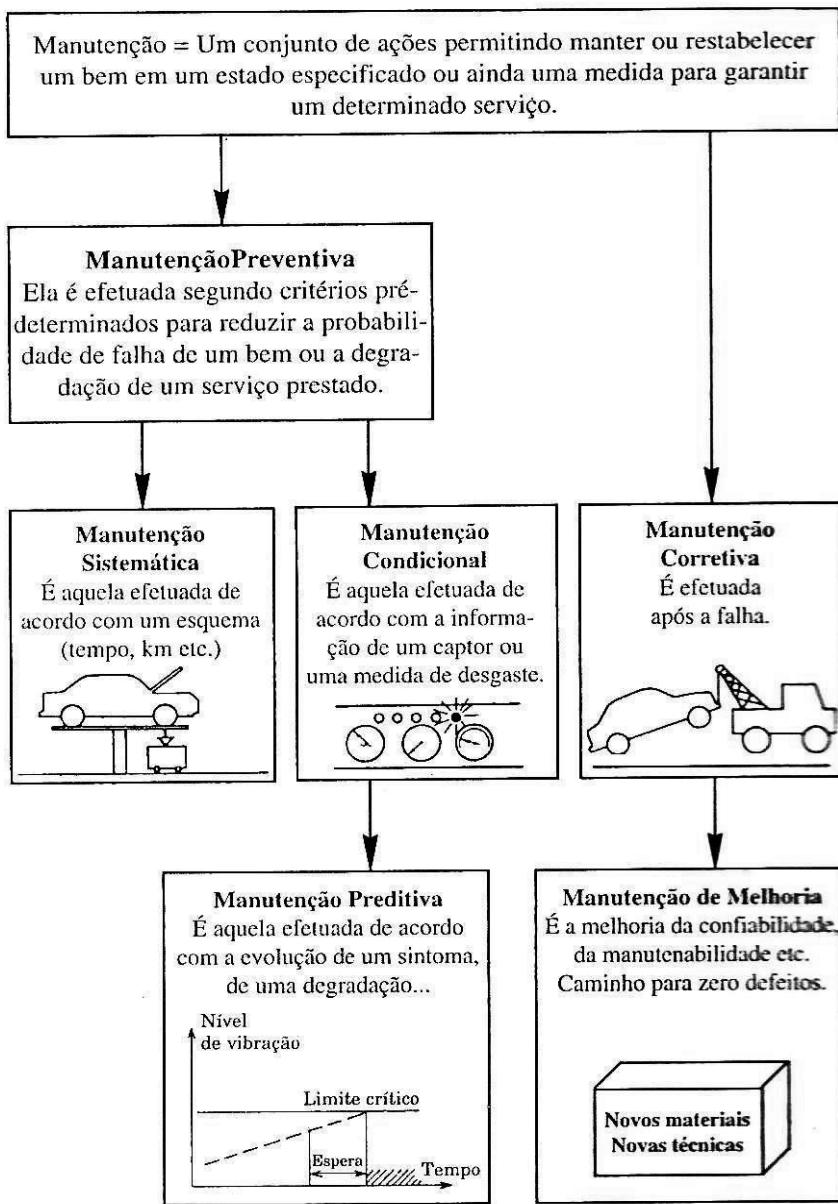


Figura 1: Tipos de Manutenção

Fonte: Mirshawka e Olmedo, 1993, p. 8

Este trabalho irá focar-se na manutenção preventiva, que trata da manutenção segundo a análise de históricos para a criação de critérios que visam reduzir a probabilidade de falha, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir os custos com manutenção.

Em princípio, é necessário criar um banco de dados, onde se possa ter acesso ao histórico de falhas e manutenção de cada equipamento pertencente

ao inventário do hospital. De acordo com visita realizada ao Hospital Universitário, no dia 15/04/2006, o tecnólogo Paulo Zanuzzio, responsável pela manutenção dos equipamentos do HU, pode mostrar a implantação de um software para a criação de um banco de dados. Além disso, estava havendo a criação de um fluxo de procedimentos para a realização das manutenções no hospital.

Com os dados coletados, é necessário criar tabelas, para analisar a função número de falhas versus tempo.

Depois disso, é necessário ter acesso aos custos de manutenção. Para o caso específico de um equipamento, deve-se analisar o custo da manutenção corretiva e preventiva, e suas respectivas incidências, para o cálculo do custo de manutenção total.

Se a taxa de falha do equipamento for crescente, e se o custo total da manutenção corretiva (custo do conserto, da mão de obra e da peça de troca) for maior que o custo da manutenção preventiva, deve-se usar a manutenção preventiva.

Satisfeita essa condição, deve-se decidir agora, qual tipo de manutenção preventiva usar.

É relevante saber que, de acordo com Mirshawka et al (1993), existem muitos parâmetros para descrever as características da confiabilidade e da manutenabilidade de um equipamento. A seguir estão listados alguns parâmetros que serão levados em consideração nas equações mais adiante.

I - Taxa de Falhas (λ)

Somente relevante quando constante. Aplicável apenas a componentes eletrônicos e elétricos.

