

 <p>18º SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</p>	<p>06 a 10 de Outubro de 2008 Olinda - PE</p>
---	---

SECAM - Uma Ferramenta Para Avaliação do Desempenho da Manutenção

Heldemarcio L. Ferreira	José L. P. Dantas	Juliana de C. M. Santana	Prof. Ana Paula C. S. Costa
CELPE	CELPE	CELPE	UFPE
heldemarcio@celpe.com.br	dantas@celpe.com.br	juliasnas@celpe.com.br	apcabral@ufpe.br

PALAVRAS CHAVE:

Confiabilidade
Mantenabilidade
Sistema de Informação
Teste Estatístico

DADOS DA EMPRESA:

Nome: CELPE
Endereço: AV. João de Barros
Telefone/fax: 81 32176281
E-mail: heldemarcio@celpe.com.br

7.2 RESUMO

No setor elétrico, geralmente usam-se modelos para avaliação de desempenho de sistemas, nos quais os dados são tratados através de uma abordagem de estatística descritiva. Além disso, o próprio processo de coleta dos dados requer algumas considerações do ponto de vista metodológico. Os indicadores assim obtidos são de natureza determinística e não consideram o aspecto inferencial.

A definição do modelo de avaliação e a formatação dos indicadores deve atender às expectativas da organização, retratar as condições atuais e favorecer uma análise de tendência. Assim, o objetivo específico desse trabalho é apresentar uma proposta de sistema de informação que envolve aquisição, registro e processamento de dados e permite analisar de maneira eficaz o desempenho dos equipamentos, instalações e da estrutura de manutenção de uma concessionária de energia elétrica.

A metodologia adotada considera uma abordagem probabilística dos dados, na qual são utilizados modelos de referência para representar os comportamentos das funções de distribuição de probabilidade de falhas e dos tempos de atendimento, permitindo inferir sobre as funções de Confiabilidade e Mantenabilidade, mediante o uso de ferramentas estatísticas mais adequadas para o diagnóstico do estado atual e análise de tendência do sistema sob avaliação e da estrutura de manutenção correlata.

1. OBJETIVOS

Atualmente, percebe-se no mercado a existência de inúmeros sistemas de gerenciamento de manutenção que oferecem apenas um tratamento determinístico dos dados, sem permitir a inferência estatística que favoreça uma análise de tendência do comportamento do sistema objeto sob análise. Esse fato motivou o desenvolvimento de um sistema de informação com o

objetivo de agregar esse importante requisito para a engenharia de manutenção da CELPE. Através de uma parceria com o Departamento de Engenharia de produção da UFPE foi desenvolvido o SECAM – Sistema Estatístico de Controle e Avaliação do Desempenho da manutenção que é uma ferramenta gerencial para avaliação de desempenho de processos e ativos da transmissão e distribuição da CELPE.

2. METODOLOGIA

O SECAM é apresentado em sua estrutura funcional, a qual destaca como suas funções básicas: a entrada de dados, a avaliação da confiabilidade a avaliação da manutenibilidade e a emissão relatórios gerenciais. Nesse trabalho são exibidas as telas de navegação, de modo a permitir uma maior familiaridade com a IHM e com os recursos disponíveis do sistema de uma forma mais concisa.

A base de dados do SECAM é obtida do módulo PM do sistema R3 da SAP (notas e ordens) e, eventualmente, da área de operação do sistema. Portanto, a atualização e manutenção do cadastro do sistema são fundamentais para a obtenção dos resultados esperados do SECAM.

As funções básicas do sistema de informação são descritas a seguir:

a) Entrada de Dados/Importação

Esta função corresponde a um módulo de entrada de dados com facilidades de inclusão, exclusão, alteração e consulta dos dados.

