

Desenvolvimento de um Sistema de Manutenção Baseada na Condição para o Comando de Aviação do Exército

Guilherme Conceição Rocha, Luiz Fabiano Damy e Henrique Mohallen Paiva

ITA, Praça Marechal-do-ar Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos Campos – SP, CEP 12228-900

KONATUS, Praça Marechal-do-ar Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, INCUBAERO, sala 2, São José dos Campos – SP, CEP 12228-901

Resumo — Este trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema de Manutenção Baseada na Condição para os motores que equipam as aeronaves SA365K Pantera do CAVEx (Comando de Aviação do Exército), baseado na análise dos dados gravados em vôo. Descreve-se motivação e objetivo do trabalho, cenário de base para desenvolvimento do sistema e lista de benefícios associados à incorporação de tal sistema. Detalha-se em seguida a solução proposta para o CAVEx e são discutidos resultados de um estudo de caso real.

Palavras-chaves — diagnóstico, prognóstico, manutenção preditiva, manutenção baseada na condição.

I. MOTIVAÇÃO E OBJETIVO

A necessidade de se realizar o monitoramento contínuo e prognóstico de vida remanescente de equipamentos é tema de vital importância para a racionalização manutenção de equipamentos. A partir deste monitoramento é possível adotar o paradigma da manutenção preditiva ou manutenção baseada na condição.

As primeiras tentativas de prognóstico de vida remanescente de equipamentos foram resultantes de estudos de confiabilidade. Basicamente, para a concretização destes estudos, considera-se uma população de equipamentos semelhantes, operando em condições operacionais próximas. A partir do histórico de itens falhados nesta população e da informação do tempo de vida acumulado de um determinado item, pode-se inferir a sua vida remanescente.

Com a evolução tecnológica do aparato de sensoriamento, foi possível migrar do paradigma da manutenção baseada na confiabilidade ou RCM (Reliability-Based Maintenance) para a manutenção baseada na condição ou CBM (Condition-Based Maintenance). Nesta última, ao invés de estimar a falha de um equipamento com base em informações de falha de uma população de equipamentos semelhantes, monitora-se a evolução da condição ou saúde do mesmo ao longo do tempo e estima-se sua vida residual baseando-se nas séries temporais dos parâmetros medidos [1].

Atualmente a manutenção baseada na condição tem adquirido bastante popularidade em empresas aéreas principalmente por permitir a extensão do tempo entre intervenções de manutenção ou TBO (Time Between Overhaul) de diversos equipamentos, além de aumentar significativamente a segurança operacional da frota monitorada [1].

G.C. Rocha, guilherme.rocha@konatus.com.br, Tel +55-12-4009-9542
L.F. Damy, lfdamy@gmail.com, Tel. +55-12-2123-7488
H.M. Paiva, hmpaiva@ita.br, Tel. +55-12-3207-7800

O objetivo do presente trabalho insere-se neste contexto e consiste em desenvolver e instalar um sistema integrado para introdução do paradigma da manutenção preditiva na frota de aeronaves SA365K Pantera da Aviação do Exército. Esta iniciativa, inédita no Brasil, permitirá a construção sob medida de um primeiro sistema HUMS (Health and Usage Monitoring System) para o Exército Brasileiro.

Pretende-se inferir a respeito do tempo de vida residual de alguns equipamentos da aeronave Pantera, a partir da leitura e arquivamento dos dados medidos nos sensores embarcados e após tratamento prévio da série histórica de dados.

II. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO DE BASE PARA DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

A Aviação do Exército, criada em 03 de setembro de 1986 e tendo como base principal o CAVEx (Comando de Aviação do Exército) em Taubaté-SP, constitui o principal centro de manutenção da frota de helicópteros do Exército Brasileiro e corresponde ao cenário de base para o desenvolvimento do primeiro HUMS 100% nacional. Pretende-se realizar o trabalho de implantação de um HUMS a partir da análise de dados coletados de FDR da frota de helicópteros do tipo SA365K Pantera, ilustrado na figura a seguir.



