



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

MODELAGEM DE UM SISTEMA ANTI-SKID UTILIZANDO AMESIM

RESUMO CÓDIGO: CON10-0983

Resumo: O objetivo deste trabalho é modelar o sistema anti-skid de uma aeronave utilizando o aplicativo AMESIM e analisar os resultados apresentados por meio de simulação. Considera-se o comportamento normal do sistema e o efeito da ocorrência de diferentes tipos de falhas. Este aplicativo é baseado na teoria de Grafos de Ligação e permite a construção de modelos dinâmicos com elevado grau de detalhamento. O modelo elaborado visa à utilização na validação de propostas de estratégias de controle para o sistema anti-skid.

Palavras-chave: AMESIM, anti-skid, freio, hidráulica

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas hidráulicos estão se tornando cada vez mais sofisticados com uma complexa mistura de componentes eletrônicos, hidráulicos e mecânicos. Devido à alta competitividade no setor aeroespacial, é de extrema importância que estes sistemas apresentem excelente custo benefício, porém, com um alto nível de segurança. Por isso, o setor tem aumentado cada vez mais o investimento em simulações, análises e predição de falhas. O objetivo deste trabalho é iniciar a modelagem e verificação do comportamento de um sistema de freios de uma aeronave regional utilizando a ferramenta AMESIM.

2. SISTEMA DE FREIO ANTI-SKID

Freios de aeronaves não são muito diferentes dos freios de disco de carros em geral. As aeronaves utilizam sistemas de transdutores que medem a quantidade de pressão aplicada pelo piloto e transferem parte da pressão hidráulica do sistema para os freios. O piloto empurra os pedais que movimentam os LVDT's, enviando sinais para a unidade de controle do freio. A unidade de controle do freio libera a quantidade desejada de fluxo de pressão para os freios. Em conjunto com essa unidade, controladores anti-skid são utilizados pelo sistema para controlar a derrapagem em pisos escorregadios.

O conjunto de freios tem uma série de placas (estatores) que distribuem a função de frenagem e estão fixadas ao trem de pouso e outros pratos, "rotores", que se conectam ao interior do conjunto da roda. Assim como nos freios a disco de um carro, onde se tem um pistão que comprime as pastilhas contra o disco, os freios da aeronave têm um pistão que comprime a pilha de discos (rotores e estatores). Na base da caixa, estão os pistões que empurram a pilha de discos quando a pressão do freio é aplicada, fazendo com que os rotores e estatores se comprimam, criando atrito e freando a aeronave.

A fim de proteger os pneus contra a derrapagem em superfícies molhadas ou geladas, as aeronaves têm um sistema de controle anti-skid, com um transdutor elétrico em cada eixo, que mede a velocidade de cada roda e relata o valor obtido para o controle anti-skid. Quando uma roda pára de girar enquanto a aeronave ainda está em movimento, o computador informa para a válvula do freio para liberar a pressão no freio, permitindo que esta roda recomece a girar até atingir a velocidade das demais rodas. Em seguida, o computador comanda a válvula do freio para voltar a aplicar pressão. Este controle anti-skid pode operar em frações de segundo.

Atualmente as simulações em sistemas de múltiplos domínios têm sido objeto de diversas investigações, dado seu potencial para obter respostas em curto espaço de tempo. Entre as ferramentas disponíveis, o AMESIM abstrai esse problema com módulos, cujas dinâmicas já estão formuladas, possibilitando ao usuário concentrar-se em suas interações.