Para tornar possível a realização dos estudos de confiabilidade e manutenibilidade, deve-se cadastrar ou importar para o Sistema de Informação os dados de falhas dos equipamentos cuja confiabilidade se deseja avaliar e os dados dos tempos de manutenção para atendimento as solicitações de manutenção.

b) Avaliação de Confiabilidade

Esta função tem por objetivo estudar o comportamento dos equipamentos com relação à tendência da taxa de falhas. É realizado um teste estatístico, o teste de Poisson, a partir dos dados cadastrados, fornecendo como produto um relatório indicando o resultado do teste de hipótese de tendência para a taxa de falhas dos equipamentos estudados, informando se é aceita ou rejeitada a hipótese de comportamento da taxa de falhas constante. Os dados solicitados ao usuário para que o teste possa ser realizado são uma ou mais famílias ou uma espécie de equipamentos; o período sobre o qual será feita a avaliação (data início e data final) e o nível de significância do teste.

c) Avaliação de Manutenibilidade

Nesta função será feito um estudo de como estão acontecendo os atendimentos às solicitações de manutenção. É verificado que distribuição de probabilidade, entre as distribuições modelo disponíveis no Sistema de Informação, melhor representa o atendimento as manutenções. Esta função disponibilizará as seguintes sub-funções:

- Cadastro de modelos: o usuário poderá cadastrar como modelos de referência de manutenibilidade funções Lognormal e Gama e informar os parâmetros destas distribuições e poderá indicar o modelo principal e o modelo alternativo.
- Teste de Hipótese: o sistema realizará um teste de hipótese para verificar se os dados de manutenibilidade se comportam segundo o modelo de referência. Como produto, será gerado um relatório, por família ou por espécie, informando se a hipótese de que a manutenibilidade, relativa aos dados, comporta-se como o modelo de referência foi aceita ou rejeitada.

d) Obtenção de Indicadores de Desempenho

Nesta função são obtidos os indicadores de gestão dos processos de manutenção com o intuito de apresentar um diagnóstico do estado atual do sistema, através das estatísticas descritivas e um prognóstico sobre seu comportamento futuro, através de uma abordagem inferencial.

2.1 DIÁLOGO DO SISTEMA

A interface do Sistema foi desenvolvida com a preocupação de facilitar a manipulação e análise dos dados pelo usuário. Foi utilizado o conceito de Barra de Menu, na qual estão todos os módulos para entrada e saída de informações, e o conceito de Barra de Ícones que representa as seções dentro dos módulos. O usuário pode escolher a forma que julgar mais adequada para interagir com o programa.

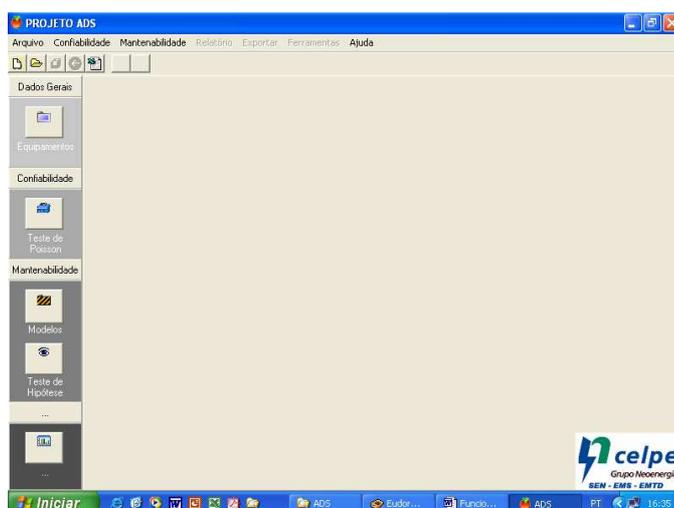


Fig. 1 - Front-End do Sistema

Consta basicamente das seguintes ferramentas: Barra de Menus, Barra de Ferramentas, Barra Vertical de Ícones e Área de Trabalho.

Os módulos do sistema, que estão diretamente relacionados às suas funções básicas, são apresentados a seguir, sendo detalhados os mais importantes:

- Módulo Arquivo é responsável pela criação, salvamento, carregamento de dados e pelo encerramento do programa. Este módulo está dividido nas seguintes opções: Novo, Abrir, Salvar Como, Modelo de Importação, Importar, Fechar e Sair. (vide figura 2)
- Módulo Equipamentos é responsável pela exibição e edição de dados de manutenção referentes ao conjunto de equipamentos do arquivo.
- Módulo de Confiabilidade fornece ao usuário uma avaliação do comportamento da taxa de falhas de um conjunto de espécies ou famílias de equipamentos ao longo de um intervalo de tempo especificado. Seu objetivo é informar se, para cada família ou espécie de equipamentos, a respectiva taxa de falhas é crescente, decrescente ou constante, mediante um Teste de Tendência.
- Módulo de Manutenibilidade realiza, para espécies e famílias, o cadastro de distribuições de probabilidade que servirão de referência para os seus tempos de manutenção, além de realizar testes de aderência dos tempos observados aos modelos cadastrados. Para isso, este módulo dispõe de duas seções: Modelos e Teste de Hipótese.