Figura 1: Helicóptero SA365K pantera

Estas aeronaves estão equipadas com motores Arriel 1M1 fabricados pela empresa Turbomeca. As partes principais do motor são ilustradas na figura 2 e estão descritas na seqüência [3]:

1. ENTRADA DE AR (Anular, admissão frontal direta)

2. COMPRESSOR (Um compressor axial 1 estágio seguido de um compressor centrífugo)
3. CÂMARA DE COMBUSTÃO (Anular de fluxo direto e injeção rotativa)
4. TURBINA (Turbina gerador 2 estágios, turbina livre 1 estágio)
5. ESCAPAMENTO (Direto por um curto bocal)
6. TOMADA DE POTÊNCIA (cerca de 6000 voltas/min, sentido horário)
7. ACIONAMENTO DOS ACESSÓRIOS (Caixa de acionamento pelo gerador de gás e pela turbina livre)
8. REDUTOR DE VELOCIDADE (2 estágios, movimento transmitido a parte dianteira por meio de um eixo exterior)

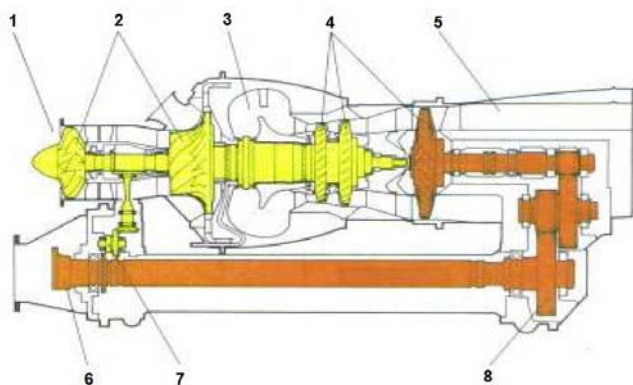


Figura 2: Motor Arriel 1M1 fabricado pela Turbomeca

O motor Arriel 1M1 possui uma estrutura modular que facilita a manutenção em caso de falhas. No caso de um dos módulos apresentar problemas, este pode ser facilmente separado do restante do motor e substituído, o que resultaria na liberação do motor para novamente entrar em operação.

Os helicópteros SA365K também são equipados com um sistema de monitoramento integrado de aeronave TELEDYNE tipo II (T'AIMS). Este sistema faz o monitoramento contínuo dos parâmetros de voo dos helicópteros, além de registrá-los em uma base de dados. O T'AIMS é de fundamental importância para manutenção preditiva dos helicópteros.

O sistema T'AIMS é constituído por um sistema embarcado e por uma estação de solo. O sistema embarcado é composto por [3]:

- Unidade modular de análise de dados, MDAU (Modular Data Analysis).
- Unidade de exibição da cabine do piloto, CDU (Cockpit Display Unit).
- Caixa preta, SSCVFDR (Solid State Combined Voice/Flight Data Recorder).
- Sensores para captarem os parâmetros a serem gravados no SSCVFDR.

A estação de solo do sistema T'AIMS é constituída por computadores de mesa e portáteis, onde são instalados os programas Flight Data Replay e Analyzis System. O sistema completo é ilustrado na figura 3.

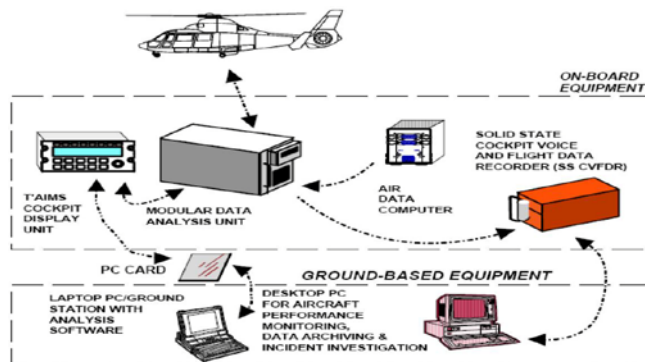


Figura 3: Sistema de monitoramento integrado de aeronave TELEDYNE tipo II (T'AIMS)