II - Tempo Médio entre as Falhas // Tempo Médio até falhar

Utilizado freqüentemente para descrever a confiabilidade de um equipamento ou de um sistema. Também é muito útil para se calcular os custos de manutenção.

III - Confiabilidade

É usada onde a probabilidade de falha é de muito interesse como, por exemplo, na aterrissagem de um avião onde a segurança é a que se considera em primeiro lugar.

IV - Manutenabilidade

Pouco usada como um conceito probabilístico. Utiliza-se muito mais outras figuras de mérito do que a própria probabilidade de reparo no tempo de parada permitido.

V - Tempo médio para o reparo

O tempo médio para o reparo, assumindo a existência de peças sobressalentes e de manutentores, é às vezes expresso em termos de percentis. Assim, um percentil de 95% do tempo de reparo de uma hora significa que apenas 5% das ações de reparo excederiam uma hora. O tempo médio de reparo é muito importante para se poder calcular a disponibilidade.

VI – Disponibilidade

É muito útil onde se tem uma grande perda de produção quando se tem um sistema na condição não operacional. A disponibilidade é uma função da confiabilidade e da manutenabilidade.

2.1.1 – Manutenção Preventiva a idade constante

Este tipo de manutenção é aquele em que há a substituição do componente com uma data pré-determinada (idade de manutenção preventiva) ou quando houver a falha do componente.

O objetivo da análise para a implantação deste tipo de manutenção é determinar o ponto ótimo para T , tempo até a falha do equipamento.

Temos que a duração média de um componente, $\mu(t)$, é dada pela equação:

$$\mu(t) = \int_0^t f(t)dt + T \cdot \int_T^\infty f(t) \quad (1)$$

onde $f(t)$ é a densidade de probabilidade de falha.

A densidade de probabilidade de falha é também chamada de probabilidade instantânea de falha, ou seja, ela indica qual a probabilidade do componente falhar até o instante t . Ela é obtida através da análise do histórico de falhas do equipamento, que permite a construção de um gráfico para análise do número de falhas em função do tempo.

Considerando C_c o custo de manutenção corretiva, C_p o custo de manutenção preventiva, temos que o custo de manutenção no instante T ($C(T)$), será:

$$C(T) = \frac{[C_c \cdot F(t) + C_p \cdot R(t)]}{\mu(t)} \quad (2)$$

onde $R(t)$ é a confiabilidade do equipamento, ou seja, a probabilidade de ele não falhar e $F(t)$ é a função de probabilidade acumulada de falha, isto é, a probabilidade do equipamento falhar no instante t ou antes de t . Podemos definir $F(t)$ como

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (3), \text{ e}$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

Para determinarmos o melhor instante T , derivamos a Eq. (2) em função de T e igualamos a zero, obtendo:

$$\lambda(t) \int_0^T R(t)dt + R(t) = \frac{C_c}{(C_c - C_p)} \quad (5),$$

Onde $\lambda(t)$ é a taxa de falha

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (6),$$

ou seja, a probabilidade condicional que o equipamento falhe no tempo compreendido entre t e $t+dt$, supondo que em t o elemento estava funcionando. Desse modo, pode-se concluir que quanto menor a taxa de falha, maior será o tempo ótimo T .

2.1.2 – Manutenção Preventiva a data constante

Este tipo de manutenção visa consertar o equipamento numa data fixada, independentemente de sua idade.

Para se calcular os parâmetros deste método, deve-se determinar o número médio de renovações que se espera ter entre uma manutenção preventiva e a próxima.

Definido um tempo t e a variável N_t como o número de renovações no intervalo de tempo $(0,t)$, podemos definir a função de renovação $H(t)$, como:

$$H(t) = E(N_t) \quad (7)$$

Onde $E(N)$ é o número médio de falhas e equivale a

$$E(N) = \lambda \cdot t \quad (8)$$

O custo médio deste método por unidade de tempo $C(T)$ será:

$$C(T) = \frac{|C_p + C_E \cdot H(T)|}{T} \quad (9)$$

O valor de T , intervalo constante que determinará os momentos em que deverão ocorrer as manutenções, é obtido calculando-se o mínimo desta função.

3- Fundamentos do programa

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos teóricos que darão base para a construção do algoritmo.

3.1- Parâmetros e equações

Antes de começarmos a descrição do algoritmo, apresentar-se-á aqui, algumas equações e parâmetros que serão utilizados para a construção do programa.

Para utilizarmos os dados da tabela e fazermos a análise da manutenção do equipamento do usuário, precisamos analisar mais alguns conceitos.

