

ANÁLISE DE FALHAS: SALVANDO VIDAS EM SILÊNCIO

Leandro Augusto Lemos Franco¹
Mário Lima de Alencastro Graça²
Olivério Moreira de Macedo Silva³
Nicélio José Lourenço⁴

Artigo submetido em 06/05/2010.

Aceito para publicação em 08/07/2010.

RESUMO: Análise de falhas em materiais é uma atividade silenciosa, onde especialistas trabalham com a finalidade de montar quebra-cabeças que podem salvar vidas à medida que o mesmo é solucionado. Determinar a causa de uma falha em serviço alerta para perigos latentes e previne a ocorrência de casos semelhantes. Este artigo relata uma análise de falha realizada em um conjunto de lâminas de um acoplamento flexível (“*flexible coupling*”) de um helicóptero de uso civil. A partir deste trabalho foi possível identificar outras aeronaves com o mesmo tipo de problema e assim, a missão final da análise de falha, de contribuir de forma ativa na proteção de voo foi cumprida.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Falhas. Segurança de Vôo. Investigação de Acidentes e Incidentes. *Flexible coupling*. Corrosão.

1 INTRODUÇÃO

“Voe seguro. Faça voar seguro”*.

* Frase criada pelo Maj Nave do SERIPA IV

Assim começa o dia do grupo de investigadores do Fator Material, sediado na Divisão de Materiais (AMR) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), ligado ao DCTA em São José dos Campos. Ele é formado por quatro doutores engenheiros

¹ Doutor pelo ITA e pela Universidade do Minho (Portugal), possui mestrado pelo ITA e graduação como engenheiro pela UFSCar. Exerce a função de chefe do laboratório de Análise de Falhas, além de realizar pesquisas e orientar alunos na área de análise de falhas e materiais compósitos. Professor do curso tecnológico de Manutenção de Aeronaves na UniSantanna. dr.leandro.cta@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002), Mestre em Engenharia de Materiais pela PUC/RJ (1983), Chefe da Subdivisão de Estudos da AMR/IAE. mlag@iae.cta.br

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2000), Mestre em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1996) e Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (1991), é Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 e atua como Tecnologista Senior do Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE. oliverio@iae.cta.br

⁴ Pós-doutorado USP-São Carlos, Doutor UFSCar, graduação em Engenharia de materiais UFSCar. nicelio@iae.cta.br

com especialidades em mecânica, aeronáutica e materiais e conta com o apoio e infraestrutura da AMR, uma divisão com mais de 50 doutores em diversas especialidades. O grupo possui teses (FRANCO, 2008; GRAÇA, 2002; LOURENÇO, 2000 e SILVA, 2000) e artigos publicados em revistas internacionais (FRANCO et al, 2006; FRANCO; GRAÇA; SILVA, 2005b; FRANCO; GRAÇA; SILVA, 2008; FRANCO; GRAÇA; SILVA, 2009a; GRAÇA, 2009; LOURENÇO, 2005; LOURENÇO, 2008; LOURENÇO, 2009; SILVA, 2009), além de ter apresentado e participado de vários congressos no Brasil e no exterior (FRANCO et al, 2004a; FRANCO et al, 2004b; FRANCO; GRAÇA.; SILVA, 2005a; FRANCO; GRAÇA.; SILVA, 2005c; FRANCO; GRAÇA.; SILVA, 2006 ; FRANCO; GRAÇA.; SILVA, 2005 e SILVA, 2009b). Tanta dedicação à área de análise de falhas foi recompensada com um prêmio da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise no ano de 2009.

