



Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Análise de falha em trem de pouso
Bolsista: André Martins da Silva
Orientador(a): Christian F. A. Von Dollinger
Período a que se refere o relatório: Fevereiro de 2018 a Junho de 2018

Resumo

A ciência dos materiais e disciplinas associadas são ferramentas indispensáveis que contribuem de forma direta na análise de falhas requerendo minuciosidade. Um bom estudo da literatura e a execução perfeita das normas exigidas são necessários. Neste trabalho abordaremos um estudo de caso que envolve uma fratura parcial de um sistema de trem de pouso, a fratura ocorreu durante um pouso quando a aeronave tocou a pista, segundo relato do piloto, a aeronave apresentava manobrabilidade deficiente durante o taxi, ao término do taxi a aeronave foi submetida a exames visuais onde os técnicos detectaram a fratura e o trem de pouso de nariz parcialmente danificado. O material foi encaminhado para ser analisado em sua totalidade com o intuito de detectar a causa raiz da falha e assim evitar que falhas semelhantes ocorram. Utilizando-se de ferramentas como exames visuais, por microscopia estereoscópica e exames metalográficos, foi possível obter resultados satisfatórios e consistentes, podendo afirmar com precisão que o sistema falhou pelo mecanismo de fadiga devido à manutenção deficiente. É importante frisar que o objetivo da análise de falhas é salvar vidas impedindo que ocorram falhas semelhantes e a partir disto emitir recomendações de segurança.

1. Introdução

Trem de pouso ou **trem de aterragem**, ou **trem de aterrissagem**,^{[1][2][3]} é um dos principais equipamentos do avião, utilizado na decolagem e na aterrissagem, sendo o trem de pouso dianteiro responsável pela direção durante o deslocamento da aeronave no solo. O trem de

pouso deve suportar todo o peso de uma aeronave durante as operações de pouso e decolagem, sendo fixado rigidamente aos componentes estruturais primários da aeronave.^[4]

Principais componentes

Os principais componentes do trem de pouso são: estrutura principal, atuador (normalmente hidráulico), amortecedor (normalmente hidro-pneumático), sistema direcional (nos trens de pouso dianteiros), sistema de travamento estendido e retraído, rodas e freios. Há também um sistema hidráulico, composto de reservatório de óleo, bomba hidráulica, válvulas e tubulações, para a operação do equipamento. Em algumas aplicações específicas, como operações na neve ou na água, as aeronaves possuem trens de pouso fixos, equipados com esquis e flutuadores.^[4]

Operação

Trem de pouso do tipo retrátil, com o atuador em primeiro plano e atrás deste, o amortecedor. O comando de acionamento é feito normalmente por uma alavanca no console da aeronave, tendo luzes indicadoras de curso e posição para informar à tripulação se o acionamento foi bem sucedido e se o equipamento foi travado, tanto na retração quanto na extensão. Ao se comandar o acionamento, o atuador se estende ou retrai, dependendo da ação que se deseja, levando o conjunto a fazer um movimento de rotação em torno de um eixo fixo na estrutura da aeronave. Para permitir o movimento livre do trem de pouso, seja na retração ou na extensão, as portas do compartimento se abrem. O acionamento das portas pode ser independente, por atuadores eletro-hidráulicos, ou pelo próprio conjunto do trem de pouso, que as arrasta ao ser movido. Nas aeronaves mais modernas, um dispositivo de segurança impede que o acionamento seja feito durante o voo, acima de uma determinada velocidade. No A330, este limite é 280 km (519 km/h).^[5] Há também, em algumas aeronaves, um sistema mecânico *free fall* (queda livre) que, ao ser acionado, permite ao trem de pouso ser estendido e travado pela ação da gravidade, em caso de uma pane que impeça o acionamento normal.^[4] Em alguns casos extremos de pane na operação do trem de pouso, a aeronave pode aterrissar sem este equipamento, manobra conhecida como "pouso de barriga", uma operação de emergência que exige treinamento e habilidade técnica do piloto.^[6] O principal objetivo de se recolher o trem de pouso durante o voo é para que este não ofereça uma resistência aerodinâmica, principalmente em altas velocidades, reduzindo a eficiência da aeronave.