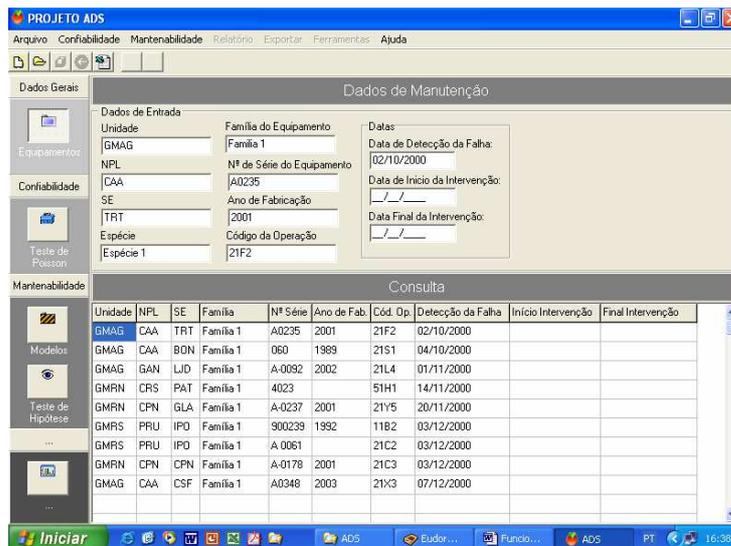


Fig. 2 - Entrada/Importação de dados

A seguir será apresentada a estrutura básica que compõe o diálogo do Sistema de Informação. Cada uma das figuras representa a forma com o usuário irá interagir com o sistema para desenvolver cada uma das funcionalidades descritas neste trabalho.

2.2. DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS MÓDULOS

2.2.1. Módulo de Equipamentos

Este módulo é ilustrado a seguir dividido em duas partes:

- Dados de Manutenção: Localiza-se na parte superior da tela. Esta parte apresenta um conjunto de campos com informações de identificação do equipamento e da atividade de manutenção realizada referente à linha selecionada na tabela Consulta, na parte inferior da tela.
- Consulta: Localizada na parte inferior da tela, esta parte apresenta em uma tabela o conjunto dos dados de manutenção dos diversos equipamentos contidos no arquivo. Além de visualizar os dados dos campos da seção Dados de Manutenção lado a lado, a tabela de consulta permite visualizar os diversos registros conjuntamente, cada registro em uma linha específica.

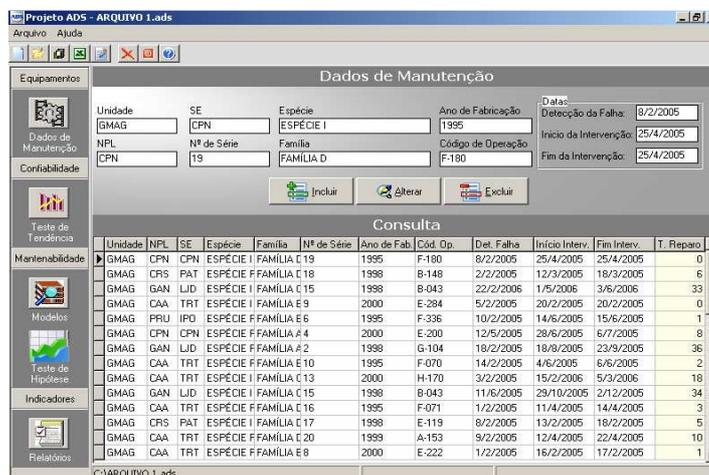


Fig. 3 - Módulo Equipamentos

2.2.2. Módulo de Confiabilidade

Esse módulo oferece o Teste de Tendência que permite avaliar o comportamento da taxa de falhas dos equipamentos por espécie ou família. Para a realização deste Teste, o usuário precisa selecionar um conjunto de parâmetros, seguindo os seguintes passos:

a) Escolha da Classificação dos Equipamentos: No canto superior esquerdo da tela da seção Teste de Tendência, o usuário deverá eleger uma opção exclusiva de classificação dos equipamentos para a realização do Teste. Para isso, ele deverá selecionar a opção Espécie ou a opção Família, segundo a qual os equipamentos serão agrupados e avaliados.