Os equipamentos do sistema embarcado coletam parâmetros a partir dos sensores instalados no helicóptero que permitem observar o funcionamento dos motores, caixa de transmissão principal e outros sistemas da aeronave. Além disso, fazem a aquisição de dados de voo que definem a atitude e manobras da aeronave, bem como outros dados de navegação (incluindo condições anemométricas) sob as quais a aeronave operou. Na seqüência são descritas brevemente as funções dos equipamentos do sistema embarcado [3]:

- MDAU: Executa a aquisição, processamento e envio dos dados adquiridos a partir dos sensores.
- CDU: Realiza a análise em tempo real dos dados adquiridos pela MDAU e exibe alguns resultados para o usuário.
- SSCVFDR: grava os dados de voz e os parâmetros de voo em um cartão PCMCIA.

Informações críticas, tais como os parâmetros durante a partida do motor, informações sobre cheque de confiabilidade de potência dos motores e informações sobre corte dos motores são formatadas e gravadas no cartão PCMCIA. A partir disso a CDU calcula continuamente, baseada nos dados vindos da MDAU, a potência dos motores em função da altitude, pressão, temperatura ambiente, NG (número de giros da turbina livre do motor) e delta NG. Os resultados destas análises são gravados no cartão PCMCIA, localizado no interior da CDU. Os dados armazenados no cartão são, posteriormente, transferidos para a estação de solo e exibidos para análise de usuários.

O atual sistema T'AIMS usado na Aviação do Exército não possui as funcionalidades de análise de dados e prognóstico/diagnóstico de falhas, típicas de um sistema HUMS. Deste modo, pode-se afirmar que a proposta do presente trabalho promove um melhor aproveitamento da tecnologia instalada, permitindo a finalização do processo de implantação de um sistema HUMS.

III. BENEFÍCIOS

Os benefícios da utilização de um sistema HUMS são listados na seqüência [2]:

- Diminuição do custo de homem-hora em manutenção por hora de voo.
- Melhora nas estratégias de manutenção programada e no suporte logístico.

- Uso reduzido das partes da aeronave por meio de um monitoramento de uso preciso e automatizado.
- Redução de remoções indevidas de equipamentos, acarretando em eventos de NFF (No Fault Found).
- Redução de prejuízos futuros através da execução de diagnósticos antecipados.
- Melhora na análise de eventos, incidentes e acidentes.
- Aumento do TBO
- Aumento da segurança operacional
- Redução do consumo de combustível

IV. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução proposta baseia-se na construção de seis módulos básicos de software definidos em conformidade com a bibliografia diretiva sobre o tema [4] e [6].

Num primeiro momento, propõe-se a utilização deste software para a implantação de um programa de manutenção preditiva nos motores das aeronaves Pantera do CAVEx. Descreve-se a seguir cada um dos módulos do pacote computacional proposto e suas respectivas funcionalidades.

A. Extração de parâmetros relevantes do voo

Este módulo divide-se em duas etapas: uma de conversão e outra de análise de dados.

Na etapa de conversão de dados, as informações gravadas na aeronave são convertidas para um formato adequado para posterior análise. Os passos desta conversão encontram-se descritos abaixo:

- ✓ Download através do leitor do cartão PCMCIA
- ✓ Gravação do arquivo .RAW na estação de solo
- ✓ Transcrição do arquivo .RAW usando T'AIMS TRANSCRIBER
- ✓ Conversão do arquivo .RAW usando PLOTLIST
- ✓ Exportação para formato .TXT
- ✓ Importação de dados para o MatLab

Na etapa de análise de dados, a partir do histórico de dados gravados em um voo, extrai-se um parâmetro indicativo da degradação do motor. Apresenta-se a seguir a sequência de passos para obtenção de indicação de eficiência térmica do motor em um determinado voo.