Estando o trem de pouso completamente recolhido no interior do seu compartimento, as portas se fecham, fazendo com que não haja nenhum arrasto parasita na fuselagem. Quando o trem de pouso está estendido para o pouso, este arrasto parasita é útil para diminuir a velocidade da aeronave. Em alguns casos, onde a velocidade operacional é menor e as aeronaves são de menor porte, o trem de pouso é do tipo fixo, ou seja, não possui sistema de retração, permanecendo estendido durante o voo, o que reduz o custo de produção.^[4] As forças do impacto no solo durante o pouso são controladas pelo amortecedor, que absorve a maior parte desta energia mecânica e a converte em energia térmica. Outra parte da energia é transferida para a estrutura da aeronave e para os pneus. O amortecedor típico utiliza uma combinação de fluido hidráulico e nitrogênio pressurizado, permitindo que ele absorva e dissipe as cargas no impacto contra o solo.^[4] A figura – 1 ilustra um trem dianteiro direcional e os componentes do sistema .

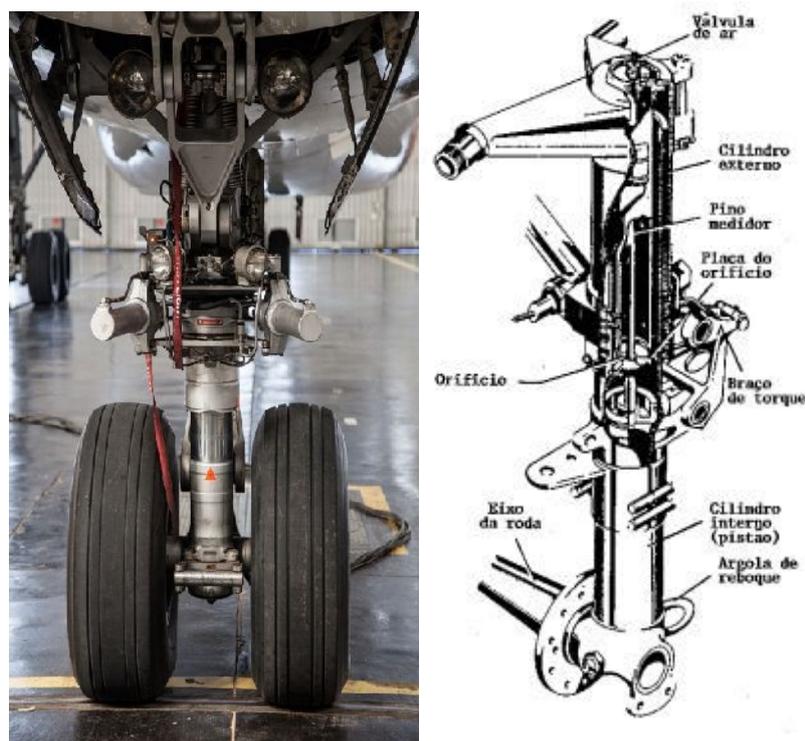


Figura 1 Trem dianteiro direcional e seu sistema.

Estolagem inclinada

Quando há um problema no trem de pouso de ordem hidráulica ou mesmo perda de uma das rodas ou outro componente do sistema é possível pousar o avião só com um trem de pouso,

chamado de estolagem inclinada. Técnica essa que exige conhecimentos técnicos e perícia extrema do comandante do voo.

Tipos de trem

Convencional

O chamado trem convencional (designado em inglês por *taildragger*), é o oposto do trem triciclo; é um trem que possui dois pneus frontais, e um traseiro, sob a empenagem como ilustra a Figura – 2.



Figura 2 - Trem convencional

Triciclo

Uma aeronave com um trem "triciclo", possui um pneu frontal, sob a parte da frente, e dois traseiros, dispostos sob as asas. A vantagem desta configuração, relativamente à anterior, é o fato de ser mais seguro em frenagens mais acentuadas, impedindo que o avião entre em capotamento frontal.