b) Seleção de um Conjunto para Teste: Depois de realizada a etapa anterior, o usuário deverá, na caixa de seleção Espécie(s) ou na caixa de seleção Família(s) selecionar respectivamente as espécies ou famílias cuja tendência de taxa de falha será testada.

c) Estabelecimento do Período de Avaliação: O teste deverá ser realizado dentro de uma janela de tempo, ou seja, um intervalo de tempo suficiente onde detecções de falha nele compreendidas serão avaliadas. Para isso, na caixa de seleção Início o usuário deverá selecionar uma data inicial para o Teste e, na caixa de seleção Fim, uma data final para o Teste.

d) Escolha do Nível de Significância do Teste: O nível de significância do teste é um parâmetro relacionado a um conceito probabilístico. Refere-se à probabilidade de se incorrer no erro do tipo I, ou seja, de rejeitar-se a hipótese nula (taxa de falha constante) dado que a mesma deve ser aceita. O SECAM adota o valor de 5% como default. Caso o usuário deseje aumentar ou diminuir o nível de significância, o mesmo deve retirar a seleção da opção default (ao lado da caixa de seleção), tendo em seguida a opção de selecionar os valores de 1%, 10%, 15% ou 20%.

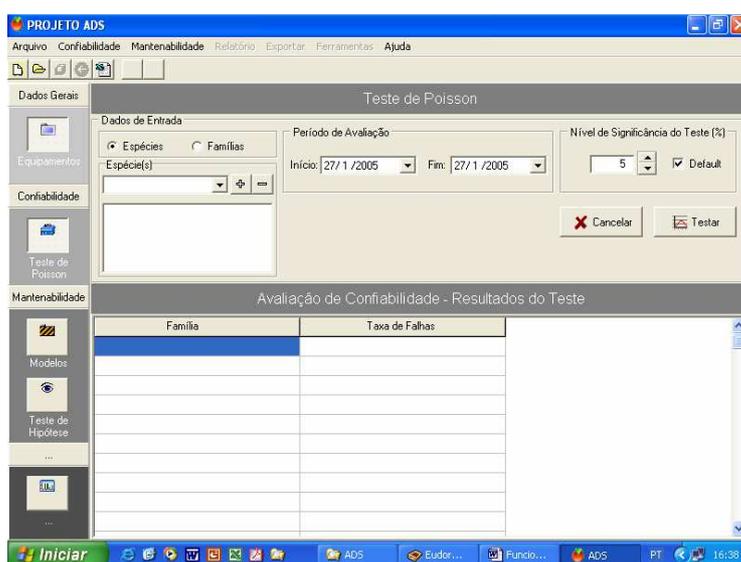


Fig. 4 - Módulo Confiabilidade (Teste de Poisson)

Realizados estes procedimentos, o usuário deverá clicar sobre o botão Testar. Serão exibidos em seguida os resultados na tabela Avaliação de Confiabilidade - Resultados do Teste, localizada na parte inferior da tela. Nesta tabela são listadas todas as famílias ou espécies que já foram selecionadas para Testes de Tendência, o período de avaliação e o nível de significância associados a cada uma, e o respectivo resultado sobre a taxa de falhas: Tendência ou Constante. Depois de realizado o teste, o usuário tem a opção de visualizar, para o caso de uma taxa de falhas constante, um gráfico que confronta a distribuição exponencial acumulada, associada à taxa de falhas, com a frequência acumulada das falhas da espécie ou família selecionada no período de avaliação. Para isso, o usuário poderá clicar sobre o botão

Gráficos ou selecionar a guia de mesmo nome no campo inferior esquerdo da tela, conforme ilustrado na figura 5.