- ✓ Registro do histórico dos sinais de T4 e NG no voo
- ✓ Calcula-se g como sendo $g=T4/NG$, para NG não-nulo
- ✓ Define-se G como os valores de g tais que g , T4 e NG estejam estacionários
- ✓ O valor representativo da degradação do motor no voo é dado por $S= \max(G)$

B. Diagnóstico de comportamento anormal

Neste módulo, compara-se o estado de degradação do equipamento (S , ou stress acumulado) com o limiar de falha. Este limiar de falha diferencia um comportamento normal de um comportamento anormal.

- ✓ Compara-se o valor de S do voo com a linha de base correspondente aos valores típicos de S

- ✓ Caso o valor S do voo supere o limiar de alerta, acusa-se um comportamento anormal do sistema (falha em potencial)

C. Relatórios operacionais periódicos

A partir da análise dos dados gravados em voo serão periodicamente confeccionados relatórios objetivando orientar a equipe operacional de modo a evitar práticas que:

- ✓ Coloquem em risco a segurança da missão
- ✓ Reduzam a vida útil do equipamento
- ✓ Aumentem demasiadamente o consumo de combustível

D. Banco de dados de intervenções de manutenção

O banco de dados de intervenções de manutenção deve ser integrado à série histórica de registros de dados gravados em voo. Listam-se abaixo as principais intervenções de manutenção que deverão ser registradas no banco de dados:

- ✓ Dados de Análise Espectométrica de Óleo (AEO)
- ✓ Medida e análise de vibrações no equipamento e na aeronave
- ✓ Resultados das inspeções boroscópicas
- ✓ Registro de substituição de componentes

E. Estimativa da vida residual do equipamento

Faz-se uma estimativa da vida residual do equipamento com base em algoritmos de extrapolação de séries temporais. Diversos algoritmos podem ser utilizados para tal fim. Em muitos casos a melhor abordagem consiste em mesclar técnicas clássicas com algoritmos modernos de Inteligência Artificial [5].

F. Orientação para pesquisa de pane

A partir de um conjunto de sintomas observados, é feita a orientação para pesquisa de pane. Isto é feito com base na arquitetura do sistema e na experiência dos especialistas em manutenção.

- ✓ Listagem das possíveis causas-raízes do sintoma observado
- ✓ Racionalização da pesquisa de pane, orientando a execução ordenada das tarefas de manutenção
- ✓ Cálculo de probabilidades das causas-raízes

V. ESTUDO DE CASO

Apresenta-se a seguir estudo de caso correspondente ao monitoramento do motor SN 11063 da aeronave EB2033 do CAVEx. A equipe de manutenção detectou comportamento anormal do motor no dia 13/12/2006, decidindo-se pela remoção do equipamento. Basicamente, o objetivo deste estudo de caso é verificar se existiam evidências anteriores que ocorreria uma falha naquele momento.

Para tanto, foi analisado o histórico da eficiência térmica do motor, a partir dos registros de voos que antecederam a falha. Os gráficos a seguir resumem as principais observações feitas.

A. Registro de comportamento normal

Na figura a seguir tem-se o registro de voo normal ocorrido no dia 10/07/2006. Nesta figura, é possível observar que os valores do ganho G, associado à eficiência térmica do motor, estão dentro dos padrões de normalidade.