O gráfico da taxa de falhas de uma população homogênea de componentes, a medida que cresce sua idade T pode ser representado da seguinte maneira:

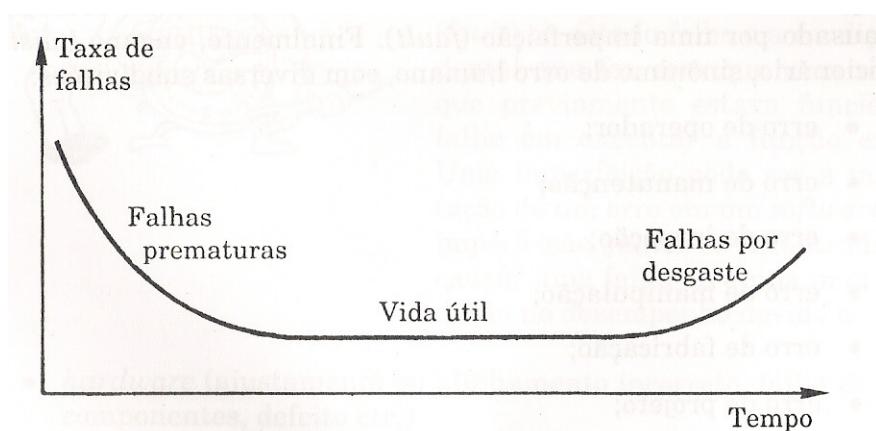


Figura 2: Gráfico Banheira - Variação da taxa de falhas em função do tempo (T)

Fonte: Mirshawka e Olmedo, 1993, p. 240

Observando e analisando este gráfico temos que o trecho inicial deste gráfico representa uma taxa de falhas decrescente, que corresponde aos defeitos importantes de montagem do material e de fabricação, no período inicial de uso.

Já o trecho intermediário, chamado de “vida útil”, corresponde a uma taxa de falhas constante. As falhas neste período são normalmente devido às imperfeições do processo produtivo.

Finalmente o trecho de “falhas por desgaste” diz respeito a degradação irreversível das características do produto e do tempo de funcionamento do mesmo. Este trecho possui uma taxa de falhas crescente com o tempo.

Durante o tempo de “vida útil” a taxa de falhas do equipamento é sensivelmente constante. Neste caso, a função de confiabilidade assume a forma:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (10) ,$$

que é uma exponencial negativa. Além disso,

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (11)$$

$$\text{e} \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (12)$$

Vale lembrar que o tempo médio entre as falhas (MTBF), no caso de $\lambda = cte$, vale:

$$MTFB = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (13)$$

No caso $\lambda = cte$ a probabilidade associada a variável casual (independente) “número de falhas de um tempo dado prefixado”, isto é, a probabilidade $P(N)_T$ de que, dado T , tenham N falhas, vem dada pela distribuição de Poisson:

$$P(N)_T = \frac{[(\lambda \cdot T)^N \cdot e^{-\lambda \cdot T}]}{N!} \quad (14)$$

A partir daí, fazendo a somatória desta probabilidade de $N=0$ até o ∞ , conseguimos deduzir a função de confiabilidade:

$$R(t) = P(N = 0)_T = e^{-\lambda \cdot t} \quad (15)$$

Um estudo ainda mais aprofundado nos leva até a distribuição de Weibull.

Segundo Mirshawka et al (1993), W. Weibull sugeriu uma expressão empírica muito simples para representar uma grande variedade de dados provenientes de testes de vida.

Para a distribuição acumulada de falhas, até um certo instante, ele sugeriu a expressão:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\chi}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (16) \text{, para } t \geq \chi, \text{ onde:}$$

χ = constante ou parâmetro de posição definindo o ponto inicial ou origem de distribuição e que comumente é chamada de vida mínima.

η = constante ou parâmetro de escala, que faz com que a distribuição fique mais ou menos estirada ao longo do eixo horizontal e que comumente é chamada de vida característica.

β = constante ou parâmetro de forma que controla a forma da curva.

A partir daí, é possível definir que:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\chi}{\eta} \right)^{(\beta-1)} \cdot e^{-\left(\frac{t-\chi}{\eta} \right)^\beta} \quad (17)$$

$$C(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\chi}{\eta} \right)^\beta} \quad (18)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{C(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\chi}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (19)$$

Para $\beta = 1$ a distribuição de Weibull reduz-se exatamente à distribuição exponencial e pode, assim, representar um modelo com taxa de falhas constante.

Vale lembrar ainda que no caso bem particular em que $\beta = 3,44$, a distribuição de Weibull aproxima-se em muito da distribuição de Gauss ou normal.

3.2 – Taxa de falhas e Tempo Ótimo

Como já mencionado anteriormente, para que as intervenções de manutenção preventiva sejam economicamente válidas, é necessário que a taxa de falhas do equipamento em questão seja crescente. Assim sendo, no caso deste programa, para calcularmos a taxa de falhas, $\lambda(t)$, iremos analisar os dados históricos do equipamento. Para isso, será necessário preencher uma tabela, onde o usuário deverá fornecer a freqüência absoluta de falha do equipamento e, então, calcular-se-á a média e a variância desta distribuição.

Assim, teremos que a média μ será:

$$\mu = \frac{\sum t_i \cdot n_i}{N} \quad (20),$$

onde t_i é o tempo de falha e n_i é a freqüência absoluta de falha.