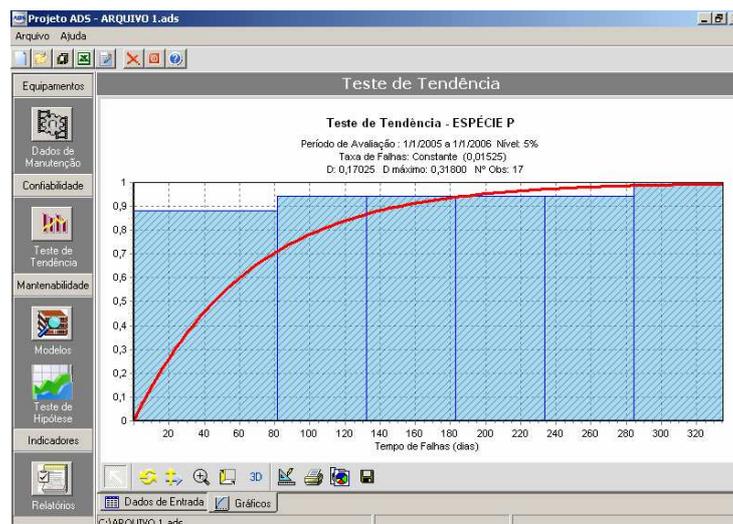


Fig. 5 - Módulo Confiabilidade (Teste de Tendência)

2.2.3. Módulo de Manutenibilidade

Esse módulo é constituído das duas seguintes seções:

A seção Modelos que permite ao usuário o cadastro de distribuições de probabilidade que servirão de referência para os tempos de reparo de uma determinada espécie ou família de equipamentos. Para cada uma, o usuário deverá informar um modelo principal e terá a opção de informar um modelo alternativo. Estas distribuições e os seus respectivos parâmetros servirão como dados de entrada para o Teste de Hipótese.

A fim de realizar a inclusão, edição ou exclusão de modelos para uma determinada família ou espécie, o usuário deverá realizar:

a) Escolha da Classificação dos Equipamentos: No canto superior esquerdo da tela da seção Modelos o usuário deverá eleger uma opção exclusiva de classificação dos equipamentos para o cadastro de Modelos. Para isso, ele deverá selecionar a opção Espécie ou a opção Família, a fim de que a respectiva caixa de seleção seja exibida.

b) Escolha de um Elemento do Conjunto: Selecionada a opção Família no passo anterior, o usuário deverá escolher uma família na caixa de seleção inferior para a manipulação dos seus respectivos modelos Principal e Alternativo. A operação com Espécie ocorrerá de maneira análoga.

c) Definição da Distribuição para o Modelo Principal e Alternativo: Seguem-se os passos a seguir:

1. Escolha do Tipo – Refere-se ao estabelecimento, através da caixa de seleção Tipo, da distribuição de probabilidade para os tempos de reparo do modelo principal ou alternativo. O usuário poderá selecionar as distribuições Lognormal ou Gamma.

2. Inserção dos parâmetros – O usuário deverá preencher os valores relativos aos parâmetros da distribuição especificada:

Média e Desvio Padrão para a distribuição Lognormal, e

Parâmetro de Forma e Parâmetro de Escala, para a Distribuição Gamma.

Realizadas estas etapas, o usuário poderá finalizar, abortar ou reiniciar o processo de inserção de modelos.

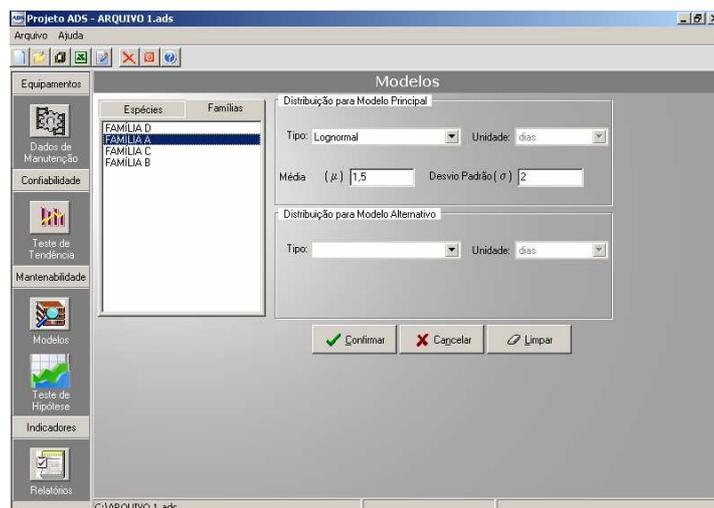


Fig. 6 - Módulo Manutenibilidade (Modelos)