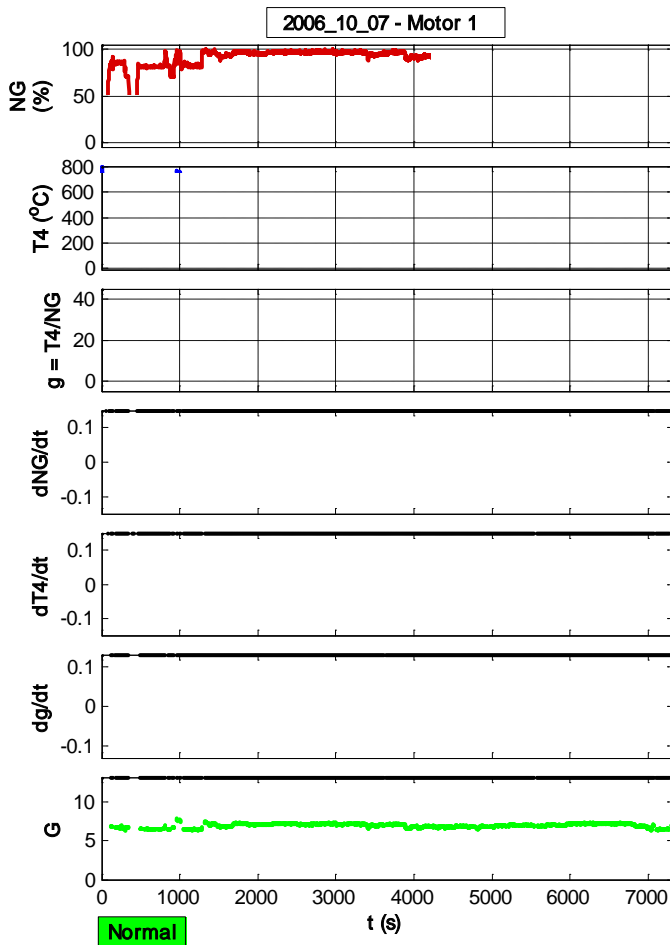


Figura 4: Voo do dia 07/10/2006 – Comportamento Normal

B. Registro de falha

No dia 13/12/2006, a equipe de manutenção do CAVEx observou comportamento anormal do motor SN 11063 associado à falha de estagnação do NG (rotação da geradora de gases) durante a partida. A figura a seguir mostra o registro deste voo, no qual se pode constatar a ocorrência de valores de G no momento da partida bem acima do limiar de falha.

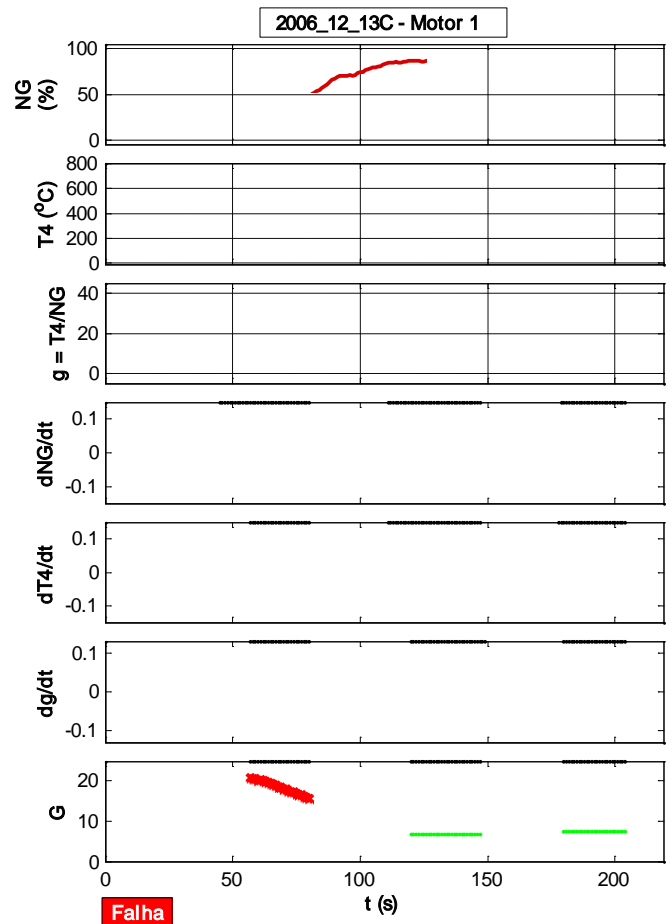
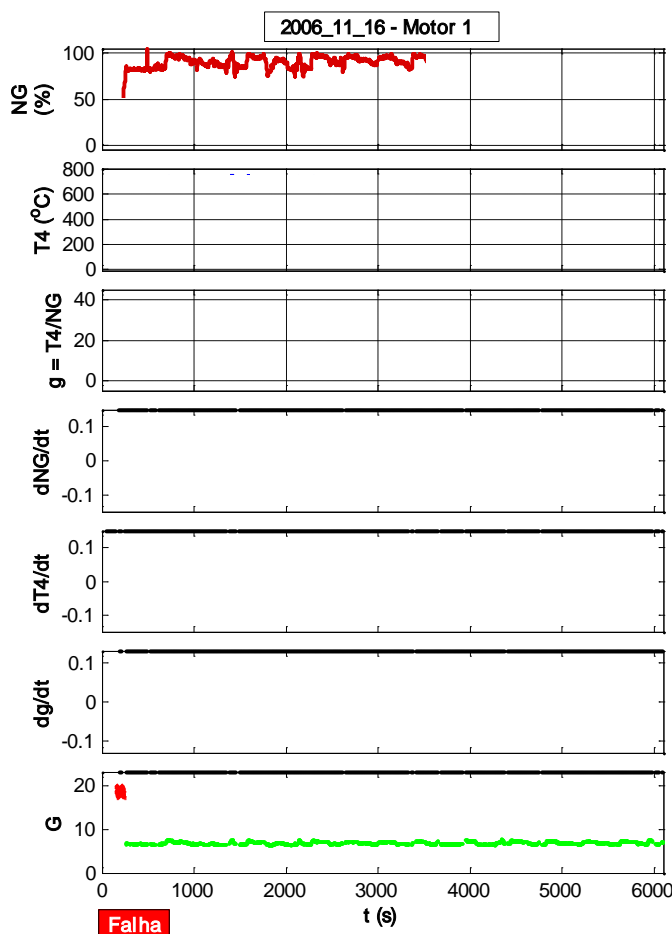