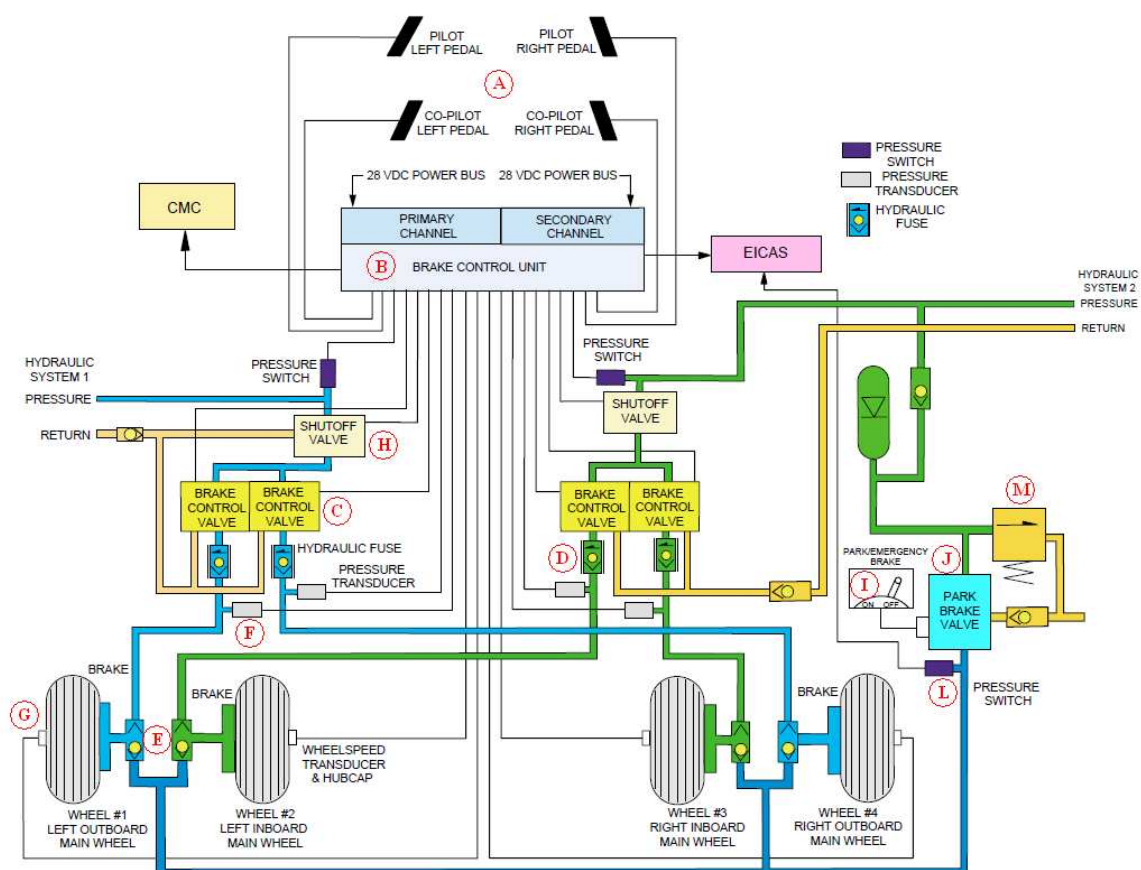


Figura 1 - Implementação típica de um sistema anti-skid convencional (HYDRO-AIRE, 2000)

A Figura 1, exemplifica o sistema de freio de uma aeronave regional. Existem quatro pedais de freio (“A”) no cockpit (dois para o piloto e dois para o co-piloto), que são conectados individualmente a um transdutor. Esses transdutores utilizam transformadores de tensão diferencial (LVDT’s) para converter deslocamento em sinal proporcional de corrente alternada. Estes sinais serão utilizados pelo controlador de freio e substituí as grandes linhas hidráulicas utilizadas antigamente, formando assim o sistema brake-by-wire.

No controlador (“B”), os sinais do controle de pedal, controle anti-skid e comandos lógicos de proteção são combinados e comparados com o sinal de realimentação de velocidade da roda e de pressão para gerar um comando de controle para alcançar a melhor pressão que deve ser aplicada ao freio para a sua melhor eficiência dentro de condições variadas de pista. Existem duas válvulas de controle de freio (“C”), sendo que cada uma utiliza duas servo-válvulas independentes. Como exemplificado pela figura, cada válvula atua em uma roda de cada par. Elas transformam o sinal de corrente vindo do controlador em pressão que atuará nos pistões de freio.