O Teste de Hipótese fornece ao usuário uma avaliação da aderência das durações das atividades de manutenção à sua respectiva distribuição segundo o modelo Principal ou Alternativo. Através do Método de Kolmogorov-Smirnov, para uma determinada espécie ou família e para um dado nível de significância, o Teste de Hipótese confrontará as frequências das durações de manutenção com as respectivas probabilidades destas durações dentro de um modelo teórico, a fim de verificar a conformidade dos dados com o modelo e o desempenho deste último. Como saída, para cada família ou espécie selecionada, o Teste de Hipótese apresentará um dos seguintes resultados, conforme ilustrado na figura 7:

- Hipótese Aceita: No período de avaliação e para o nível de significância especificado, os dados referentes aos intervalos de duração de manutenção aderem satisfatoriamente ao modelo apresentado (Principal ou Alternativo).
- Hipótese Rejeitada: No período de avaliação e para o nível de significância especificado, os dados referentes aos intervalos de duração de manutenção não aderem ao modelo apresentado (Principal ou Alternativo).
- Modelo Não registrado: Quando nenhuma distribuição de probabilidade nem os valores para os seus parâmetros foram registrados, na seção Modelos, para a espécie ou família selecionada, impedindo a realização do teste.
- Sem Dados: Quando não foram encontrados dados para a espécie ou família selecionada no período de avaliação especificado para o teste.

Semelhantemente ao Teste de Tendência, para a realização do Teste de Hipótese o usuário deverá selecionar um conjunto de parâmetros, seguindo os seguintes passos:

1. Escolha da Classificação dos Equipamentos: No canto superior esquerdo da seção Teste de Hipótese o usuário deverá eleger uma opção exclusiva de classificação dos equipamentos para a realização do Teste. Para isso, ele deverá selecionar a opção Espécie ou a opção Família, segundo a qual os equipamentos serão agrupados e avaliados.
2. Seleção de um Conjunto para Teste: Depois de realizada a etapa anterior, o usuário deverá, na caixa de seleção Espécie(s) ou na caixa de seleção Família(s) selecionar respectivamente as espécies ou famílias cujos tempos de reparo serão testados
3. Estabelecimento do Período de Avaliação: O teste deverá ser realizado dentro de uma janela de tempo, ou seja, um intervalo de tempo suficiente onde as datas de início e fim da intervenção nele compreendidas serão avaliadas. Para isso, na caixa de seleção Início o usuário deverá selecionar uma data inicial para o Teste e na caixa de seleção Fim, uma data final para o Teste.

4. Seleção de Modelos para Teste: Abaixo da área referente ao Período de Avaliação, encontra-se a caixa Testar com duas opções de checagem. A primeira, Modelo Principal, realiza o Teste de Hipótese considerando a distribuição de probabilidade do modelo principal e os seus respectivos parâmetros; a segunda, Modelo Alternativo, realiza o Teste de Hipótese considerando os parâmetros da distribuição de probabilidade do modelo alternativo. Ao menos uma das duas alternativas deverá ser selecionada para a realização do teste.
5. Escolha do Nível de Significância do Teste: Este parâmetro refere-se a um conceito probabilístico. Significa a probabilidade de se incorrer no erro do tipo I, ou seja, de rejeitar-se a hipótese nula (dados aderem ao modelo) quando a mesma deve ser aceita. O SECAM utiliza o valor de 5% como valor default. Caso o usuário deseje alterar o nível de significância, deve retirar a seleção da opção default (ao lado da caixa de seleção), em seguida a selecionar um dos valores: 1%, 10%, 15% ou 20%.

Realizados estes procedimentos, o usuário deverá clicar sobre o botão Testar. Serão exibidos os resultados na tabela Avaliação de Manutenibilidade - Resultados do Teste, localizada na parte inferior da tela. Nesta tabela são listadas: todas as famílias ou espécies que já foram selecionadas para Testes de Hipótese, o período de avaliação, o nível de significância associado a cada uma e o respectivo resultado sobre o modelo principal e o modelo alternativo: Hipótese Aceita, Hipótese Rejeitada, Modelo Não Registrado, ou Sem dados. Caso um dos modelos não seja selecionado, o campo da tabela referente a este modelo permanecerá em branco. Os resultados de novos testes serão exibidos nas primeiras linhas. Depois de realizado o teste, o usuário tem a opção de visualizar, para o caso de uma Hipótese Aceita ou Rejeitada, um gráfico que confronta a distribuição acumulada do modelo principal, registrado na seção Modelos, com a frequência acumulada das falhas da espécie ou família selecionada no período de avaliação, como apresentado na figura a seguir:

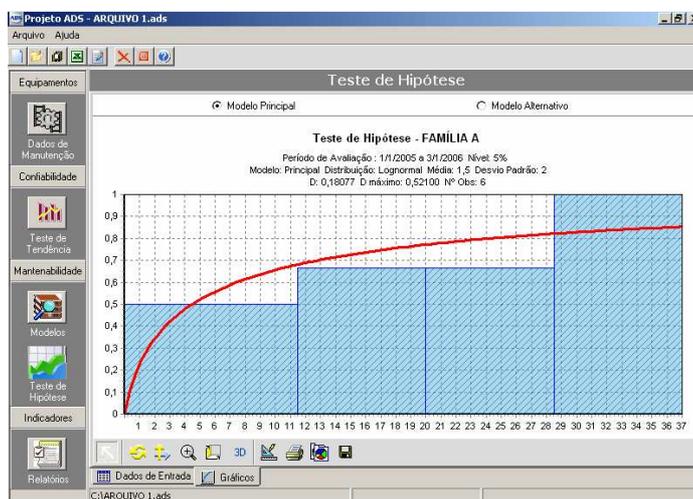


Fig. 7 - Módulo Manutenibilidade

Para isso, após a realização do teste, o usuário poderá clicar sobre o botão Gráficos na guia Dados de Entrada ou selecionar os guias Gráficos no campo inferior esquerdo da tela. A fim de visualizar o gráfico com os resultados para o modelo alternativo, o usuário poderá clicar sobre a opção Modelo Alternativo, no canto superior direito do gráfico.

2.2.4. Módulo de Indicadores

Esse módulo é o responsável pela emissão dos relatórios gerenciais, contemplando os indicadores previamente escolhidos para representar o estado atual e comportamento futuro do sistema em apreço. O procedimento de navegação é descrito a seguir:

1. Escolha da Classificação dos Equipamentos: No canto superior esquerdo da tela do Módulo Indicadores o usuário deverá eleger uma opção exclusiva de classificação dos equipamentos. Para isso, ele deverá selecionar a opção *Espécie* ou a opção *Família*, segundo a qual os equipamentos serão agrupados e os indicadores calculados.
2. Seleção de um Conjunto para Obtenção de Indicadores: Depois de realizada a etapa anterior, o usuário deverá, na caixa de seleção *Espécie(s)* ou na caixa de seleção *Família(s)* selecionar respectivamente as espécies ou famílias cujos indicadores serão calculados.
3. Estabelecimento do Período de Avaliação: O cálculo dos Indicadores deverá ser realizado dentro de uma janela de tempo, ou seja, um intervalo de tempo suficiente onde os parâmetros (detecções de falha, datas de início e fim da intervenção) nele compreendidos serão avaliados.
4. Seleção dos Indicadores: O SECAM oferece ao usuário a flexibilidade de escolher o conjunto de indicadores que ele deseja. No conjunto de checagem abaixo de Período de Avaliação, o usuário poderá selecionar cada um dos indicadores a seguir:

- MTTR: Tempo Médio de manutenção Corretiva
- MTBF : Tempo Médio entre Falhas
- Taxa de Falhas
- Disponibilidade
- Tempo Médio de Execução de Manutenção Preventiva
- Percentuais de Manutenção Corretiva e Preventiva

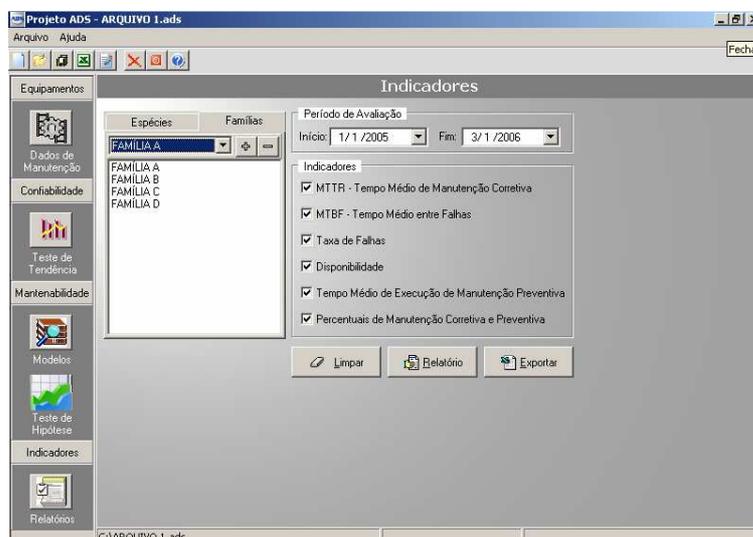


Fig. 8 - Módulo de Indicadores (Seleção)