Um exemplo típico de análise de falha é o ocorrido no caso da investigação de um conjunto de lâminas de um acoplamento flexível ("flexible coupling") de um helicóptero (BRASIL, 2009a; BRASIL, 2008) O helicóptero decolou às 10h 10min da Bacia de Campos, com destino ao heliponto de São Tomé (SBFS). Ao iniciar o voo de cruzeiro, a tripulação percebeu uma vibração e um barulho anormal na aeronave. Os parâmetros de desempenho da aeronave foram verificados e considerados normais. Contudo, a tripulação decidiu, por medida de precaução, pousar na plataforma mais próxima e realizar uma melhor avaliação das condições da aeronave. Por volta de 10h 13min, o helicóptero realizou com sucesso o pouso na plataforma localizada no través da rota. Após o pouso, a tripulação abriu a carenagem de acesso a "Main Gear Box" e verificou que o componente "Flexible Coupling", localizado entre o "engine 1 drive shaft" e o "Main Gear Box Input Flange", estava danificado. Na sequência uma equipe de manutenção foi deslocada para o local com o objetivo de disponibilizar a aeronave para que a mesma retornasse voando à base principal. Porém, após a desmontagem do componente "Flexible Coupling", verificou-se que todas as lâminas do mesmo estavam completamente danificadas e fraturadas. Sendo assim, a empresa decidiu que a aeronave não retornaria voando e seria transportada via marítima. O componente "Flexible Coupling" foi então enviado para análise na SAF-AMR.

2. DESENVOLVIMENTO

O componente, constituído por 15 lâminas metálicas (na forma de anéis), é apresentado como recebido na Figura 1.



Figura 1: Material como recebido.

Nos exames visuais e com auxílio do microscópio estereoscópio constatou-se que todas as quinze (15) lâminas, apresentaram fraturas próximas às arruelas e parafusos de fixação, como mostrado na Figura 2.

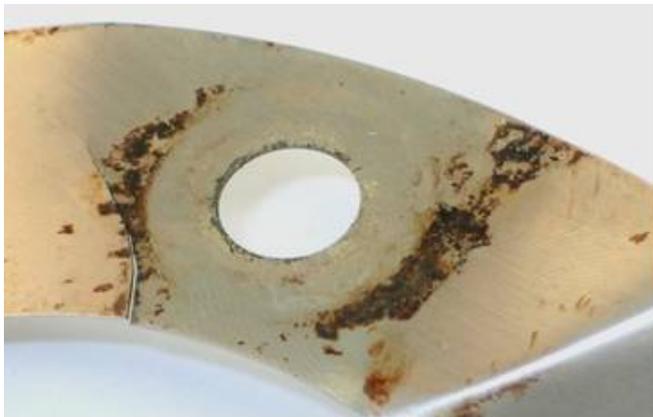


Figura 2: Detalhe de uma das lâminas.

Pode-se observar também a presença de corrosão associada a produtos agregados à superfície de todas as lâminas examinadas como visto na Figura 3 e em maior detalhe na Figura 4.



Figura 3: Sequência de lâminas, região das fraturas com corrosão e contaminação em todas as lâminas.



Figura 4: Detalhe de uma das lâminas fraturadas.

Entre uma das arruelas e a lâmina, foi observado um produto agregado de cor verde e aspecto característico de tinta, apresentado na Figura 5.



Figura 5: Região do orifício de fixação da arruela e parafuso.

Todas as lâminas apresentaram áreas com corrosão dos tipos generalizada e/ou por pites nas regiões próximas às arruelas, como apresentado na Figura 6.

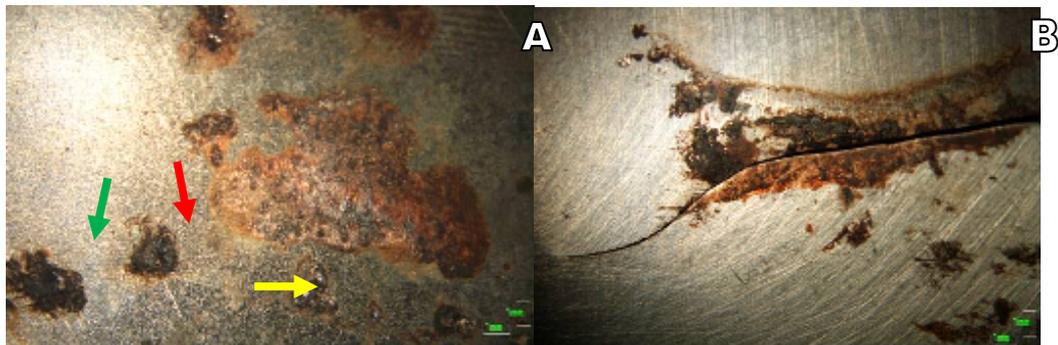


Figura 6: Regiões com corrosão (orifício de fixação do parafuso). A) pites. B) generalizada

Nos exames por microscopia eletrônica de varredura, realizados na superfície de fratura de uma lamina selecionada durante o exame por estereoscopia, observa-se uma pré-trinca (Figura 7). A pré-trinca iniciou-se em um pite de corrosão e propagou-se por quase toda a espessura da lâmina.