Figura 3 - Trem triciclo

Quanto à operação

Fixo

Não possui sistema de retração, permanecendo estendido durante o voo.

Retrátil

Possui sistema de retração, que faz com que seja recolhido parcialmente.

Escamoteável

Possui sistema de retração, que faz com que seja recolhido totalmente para o interior de um compartimento na aeronave durante o voo.

2. Materiais e Métodos

O material recebido foi um trem de pouso como ilustra a figura 4.



Figura 4- Material recebido (trem de pouso).

Iniciou-se as análises com o exame visual utilizando-se uma lupa, em seguida o material foi encaminhado ao laboratório de macroscopia onde foi analisado mais a fundo utilizando-se de um estereoscópio. Devido à complexidade do sistema, o mesmo foi desmontado e seccionado para possibilitar o acesso à superfície de fratura. Para o processo de preparação e análise metalográfica, foi escolhida a seção de interesse e embutida a quente com baquelite convencional (resina fenólica) na embutidora da marca Teclago modelo EM30D. Após a amostra já embutida, esta foi submetida ao processo de lixamento no qual foram utilizadas as lixas de granulometria 180, 240, 400, 600 e 1200 mesh (abrasivos/pol²) na lixadeira a água da

marca struers modelo Knuth Rotor 2. Entre cada etapa de lixamento a amostra foi lavada em água corrente para completa eliminação de resíduos de abrasivos. Após a amostra devidamente lixada, a mesma foi submetida a um processo de polimento, a fim de eliminar quaisquer riscos deixados pelo lixamento. O procedimento de polimento foi subdividido em duas etapas: a primeira usando um abrasivo de diamante com granulometria $3\ \mu\text{m}$ e a segunda etapa foi utilizado sílica coloidal $0,05\ \mu\text{m}$ como abrasivo para acabamento. A politriz utilizada foi da marca Pantec modelo Polipan-2. Após polida e com o intuito de revelar a microestrutura da amostra, esta foi submetida a ataque químico com o reagente Nital 3%, constituído por: 3ml HNO_3 + 97ml Álcool Etílico. As imagens para análise microestrutural foram obtidas utilizando-se um microscópio óptico da marca Zeiss com aumentos nominais de 100x, 200x e 500x.^[7]

3. Resultados

Na análise visual detectou-se uma fratura parcial na parte externa do sistema próximo a tesoura como ilustra a figura – 5.