Realizados estes procedimentos, o usuário poderá cancelar o processo de cálculo dos indicadores, proceder à visualização de um relatório, ou exportar o conjunto de indicadores calculados para uma planilha eletrônica. Os indicadores que não forem selecionados nesta etapa terão as respectivas colunas deixadas em branco no relatório. A figura abaixo ilustra a visualização de impressão de um relatório de indicadores referentes a um conjunto de famílias hipotéticas de equipamentos.

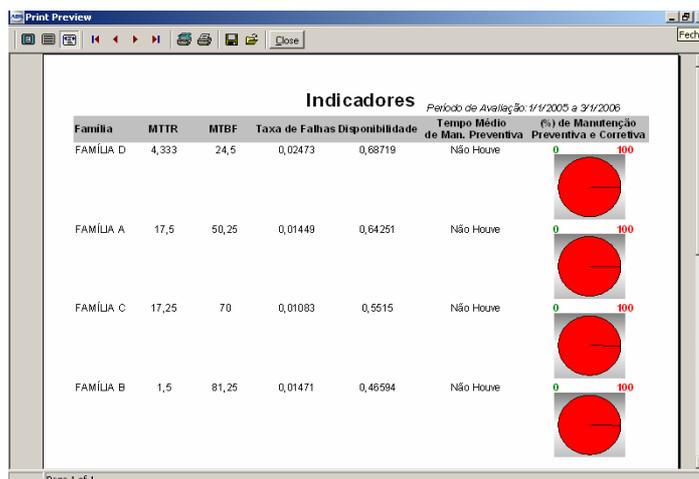


Fig. 9 - Módulo de Indicadores (Relatórios)

3. RESULTADOS ESPERADOS

Com a implantação do SECAM espera-se obter um melhor nível de acompanhamento para o desempenho do sistema objeto e da estrutura de manutenção correlata. Os resultados permitirão estabelecer diagnósticos adequados sobre o estado atual dos sistemas e processos avaliados, bem como prognosticar o estado futuro mediante uma análise inferencial da tendência identificada pelos testes estatísticos.

4. CONCLUSÕES

Através de abordagens probabilísticas para a avaliação do desempenho de sistemas, busca-se consolidar cada vez mais, na gestão da manutenção do setor elétrico, o uso das ferramentas estatísticas apropriadas para o tratamento dos dados devidamente coletados para esse fim.

O conhecimento sobre o comportamento probabilístico de equipamentos, sistemas e serviços é imprescindível nas decisões de gestão da manutenção. Algumas das informações que compõem este conhecimento são, geralmente, dadas à priori, como é o caso do MTBF fornecido pelo fabricante para determinada família de equipamentos. As demais devem ser estimadas com base nos dados disponíveis e confirmadas através de testes específicos.

O processo de estimação decorrente dos dados coletados exigirá uma análise baseada em métodos estatísticos. É fundamental destacar que a coleta de dados é a base para toda a análise e acompanhamento dos itens de manutenção, sendo, por isso, indispensável para uma boa gerência de manutenção, um sistema de informação ágil e confiável para este fim.

A utilização do sistema de informação apresentado possibilitará o avanço nos estudos da área de engenharia de manutenção e o necessário suporte à gestão do processo de manutenção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA

- Almeida, A. T. de & Souza, F. M. C. de; Gestão da Manutenção na direção da competitividade.1ª Edição. Recife. Editora Universitária da UFPE, 2001.
- Lafraia, J. R. B.; Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Editora Qualitymark, 2001
- Schilling, M. T. & Gomes, P.; An approach to bulk power system performance assessment. Electric Power Systems Research, 32, 145-151, 1995
- Degroot, M. H. & Schervish, M. J.; Probability and Statistics. 3ª Edição. Addison-Wesley, 2002