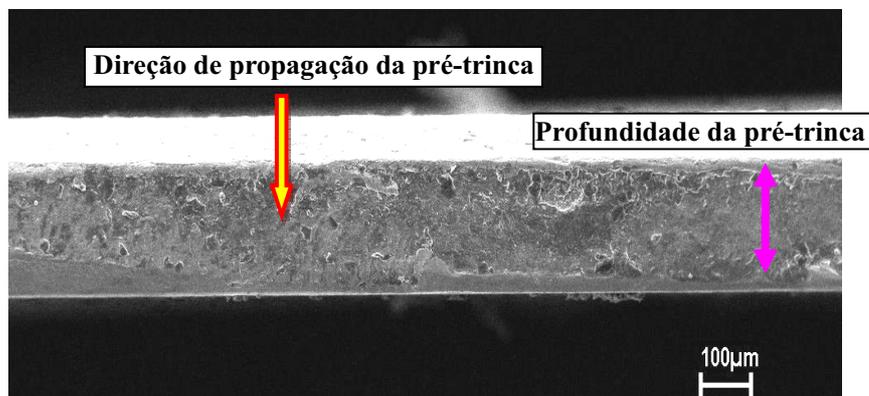


Figura 7: Superfície de fratura.

Devido aos amassamentos e corrosão observados, não foi possível determinar o mecanismo de falha na região da pré-trinca, apresentada em maior destaque na Figura .



Figura 8: Superfície de fratura – detalhe da região de pré-trinca da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Foi realizada uma análise por energia dispersiva de raios-X (EDS) (Figura) na superfície de uma das lâminas que estavam recobertas por produtos agregados (ver Figura 5). Neste exame foram detectados os elementos: Ferro (Fe); Cromo (Cr); Níquel (Ni); Carbono (C); Oxigênio (O); Cloro (Cl); Silício (Si); Cádmi (Cd); Enxofre (S). Os elementos Fe, Cr e Ni são componentes de um aço inoxidável, que é o material base das lâminas. Os outros elementos são componentes do produto agregado à superfície da lâmina.

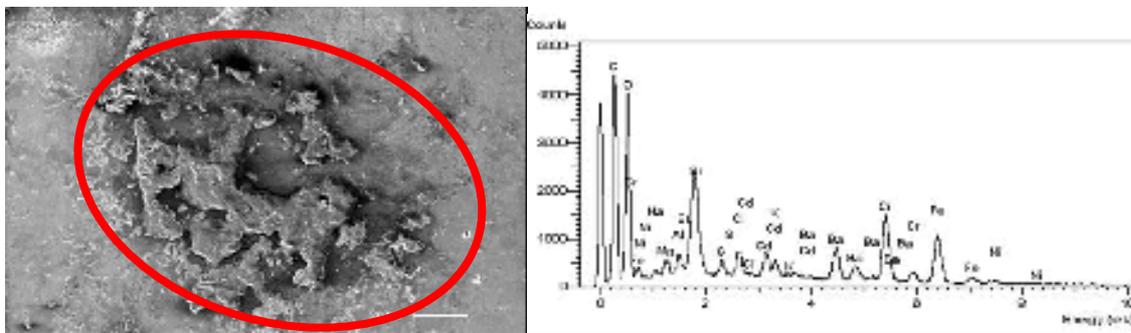


Figura 9: Região analisada e gráfico do EDS resultante.

Na análise por EDS (Figura 8) realizada na superfície da lâmina, que apresentou segregação de um produto com aspecto visual semelhante à tinta (ver figura 5), foram detectados os seguintes elementos: Carbono (C); Oxigênio (O); Silício (Si); Cádmi (Cd); Bário (Ba).