Quatro fusíveis hidráulicos (“D”), um para cada roda, permitem passagem livre para a pressão de controle do sistema monitorando-a para fechar quando a pressão é excessiva. As shuttle válvulas (“E”) permitirão que a pressão predominante entre o sistema normal e o de emergência opere os freios, e também isolam um desses sistemas em caso de falha. Quatro transdutores de pressão (“F”), um para cada roda, monitoram a pressão no freio e converte para uma tensão contínua proporcional, realimentando o controlador. Quatro transdutores de velocidade (“G”), um em cada roda, realimentam o controlador com sinal em corrente alternada modulado em frequência proporcional à velocidade das rodas. Duas válvulas shut-off (“H”), SOVs, controlam a fonte de pressão dos sistemas, quando energizadas, situação de taxi, decolagem e pouso, elas deixam que a pressão atue no sistema de freios, e quando desenergizadas, situação de voo, ela não deixa a pressão chegar ao sistema de freio. As SOVs em conjunto com as válvulas de checagem isolam o sistema de freio normal do sistema hidráulico em caso de falhas na fonte de pressão ou no retorno. A atuação e controle do freio de emergência e de estacionamento são feitos mecanicamente usando o punho de freio de emergência. Este é independente da unidade de controle de freio BCU.

3. MODELAMENTO

A unidade de controle atua diretamente na servo-válvula que, por sua vez, aciona o freio. Portanto, o único módulo que influencia a dinâmica de acionamento do sistema de freio é a própria válvula, que é o foco deste estudo. A Figura 2 exemplifica o modelo a ser abordado neste trabalho.

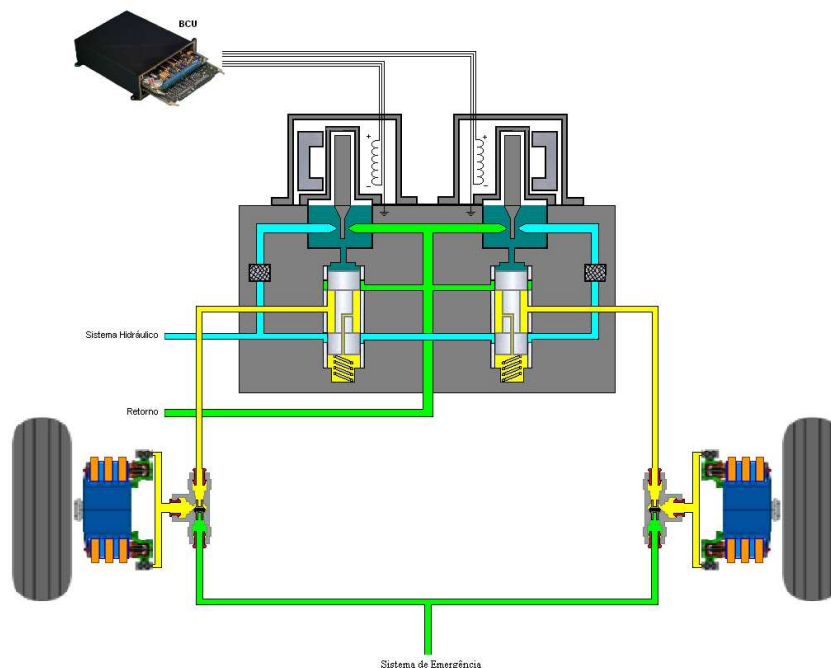


Figura 2 – Modelo esquemático abordado

3.1. Comportamento Eletro-Mecânico

O acionamento da palheta central do primeiro estágio da servo-válvula é feito eletromagneticamente, através de uma bobina alimentada pelo sinal de saída da unidade controladora de freio (Figura 3). Quando a bobina é excitada, o material metálico da base da palheta é atraído pelo entreferro, formando, assim, um momento angular variando sua posição em relação aos bocais.