E a variância, σ^2 , será:

$$\sigma^2 = \frac{\sum n_i \cdot (t_i - \mu)^2}{N} \quad (21).$$

O coeficiente de variação ρ será

$$\rho = \frac{\mu}{\sigma^2} \quad (22)$$

e o expoente α será

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (23).$$

Sendo assim, segundo a distribuição Erlangiana, teremos que a taxa de falhas, $\lambda(t)$, será:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\frac{1}{\rho} + \frac{2}{\rho^2} \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{\rho^2} \right)} \quad (24)$$

E a função $f(t)$ ficará então:

$$f(t) = \frac{1}{2} \rho^\alpha \cdot t^2 \cdot e^{-\rho \cdot t} \quad (25)$$

Para obter-se então a função $F(t)$ e $R(t)$, utilizadas para o cálculo do tempo ótimo, realizou-se uma seqüência de operações, de acordo com as equações (3) e (4) deste relatório, e obteve-se o seguinte resultado:

$$F(t) = \int_0^T f(t) dt = \int_0^T \frac{1}{2} \rho^\alpha \cdot t^2 \cdot e^{-\rho \cdot t} \quad (26)$$

$$F(t) = \int_0^T At^2 \cdot e^{-\rho \cdot t} \cdot dt = At^2 \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} - \int_0^T 2At \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} = At^2 \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} - \int_0^T 2At \cdot \frac{(-1)}{\rho} \cdot e^{-\rho \cdot t} \quad (27)$$

Onde A vale

$$A = \frac{1}{2} \cdot \rho^\alpha \quad (28)$$

Daí temos que:

$$F(t) = At^2 \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} - \left[2At \cdot \left(\frac{-1}{\rho} \right) \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} - \int_0^T 2A \cdot \left(\frac{-1}{\rho} \right) \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} dt \right] \quad (29)$$

E finalmente:

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho^\alpha t^2 \cdot \left(\frac{-e^{-\rho \cdot t}}{\rho} \right) - \left[2 \cdot \frac{1}{2} \rho^\alpha t \cdot \left(\frac{-1}{\rho} \right) \cdot \frac{(-e^{-\rho \cdot t})}{\rho} - \frac{2}{\rho^2} \cdot \frac{1}{2} \rho^\alpha \cdot \left(\frac{-e^{-\rho \cdot t}}{\rho} \right) \right] \quad (30)$$

Considerando que a equação (4), $R(t) = 1 - F(t)$, temos que:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 + \frac{1}{2} \rho^{\alpha-1} \cdot t^2 \cdot e^{-\rho \cdot t} + \rho^{\alpha-2} \cdot t \cdot e^{-\rho \cdot t} + \frac{e^{-\rho \cdot t}}{\rho} \cdot \rho^{\alpha-2} \quad (31)$$

Sendo assim, só precisamos de mais um termo, $\int_0^T R(t)dt$, para compor a equação (5), $\lambda(t) \int_0^T R(t)dt + R(t) = \frac{C_c}{(C_c - C_p)}$, que será usada no programa para calcular o tempo ótimo para realizar a manutenção do equipamento.

A partir das equações acima, teremos então:

$$\int_0^T R(t)dt = T - e^{-\rho \cdot t} \cdot \left(\frac{t^2}{2} + \frac{2}{\rho^2} + 1 \right) \quad (32)$$

Vale lembrar que para a realização das integrais, utilizou-se a “Integração por partes”, onde

$$\int f(x) \cdot g'(x) \cdot dx = f \cdot g - \int f'(x) \cdot g(x) \cdot dx \quad (33)$$

4- Algoritmo

Para construir um algoritmo utilizamos as equações apresentadas neste relatório da seguinte maneira:

- 1) O primeiro passo foi listar todos os grupos de serviço existentes, para a pessoa poder selecionar o mais adequado, de acordo com o equipamento analisado. A lista encontra-se na coluna AG, da linha 40 até a linha 66, da tabela do Excel. Caso qualquer modificação nos nomes dos grupos queira ser feita, deve-se apenas modificar o nome na respectiva linha da lista.
- 2) Após o usuário fornecer os primeiros dados solicitados pela planilha que são os custos da manutenção corretiva e preventiva, criou-se uma função “SE”, que compara ambos os custos. Caso o custo da manutenção Corretiva seja menor do que o da preventiva, ele apresenta como resposta que deve-se realizar a manutenção corretiva, e não se calcula o tempo ótimo. Caso contrário, se o custo da manutenção corretiva for maior do que a preventiva, a resposta será que o usuário deverá realizar a manutenção preventiva, e ele deverá continuar com os procedimentos de preenchimento da planilha, para o cálculo do tempo ótimo.
- 3) Em seguida a resposta, foi criada uma outra planilha para o cálculo da taxa de falhas. Criou-se um botão na primeira planilha, que leva o usuário para a segunda planilha. Nesta, criou-se uma tabela para o usuário preencher com os dados, que foram utilizados para o cálculo da

taxa de falhas, de acordo com a seguinte seqüência de fórmulas, descritas no capítulo anterior:

$$\text{Equação (20), a média das falhas, } \mu = \frac{\sum t_i \cdot n_i}{N}$$

$$\text{Equação (21), a variância, } \sigma^2 = \frac{\sum n_i \cdot (t_i - \mu)^2}{N}$$

$$\text{Equação (22), o coeficiente de variação, } \rho = \frac{\mu}{\sigma^2}$$

$$\text{Equação (23), o expoente alfa, } \alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\text{E, finalmente, equação (24), a taxa de falhas } \lambda(t) = \frac{1}{\frac{1}{\rho} + \frac{2}{\rho^2} \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{1}{\rho^2} \right)}$$

Cada valor foi apresentado em uma célula do excel, através da utilização de funções do mesmo.