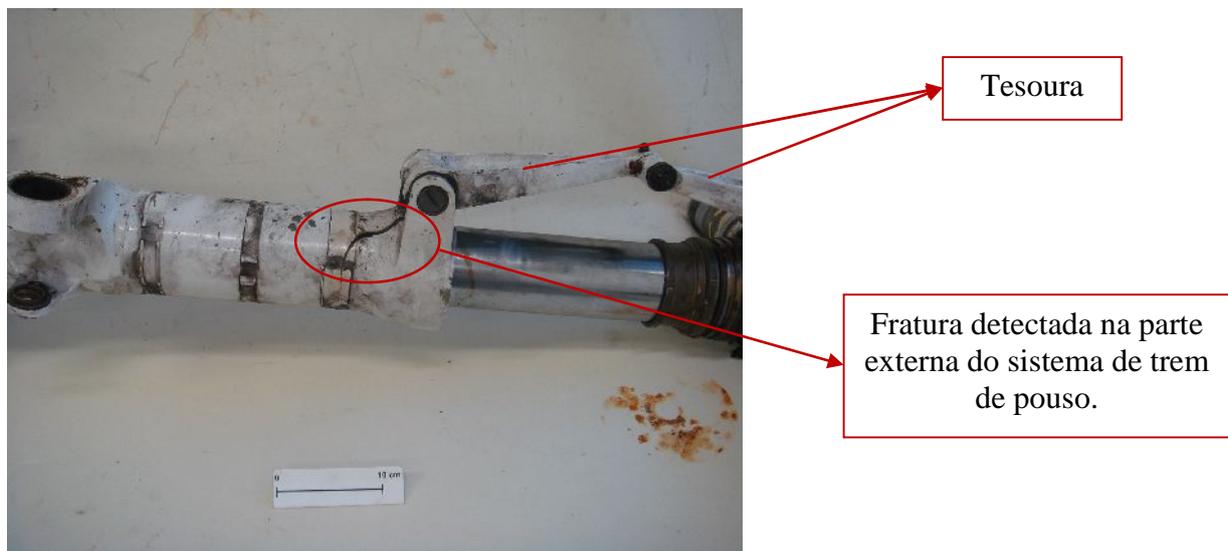
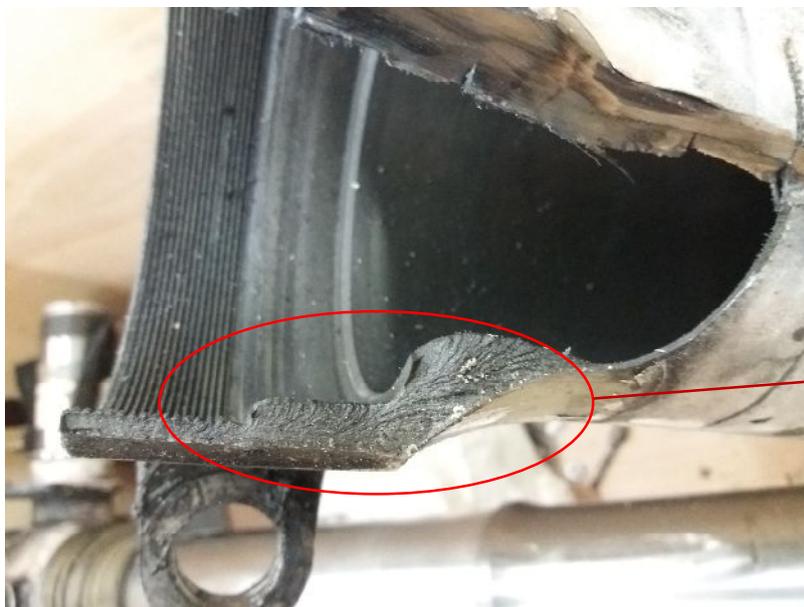


Figura 5 - Fratura parcial no sistema de trem de pouso.

Já com a superfície de fratura segregada do sistema observaram-se marcas de praia, característica de fadiga. As fraturas causadas pelo mecanismo de fadiga, normalmente apresentam uma superfície plana com marcas de propagação (marca de praia) convergindo para o início da fratura como ilustra a figura – 6.



Marcas de praia, característica de fadiga.

Figura 6 - Marcas de praia na superfície de fratura

Por meio de um estereoscópio, observou-se bolhas na pintura da superfície do sistema podendo afirmar que, não houve uma remoção adequada dos contaminantes antes da pintura. Essas bolhas foram estouradas para analisar o aspecto interno onde foi possível revelar vários pontos de corrosão como ilustra a figura – 7.



Figura 7 - Superfície com bolhas na pintura e corrosão em seu interior.

Nos exames metalográficos observou-se corrosão, várias trincas secundárias e segregação dos grãos entre a pintura e a superfície do sistema como ilustra as figuras - 8 (A e B).