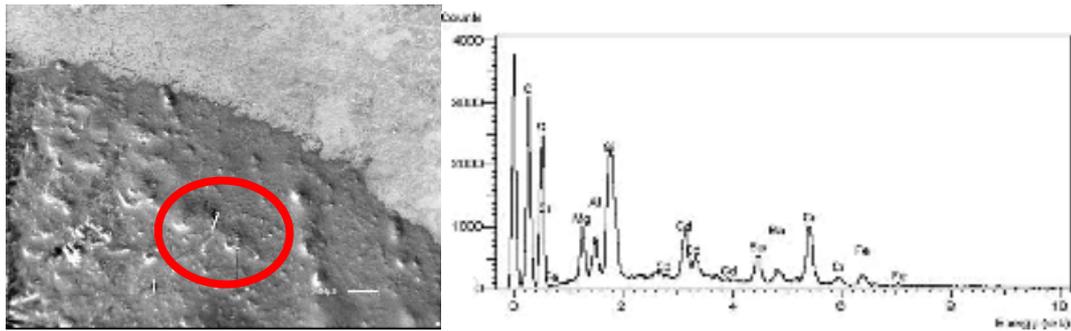


Figura 8: Região analisada e gráfico do EDS resultante.

Nos exames metalográficos realizados na seção transversal das lâminas examinadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), observaram-se trincas a partir de pites de corrosão (Figura 9). Foram observadas também trincas e corrosão intergranular a partir de partículas aderidas à superfície (Figura 10).

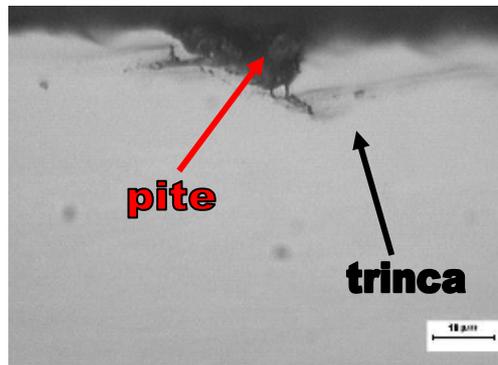


Figura 9: Trinca iniciada em pite de corrosão.

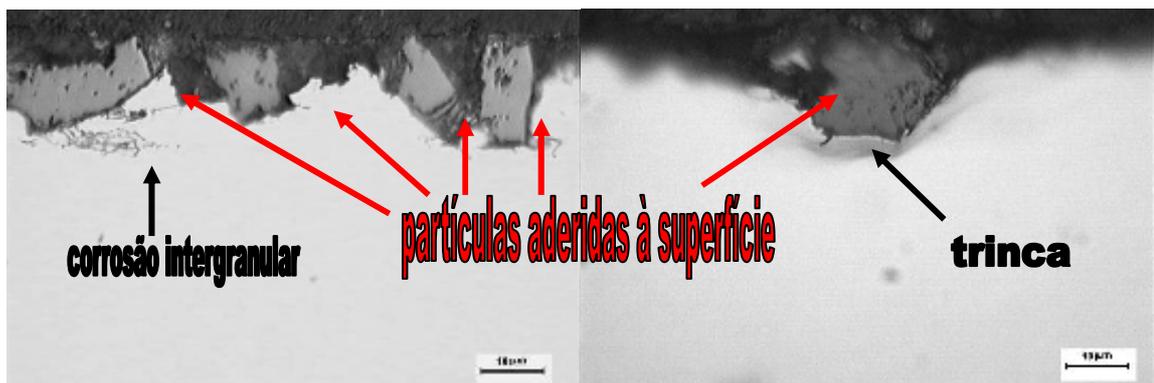


Figura 10: Trincas e corrosão intergranular iniciadas em partículas aderidas à superfície.

Amostras preparadas metalograficamente foram analisadas por MEV, utilizando-se EDS para a determinação da composição química das partículas associadas às trincas e corrosão (Figura 11). Nessas partículas foram detectados os elementos Carbono (C) e Silício (Si), componentes do carbeto de silício. O carbeto de silício é utilizado como elemento abrasivo de lixas.