- 4) Após os cálculos realizados na planilha 2, o usuário será direcionado a voltar para a planilha 1, para preencher com mais alguns dados (tempo estimado de funcionamento do equipamento em horas e o tempo em horas que o equipamento já funcionou) e obter o tempo ótimo. Para o usuário obter este tempo, basta ele clicar no botão “Calcular”, o qual possui uma macro associada para o cálculo do tempo ótimo.
- 5) Para a obtenção do tempo ótimo, realizou-se a seguinte seqüência de cálculos, cujos resultados foram utilizados para a criação da Macro:

Equação (31), a confiabilidade,

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 + \frac{1}{2} \rho^{\alpha-1} \cdot t^2 \cdot e^{-\rho \cdot t} + \rho^{\alpha-2} \cdot t \cdot e^{-\rho \cdot t} + \frac{e^{-\rho \cdot t}}{\rho} \cdot \rho^{\alpha-2}$$

$$\text{Equação (32), a integral da confiabilidade, } \int_0^T R(t) dt = T - e^{-\rho \cdot t} \cdot \left(\frac{t^2}{2} + \frac{2}{\rho^2} + 1 \right)$$

E, finalmente, criou-se uma macro para iterar a equação abaixo, de modo que ela obtenha o menor T, para que o lado esquerdo da equação 1 se iguale ao valor do lado direito da equação.

$$\text{Equação (5), } \lambda(t) \int_0^T R(t) dt + R(t) = \frac{C_c}{(C_c - C_p)}$$

Vale lembrar que, dados adicionais que não foram utilizados nos cálculos aqui apresentados (custo atual do equipamento, tempo estimado de funcionamento do equipamento em horas e tempo em horas que o equipamento já funcionou), servem para caracterizar o equipamento. Tais dados poderão ser utilizados em um próximo projeto, que visaria a criação de uma conexão entre este programa e o banco de dados do HU, para que os dados necessários sejam diretamente retirados das informações registradas dos equipamentos do hospital e para que se possa criar um histórico com os dados e características de manutenção do equipamento.

5- O programa

Como vimos anteriormente, segundo Mirshawka et al (1993), a manutenção preventiva se divide em manutenção preventiva sistemática e manutenção preventiva preditiva.

Devido a importância da manutenção na disponibilidade das máquinas e sistemas, hoje não se concebe uma organização que dela não faça uso para cuidar das suas máquinas.

A manutenção preditiva não é uma forma cara de manutenção e custa em média menos do que a metade do custo da manutenção corretiva após a quebra.

Os inputs necessários para que o programa possa fazer os cálculos e a análise para proporcionar o tipo de manutenção mais adequado ao equipamento são:

1. Custo atual do equipamento
2. Orçamento da manutenção Corretiva
3. Orçamento da manutenção preventiva
4. Freqüência absoluta de falhas
5. Tempo estimado do funcionamento deste equipamento (em horas)
6. Qual o tempo (em Horas) que o equipamento já funcionou?

Vale lembrar que esses inputs devem ser retirados do banco de dados, onde devem estar registradas todas as Ordens de Serviço de cada manutenção realizada para cada equipamento.

Para a elaboração do programa selecionador da melhor manutenção serão utilizadas as equações e os conceitos apresentados neste trabalho, obtidos através das pesquisas e estudos realizados ao longo deste projeto.

Além de definir o tipo de manutenção mais adequado que deverá ser utilizado, o programa ainda deverá fornecer o tempo ótimo para a execução da manutenção preventiva. Para a aplicação deste sistema de gestão, será preciso apenas 1 computador, onde se possa instalar o programa desenvolvido e um usuário, para fornecer as informações necessárias para o planejamento da manutenção.

5.1- Etapas

O programa foi construído em uma planilha de Excel, utilizando linguagem de programação do mesmo, Visual Basic. Esta é uma linguagem de programação produzida pela empresa Microsoft e é parte integrante do pacote Microsoft Visual Studio. Através de entradas fornecidas pelo usuário, o programa realiza os cálculos e apresenta como resposta a solução mais adequada para a manutenção do equipamento.

Para a utilização do programa, é necessário que o usuário siga os seguintes passos:

1. Clicar no botão “ATUALIZAR”, no topo da planilha principal, para que os dados sejam todos zerados. Além disso, deve-se digitar o número do

patrimônio do equipamento e escolher o grupo de serviço a que ele pertence.



Figura 3: Excel: primeiro passo

Tal procedimento será útil para futuramente poder-se criar um banco de dados para o armazenamento das informações sobre a manutenção e utilização deste equipamento.

Os grupos de serviço foram definidos pelo responsável técnico da Manutenção dos equipamentos do Hospital Universitário. Os grupos funcionam como um agrupamento de equipamentos semelhantes e que podem sofrer um processo de análise de manutenção, através do programa criado.