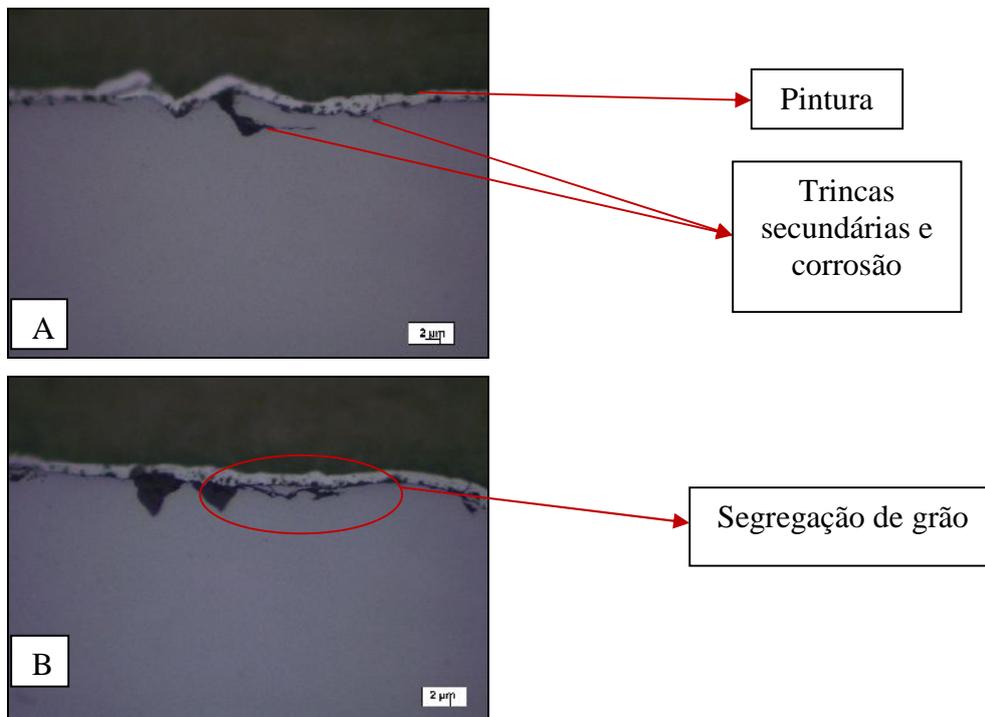


Figura 8 A e B – Corrosão, trincas secundárias e segregação dos grãos.

Por meio da microscopia óptica observou-se microestrutura característica de martensita evidenciando uma trinca secundária mais profunda partindo da superfície para o núcleo da amostra como ilustra a figura 9. Essa trinca foi causada pela corrosão, o mesmo fator que levou o sistema a falhar.



Figura 9 - microestrutura martensítica e trinca secundária.

4. Próximas Etapas

Dentro do escopo do presente projeto iniciaremos a análise de falhas envolvendo o software ImageJ para análise quantitativa e qualitativa.

5. Conclusões

Conclui-se que a análise de falhas tendo como principal aliada à ciência dos materiais é de suma importância para segurança da aviação. É da análise técnico-científica do acidente ou incidente aeronáutico que se retiram valiosos ensinamentos. Esse aprendizado, transformado em linguagem apropriada, é traduzido em recomendações de segurança específicas e objetivas para os fatos analisados, acarretando ao seu destinatário (proprietário, operador de equipamento, fabricante, piloto, oficina, órgão governamental, entidade civil, etc.) o cumprimento de ação ou medida que possibilite o aumento da segurança. As pessoas

envolvidas, direta e indiretamente devem estar sempre atentas as possíveis causas e erros que podem levar aos acidentes, como por exemplo, os pequenos incidentes que juntos podem vir a resultar em acidentes graves e fatais (teoria da bola de neve). Os acidentes são causados por múltiplos fatores contribuintes, na maioria das vezes, uma grande falha é consequência de varias outras pequenas. Contudo recomenda-se que as manutenções preventivas e corretivas sejam executadas por pessoal capacitado e empresas homologadas. Por ser um sistema que sofre exigências severas, o mesmo deve ser examinado periodicamente independente das manutenções previstas.

Referências

1. Thiago Vinholes (24 de maio de 2016). «A difícil vida do trem de pouso». Airway
2. «O trem de aterragem». CDN
3. Thomas Floyd (2007). *Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações*. [S.l.]: Bookman editora. ISBN 0131946099
4. «Aircraft Landing gear systems» (em inglês). FAA
5. «Landing gear - A330» (em inglês). Airbus
6. «Turboélice faz pouso 'de barriga' em aeroporto dos Estados Unidos». Portal G1. 18 de maio de 2013
7. ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures. Materials Park, ASM International, 1995