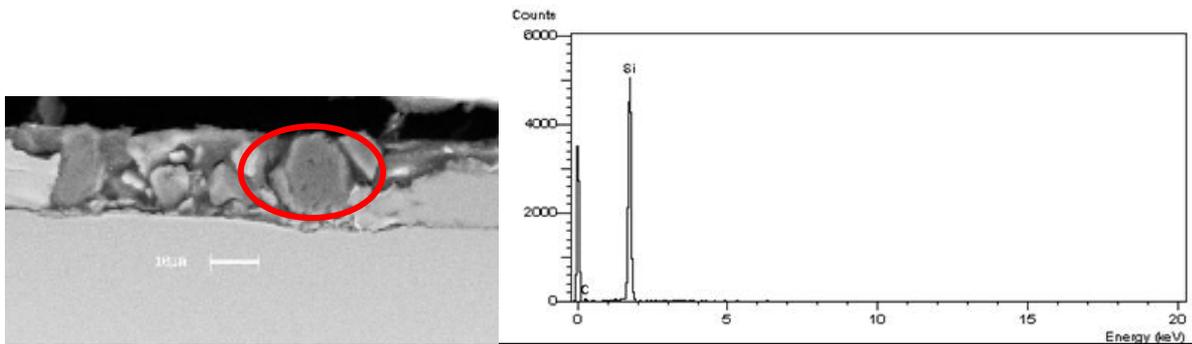


Figura 11: Região analisada e gráfico do EDS resultante.

Outra região que apresentou uma mistura de elementos agregados à superfície (Figura 12) foi analisada por EDS. Os elementos detectados estão apresentados na Figura 12. Observa-se que existe uma mistura de vários elementos, inclusive fragmentos da liga da própria lâmina, que provavelmente foram arrancados devido à ação abrasiva das partículas de carbeto de silício durante a operação da aeronave.

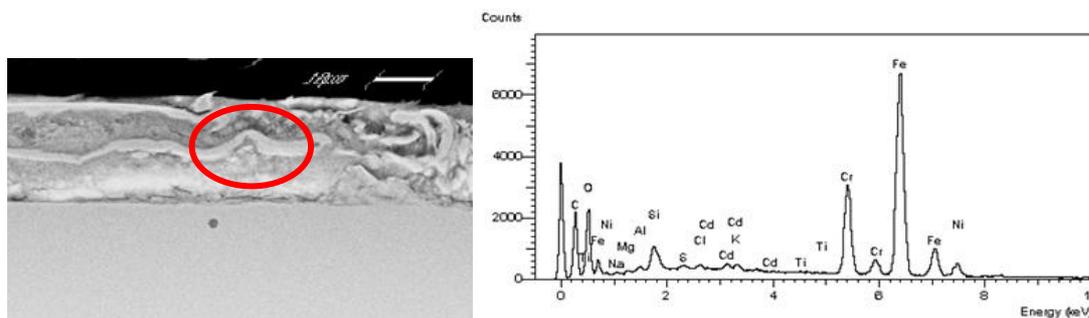


Figura 12: Região analisada e gráfico do EDS resultante.

A microestrutura da lâmina é constituída de grãos austeníticos, característica de aço inoxidável austenítico (Figura 13).

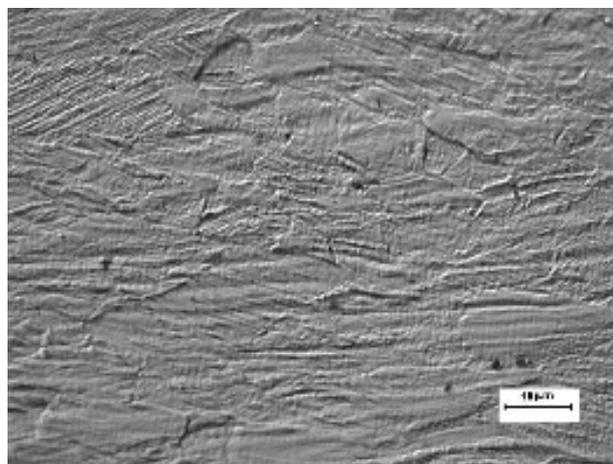


Figura 13: Microestrutura da liga metálica.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos pode-se dizer que algumas lâminas falharam pela formação de uma pré-trinca, iniciada em regiões que sofreram corrosão por pite e/ou intergranular devido ao acúmulo de produtos contaminantes nas suas superfícies. A falha dessas lâminas levou a uma redução da resistência do conjunto e à conseqüente falha da peça por sobrecarga das lâminas remanescentes.