Tais grupos são os seguintes:

1. Aparelho de Anestesia
2. Aparelho de Fototerapia
3. Aparelho de Hemodiálise
4. Aparelhos de Raios – X
5. Autoclave
6. Balança
7. Berço Aquecido
8. Bomba de infusão

9. Desfibrilador
10. Eletrocardiógrafo
11. Fluxômetro de ar
12. Fluxometro de O₂
13. Incubadora
14. Monitor
15. PA coluna de mercúrio
16. Processadora Radiológica
17. Respirador
18. Sensor de ar de Incubadora
19. Sensor de Capnografia
20. Sensor de Oximetria Infantil
21. Sensor de Oximetria Adulto Dixtal
22. Sensor de Oximetria Adulto Nellcor
23. Ultrassom
24. Vacuômetro
25. Válvula de cilindro
26. Válvula de rede de ar
27. Válvula de rede de O₂

Já o patrimônio do equipamento funciona como um “RG” do equipamento. Cada equipamento do hospital possui um número de patrimônio. Através desse número é possível saber todas as características e dados de cada equipamento, como marca, data de compra, tempo de utilização, entre outras informações.

2. Fornecer os primeiros dados requisitados pela tabela, através de consulta ao banco de dados, no histórico do equipamento.

Custo atual do equipamento	600
Orçamento da manutenção corretiva	150
Orçamento da manutenção preventiva	90

Figura 4: Segundo passo: fornecendo dados

Com esses dados, a primeira análise que o programa irá fazer com os dados fornecidos, será com relação ao custo da manutenção.

O programa irá fazer a análise desses dados e assim, irá decidir se deverá usar a manutenção corretiva ou preventiva, de acordo com os critérios definidos, fornecendo a primeira resposta do sistema. Se $C_c > C_p$, ele decidirá pela manutenção preventiva, como explicado anteriormente neste relatório. Senão, se $C_c < C_p$, ele decidirá pela manutenção corretiva e não haverá cálculo do tempo ótimo do equipamento.

Tipo de Manutenção **Usar Manutenção Preventiva**

Figura 5: Primeira resposta

Caso a resposta seja “Manutenção Preventiva”, o programa irá agora ajudá-lo a escolher o melhor tempo para aplicar esta manutenção preventiva. Sendo assim, é necessário fornecer mais alguns dados, para o programa poder realizar os cálculos de acordo com as equações acima apresentadas,

3. Clicar no botão “Clique para preencher Tabela “Taxa de Falhas” “. Este botão irá transferir o usuário para a planilha “Taxa de Falha”. Nesta planilha, o usuário deverá preencher a freqüência absoluta de falha , de acordo com as instruções apresentadas.

Para preencher este campo, deve-se proceder da seguinte maneira:

- 1) Primeiro deve-se escolher a unidade de medida (horas, dias, meses ou anos)
 - 2) Depois, deve-se analisar: em 1 "hora" (**unidade de medida escolhida acima**), quantas vezes meu equipamento falhou? E em 2 horas? E em 3 horas? E assim, sucessivamente.
- Vale lembrar que a freqüência absoluta de falha deve ser preenchida até, NO MÍNIMO, o "tempo de falha = 3".**
- 3) Clicar no botão "**Voltar**" e continuar a preencher os dados da Tabela Principal.

Figura 6: Instruções

	A	B	C	D
1	Tabela de Frequência de falha			
2				
3	dias			
4	Tempo de falha (t)	Frequência absoluta de falhas	Produto 1	Produto 2
5	horas, dias, meses ou ano	(n _i)		
6	1	3	3	23,52
7	2	5	10	16,2
8	3	5	15	3,2
9	4	4	16	0,16
10	5	3	15	4,32
11	6	2	12	9,68
12	7	1	7	10,24
13	8	1	8	17,64
14	9	1	9	27,04
15	10		0	0
16		25	95	112
17				
18	μ (média)	3,8		
19	σ^2 (variância)	4,48		
20	α	3,2232		
21	ρ (Coeficiente de Variação)	0,8482		
22	Λ (Taxa de Falhas)	0,1869		

Figura 7: Planilha “Taxa de Falhas”

Com esses dados, o programa irá calcular a média, a variância, o α , o coeficiente de variação e a taxa de falhas, através dos cálculos apresentados nas seções 3 e 4.

Depois disso, o usuário deverá clicar no botão voltar, para retornar a planilha principal e continuar o programa.

4. Ao voltar para a planilha Principal, o usuário deverá fornecer mais 2 dados: Tempo estimado de funcionamento do equipamento (em horas) e Tempo que o equipamento já funcionou. Depois disso, deve-se clicar então no

botão “Calcular”, para que o programa forneça o tempo ótimo para realizar a manutenção preventiva do equipamento.