Figura 5: Voo do dia 13/12/2006 - Falha

C. Registro de comportamento anormal antes da ocorrência da falha

A próxima figura apresenta o registro de voo ocorrido no dia 16/11/2006, ou seja, aproximadamente um mês antes da falha. Neste voo, apesar da equipe de manutenção do CAVEx não ter reportado nenhuma anormalidade ou falha, observa-se que o parâmetro G, associado à eficiência térmica do motor, assume valores acima do limiar de normalidade no momento da partida.

Esta é uma forte evidência, anterior ao momento da falha, de que o sistema estava operando de modo degradado e que a ocorrência da falha seria iminente.



[6] SAE-ARP-1587 Rev.B, "Aircraft Gas Turbine Engine Health Management System Guide", SAE, 2007

Figura 6: Vôo do dia 16/11/2006 – Comportamento Anormal

VI. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo de caso apresentado, o comportamento anormal do motor SN 11063 começou a se manifestar a partir do dia 16/11/2006, sem que houvesse relato correspondente da equipe de manutenção.

A introdução de uma sistemática de análise de dados no CAVEx, através da solução proposta na seção IV deste artigo, certamente permitiria tanto o diagnóstico antecipado de comportamento anormal do motor quanto o prognóstico a respeito de qual o momento ideal de se realizar uma intervenção de manutenção no mesmo.

Finalmente, cabe destacar, conforme descrito na seção III deste artigo, que tal iniciativa permitirá, entre outros benefícios, o aumento da segurança operacional e redução dos custos de manutenção para a Aviação do Exército.

REFERÊNCIAS

- [1] Ellis, B.A., "The Challenges of Condition Based Maintenance", www.jetthproject.com, TJP, 2009, pp. 1-4
- [2] Hess, R., Duke, A., Kogut, D., "The IMD HUMS as a Tool for Rotorcraft Health Management and Diagnostics", IEEE, v.6, pp. 3039-3058, 2001
- [3] Lago, A.S., "O Emprego do Fly Data Recorder como Ferramenta de Manutenção Preditiva no Sistema de Monitoramento de Turbinas da Frota da Av Ex", Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Trabalho de Conclusão de Curso, 2008
- [4] Massam, S. and McQuillan, S., "Verification of PHM Capabilities: a Joint Customer/ Industrial Perspective", IEEE, v.6, pp. 2799-2813, 2002
- [5] Rocha, G.C. et al, "Estimativa do Preço do Açúcar no Mercado de Commodities através de Método Iterativo Inspirado na Técnica de Raciocínio Baseado em Casos", UNINDU, 2008