A presença de agentes abrasivos na superfície das lâminas, como grãos de carbetto de silício, provavelmente provenientes de algum material abrasivo que ficou depositado na superfície das lâminas, bem como a presença de recobrimentos por material similar a resina polimérica, depositados na superfície das lâminas, indicam que houve uma contaminação do componente que facilitou a ocorrência de processos de corrosão. Esses processos de corrosão, principalmente a formação pites e a corrosão intergranular, agem como concentradores de tensão que favorecem a propagação de pré-trincas, que ao alcançarem um tamanho crítico levam à falha da lâmina. Esse processo é particularmente crítico nas regiões próximas às arruelas e parafusos de fixação.

Assim, conforme os aspectos observados durante a análise de falha sobre o fator material fica clara a possibilidade de a falha ter ocorrido devido a más práticas de manutenção. O pouco cuidado no manuseio e nas operações realizadas no conjunto flexível, bem como as práticas de limpeza e mesmo operações realizadas no compartimento onde se encontra o conjunto devem ter sido os principais fatores causadores da falha.

Após a emissão do relatório técnico (BRASIL, 2008) ao órgão investigador do caso, este repassou a orientação aos operadores e outros envolvidos na segurança de voo de aeronaves que utilizam o mesmo conjunto flexível. Segundo o retorno deste órgão ao grupo de análise de falhas, ao menos seis aeronaves apresentaram o mesmo tipo de problema. Porém, nestes casos, a falha foi descoberta antes da ocorrência de algum acidente ou incidente, assim riscos de vida foram evitados, bem como possíveis gastos com danos materiais que poderiam ter vindo a ocorrer com essas aeronaves.

Embora muitos casos tenham sido evitados com a divulgação do relatório CENIPA (BRASIL, 2009a) baseado nas conclusões da análise de falha (BRASIL,

2008), nem todos os operadores e oficinas tomaram ciência ou levaram a cabo as sugestões. Isto ocasionou a ocorrência de outro caso de falha similar, investigado e esclarecido no relatório técnico de análise de falhas nº 29-AMR-E/2009 (BRASIL, 2009b).

A análise de falhas cumpre assim seu papel de investigar as falhas, não só esclarecendo como ocorreram e desencadearam os fatos que resultaram nos acidentes e/ou incidentes, mas também servindo como alerta para todos os setores envolvidos na segurança de voo, prevenindo e evitando novas ocorrências de falhas já esclarecidas. Novamente, o lema inicial dos que pesquisam e dedicam sua vida a ciência e tecnologia é posto em destaque, baseado em formação técnica de qualidade e em pessoas dispostas a dar seu melhor pelos outros. Voe seguro, faça voar seguro.



Figura 14: Grupo de Análise de Falhas. Da direita para a esquerda: Olivério M.M. Silva, Leandro A.L. Franco, Nicélio J. Lourenço e Mário Lima A. Graça.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório Final DIPAA 027/09**, de 27 de abril de 2009. Brasília: CENIPA, 2009a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Aeronáutica e Espaço. **Relatório Técnico de Análise de Falhas 20-AMR-E/2008** de 31 de Julho de 2008. São José dos Campos: Instituto de Aeronáutica e Espaço/Divisão de Materiais, 2008.

_____. **Relatório Técnico de Análise de Falhas 29-AMR-E/2009** de 08 de Dezembro de 2009. São José dos Campos: Instituto de Aeronáutica e Espaço/Divisão de Materiais, 2009b.

FRANCO, L. A. L. **Fadiga e análise fractográfica de compósitos termoplásticos sob condicionamento ambiental**. São José dos Campos, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

FRANCO, L. A. L. et al. Failure Analysis in a Turbine Blade due to Over Heating. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, 1., 2004, Lisboa. *Anais...* Oxford : Elsevier, 2004a.

_____. Fatigue Fracture of a nose landing gear in a military transport aircraft. **Engineering Failure Analysis**, v. 13, p. 474-479, 2006.