Densidade de probabilidade de falha (lambda)	0,186861549
Tempo estimado de funcionamento do equipamento (em HORAS)	
Qual o tempo (em HORAS) que o equipamento já funcionou?	
Coeficiente de Variação (p)	0,848214286
Tipo de Manutenção	Usar Manutenção Preventiva
Tempo Ótimo	0,302988547 dias
<input type="button" value="Calcular"/>	

Figura 8: Tempo Ótimo

Atualizar		PREENCHER APENAS OS ESPAÇOS EM BRANCO	
Escolha o grupo de serviço do equipamento e digite o número do patrimônio do equipamento, por favor:			
4	Patrimônio	Grupo de Serviço	6. Balança
5			
6	Custo atual do equipamento		600
7	Orçamento da manutenção corretiva		150
8	Orçamento da manutenção preventiva		90
9	Clique para preencher Tabela "Taxa de Falhas"		
10	Densidade de probabilidade de falha (lambda)	0,186861549	
11	Tempo estimado de funcionamento do equipamento (em HORAS)		
12	Qual o tempo (em HORAS) que o equipamento já funcionou?		
13	Coeficiente de Variação (p)	0,848214286	
15	Tipo de Manutenção	Usar Manutenção Preventiva	
19	Tempo Ótimo	0,302988547 dias	
20	<input type="button" value="Calcular"/>		

Figura 9: O programa: planilha 1

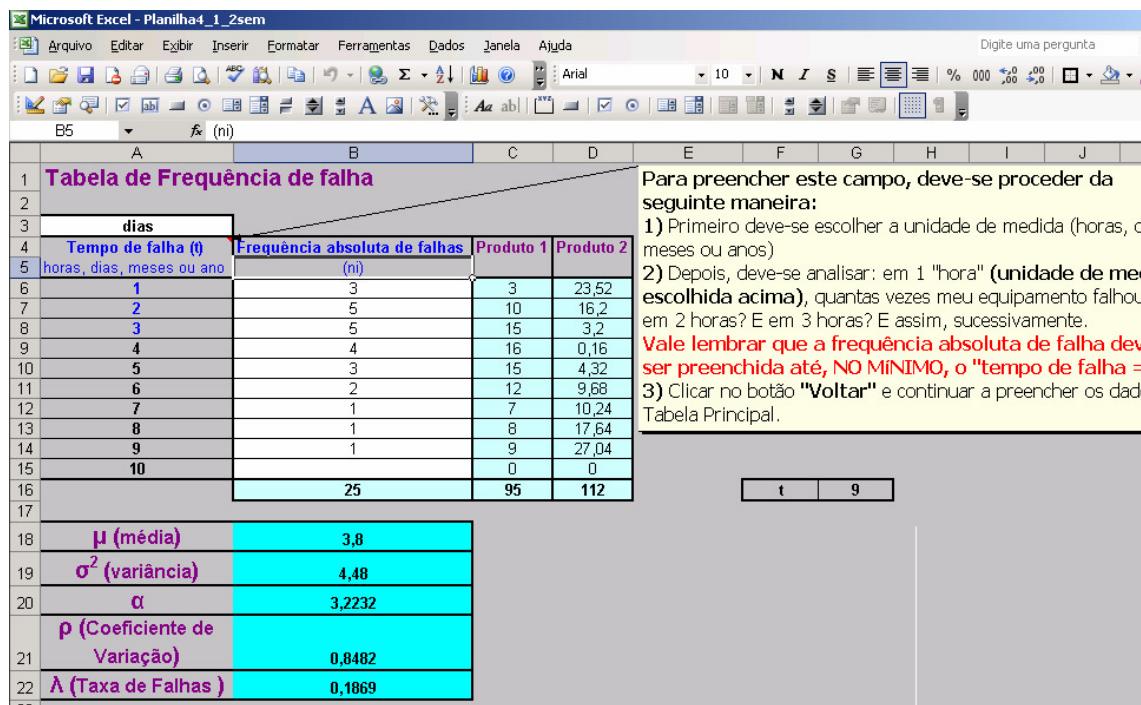


Figura 10: O programa: planilha 2

5.2 – Programação

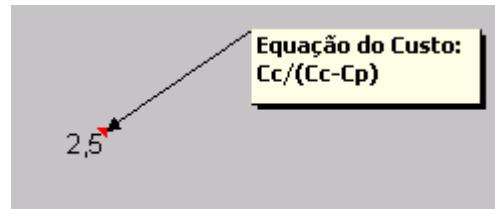
Para o cálculo do tempo ótimo da manutenção preventiva a idade constante, utilizamos as equações descritas nas seções 2, 3 e 4.

Para realizar a programação, foi necessário calcular-se alguns valores, utilizados para a criação do programa. Para começar, colocou-se a fórmula de $R(t)$ e $\int R(t)$, cada uma em uma célula para a obtenção de seus valores.

$R(t)$	1,961669207
Integral de $R(t)$	2,881537719

Figura 11: $R(t)$ e $\int R(t)$

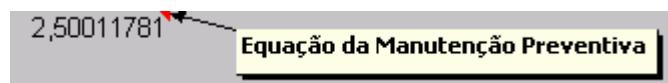
Para podermos satisfazer a equação (5) $\lambda(t) \int_0^T R(t)dt + R(t) = \frac{C_c}{(C_c - C_p)}$, calculamos o valor do lado direito desta equação.



A screenshot of a computer screen showing a mathematical equation. The equation is $\text{Equação do Custo: } C_c / (C_c - C_p)$. To the left of the equation, the number $2,5$ is displayed. A red arrow points from the text "Equação do Custo:" towards the equation itself.

Figura 12: Equação do Custo

O lado esquerdo desta equação continha a incógnita T , que seria o melhor instante T para realizarmos a manutenção, que queríamos determinar. Sendo assim, através de programação em Visual Basic, realizamos uma iteração com o lado esquerdo da equação, para que se pudesse obter o tempo ótimo.



A screenshot of a computer screen showing a mathematical equation. The equation is $\text{Equação da Manutenção Preventiva}$. To the left of the equation, the number $2,50011781$ is displayed. A red arrow points from the text "Equação da Manutenção Preventiva" towards the equation itself.

Figura 13: Equação da Manutenção Preventiva

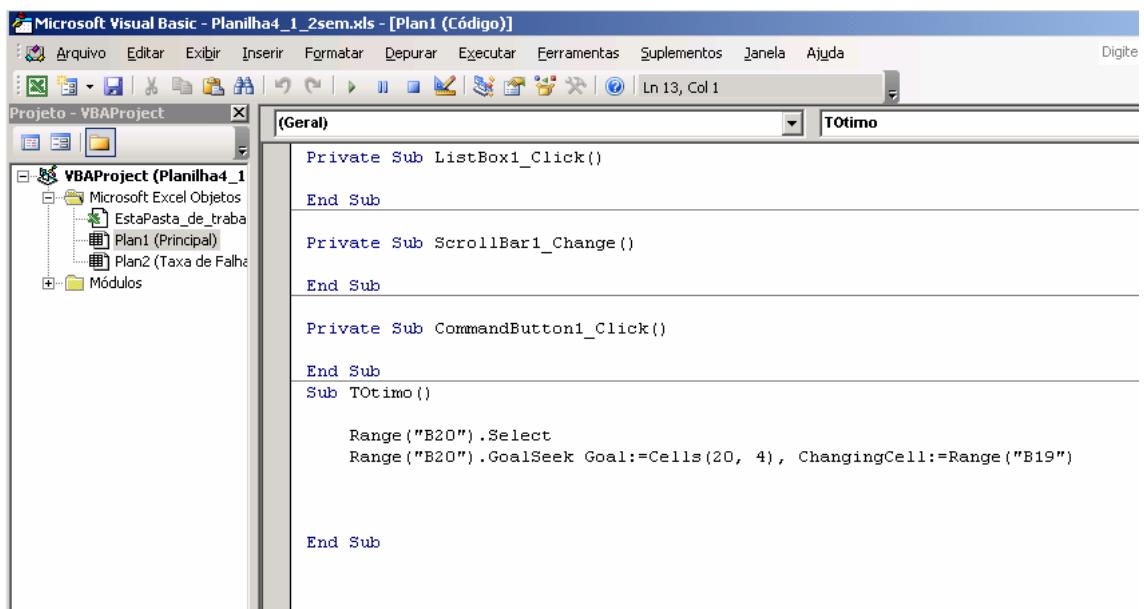


Figura 14: Programação - VBA

Vale lembrar que nestes cálculos foram considerados apenas a manutenção preventiva a idade constante, visto que ela se mostrou bem mais eficiente, além de proporcionar um melhor tempo ótimo.

6- Conclusão

Para a realização deste projeto, foram realizados estudos e pesquisas sobre o tema deste trabalho, conversas com o tecnólogo de manutenção do Hospital Universitário e visitas ao HU. Com isso, definiu-se a meta deste projeto, que era desenvolver um programa para ajudar a organizar a demanda por manutenção dos equipamentos do HU. Além disso, levantou-se os recursos disponíveis para a realização do mesmo.

O programa deve ser instalado no Hospital Universitário até o final deste ano, e será de grande auxílio aos técnicos de manutenção, para otimizarem a manutenção dos equipamentos do hospital.

Um ponto positivo deste programa é que não haverá custo algum para a instalação do mesmo, visto que não será necessária a compra de nenhum software ou equipamento. O programa pode ser instalado em qualquer computador que possua Excel, e deverá ser manejado por um funcionário que esteja apto a fornecer as informações requeridas por esse programa.

Posteriormente, num próximo projeto, se for de interesse dos usuários, poderá ser criado uma conexão entre os dados fornecidos no programa e o banco de dados do Hospital. Assim, será possível armazenar as informações de cada equipamento e criar um histórico com os gastos de manutenção.

Este projeto proporcionou a criação de um programa real e acessível para ser utilizado no gerenciamento da manutenção dos equipamentos hospitalares do Hospital Universitário.

Referências

Baldin, A., Furlanetto, L., Roversi, A., Turco, F., 1982, "Manual de mantenimiento de instalaciones industriales", Ed. Gustavo Gili, S. A., Barcelona, Espanha

Calil, S. J., Teixeira, M. S., 1998, "Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares", Vol. 11, Ed. Fundação Peirópolis Ltda., São Paulo, Brasil

Mirshawka, V., Olmedo, N. L., 1993, "Manutenção combate aos custos da não-eficácia a vez do Brasil", Ed. Makron Books do Brasil Ltda., São Paulo, Brasil