_____. Fatigue Fracture of a Nose Landing Gear in a Military Transport Aircraft. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, 1., 2004, Lisboa. *Anais...* Oxford : Elsevier, 2004b.

FRANCO, L. A. L.; GRAÇA, M. L. A.; SILVA, F. S. . Evaluation of fracture surface aspects of thermoplastics and termofixes carbon fiber. **Acta Microscópica - Interamerican Committee of Societies for Electron Microscopy**, v. 18, p. c05501, 2009a.

_____; _____. Compression and fractographic evaluation in carbon fiber reinforced thermoplastic composites in hightemperature compression tests. IN: PORTUGUESE MATERIALS SOCIETY MEETING, 12.; AND INTERNATIONAL MATERIALS SYMPOSIUM, 3., 2005, Aveiro. *Anais...* Aveiro , 2005a. p. 162-162.

_____; _____. Evaluation of fracture surface aspects of thermoplastics and termofixes carbon fiber. In: CONGRESSO DA SBMM, 22., 2009, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 2009b.

_____; _____. Fractography analysis and fatigue of thermoplastic composite laminates at different environmental conditions. **Materials Science & Engineering. A, Structural Materials: properties, microstructure and processing**, v. 488, p. 505-513, 2008.

_____; _____. Interlaminar shear strength and fractographic evaluation with varying temperature and moisture content of thermoplastic composites. **Applied Mechanics and Materials**, v.3-4, p. 179-184, ago 2005b.

_____; _____. Interlaminar Shear Strength and Fractographic evaluation with varying temperature and moisture content of thermoplastic composite. In: BSSM INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN EXPERIMENTAL MECHANICS, 4., 2005, Southampton. *Anais...* Southampton, 2005c.

_____; _____. Tensile and Fractographic Evaluation with Varying Temperatures and Moisture Content of Thermoplastic Composites. In: PORTUGUESE CONFERENCE ON FRACTURE - JORNADAS DE FRATURA, 10., 2006, Guimarães. *Anais...* Guimarães, 2006. p. 28-28.

GRAÇA, M. L. A. **Micromecanismos de iniciação de fratura em amostras entalhadas**. Guaratinguetá, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais e Processos) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP.

GRAÇA, M. L. A. et al. Failure analysis of a 300M steel pressure vessel. **Engineering Failure Analysis**, v. 16, n. 1, p. 182-186, jan. 2009.

LOURENÇO, N. J. **Processamento termomecânico de aços**. São Carlos, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos.

LOURENÇO, N. J. et al. Failure analysis of the main rotor grip of a civil helicopter. **Engineering Failure Analysis**, v. 12, n. 1, p. 43-47, fev. 2005.

LOURENÇO, N. J. et al. Fatigue failure in a steam superheater. **Acta Microscópica - Interamerican Committee of Societies for Electron Microscopy**, v. 18, p. c05504, 2009.

_____. Fatigue failure of a compressor blade. **Engineering Failure Analysis**, v. 15, p. 1150-1154, 2008.

SILVA, O. M. M. **Processamento e caracterização de nitreto de silício aditivado com carbonato de ítrio e concentrado de terras raras**. Guaratinguetá, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais e Processos) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP.

SILVA, O. M. M. et al. Failure analysis of helicopter tail rotor blade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROSCOPIA E MICROANÁLISE, 20, 2005, Águas de Lindóia. *Anais...* Águas de Lindóia, 2005.

_____. Fatigue failure in a light aircraft propeller. **Acta Microscópica - Interamerican Committee of Societies for Electron Microscopy**, v. 18, p. c05502, 2009.

FAILURE ANALYSIS: A SILENT WAY TO SAVE LIVES

ABSTRACT: Failure analysis in materials is a silent activity performed by specialists with the purpose of solving a puzzle whose assembling is capable of saving lives. Determining the cause of an in-service failure warns of the latent hazards and prevents the occurrence of similar events. This article is about a failure analysis of the flexible coupling blade set of a civil-use helicopter. This work later helped identify other aircraft with the same kind of problem and, thus, the ultimate purpose of failure analysis was accomplished, namely, the one of actively contributing to flight protection.

KEYWORDS: **Failure Analysis.** Flight Safety. Investigation of Accidents and Incidents. Flexible Coupling. Corrosion.