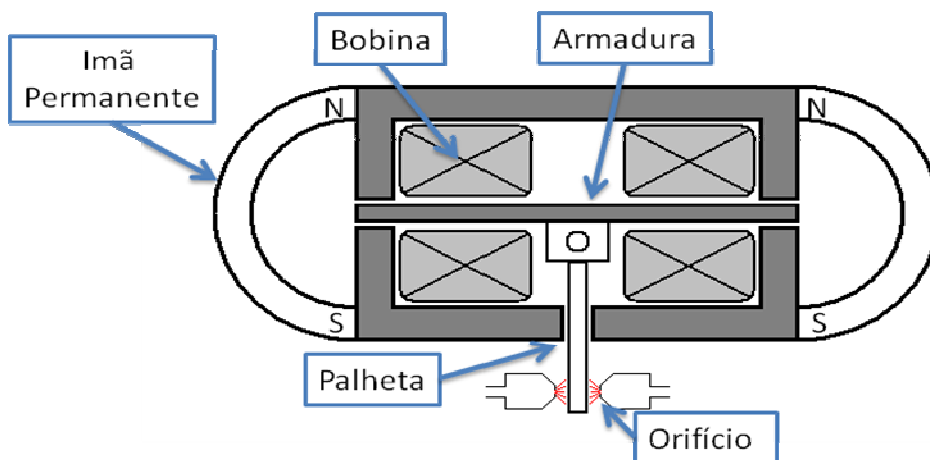


Figura 3 - Acionamento da palheta

Existem quatro “gaps” (espaços) iguais que carregam o mesmo fluxo magnético dos ímãs permanentes, produzindo um torque zero na armadura. Quando a corrente entra na bobina, um fluxo magnético induzido adiciona ou subtrai ao fluxo dos “gaps”, criando, assim, um desequilíbrio de forças na armadura, resultando em um torque que desloca a paleta.

No modelo do AMESIM apresentado na Figura 4, é possível identificar os ímãs permanentes “A”, os gaps “B”, a bobina “C” e o elemento eletromagnético “D”. Este modelo representa o esquemático geral e pode variar sensivelmente entre tipos de servo-válvulas.

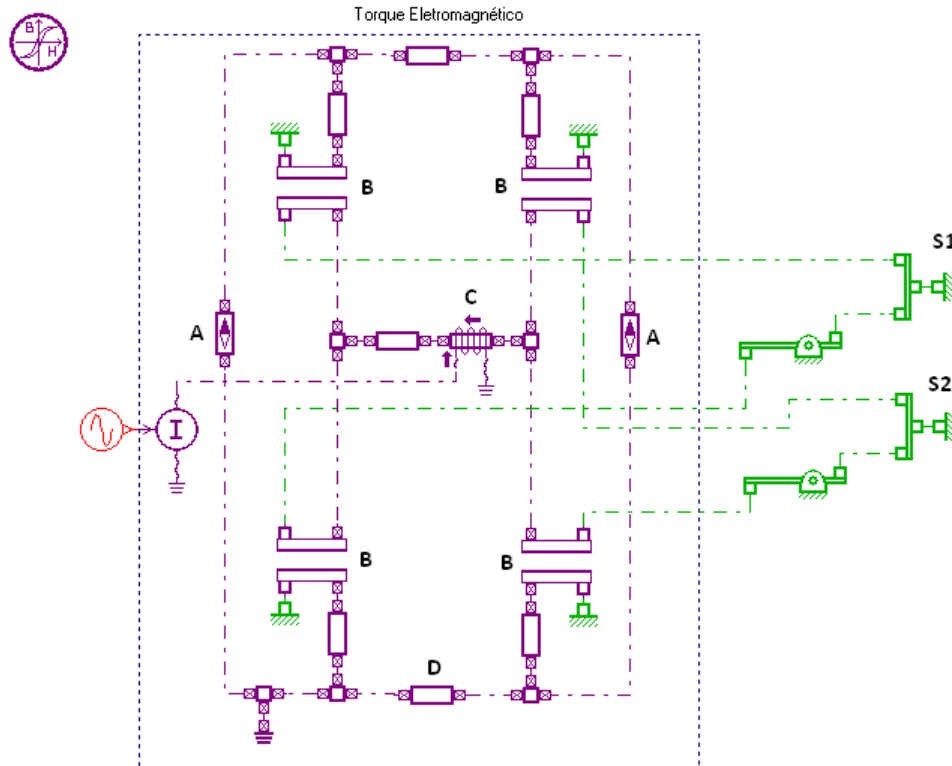


Figura 4 - Modelo do torque eletromagnético

3.2. Flapper-Nozzle

O torque proveniente do motor movimenta a palheta, aumentando a resistência de um dos orifícios e diminuindo a do outro. Quando o sinal é positivo, o orifício referente à fonte de pressão é desbloqueado e o referente ao retorno é bloqueado, fazendo com que essa pressão exerça ação no êmbolo, atuando a válvula. A força hidráulica sobre a palheta é resultante de duas forças: a força dinâmica, devido ao torque, e a força estática, devido à pressão do fluido fora do bico.

A Figura 5 mostra o modelo utilizado neste projeto. Sendo 'x' a abertura entre o nozzle e o flapper no intervalo de zero a x_{max} ; d_1 o diâmetro da restrição; d_2 o diâmetro do nozzle; P_c a pressão de comando e P_a a pressão de alimentação.

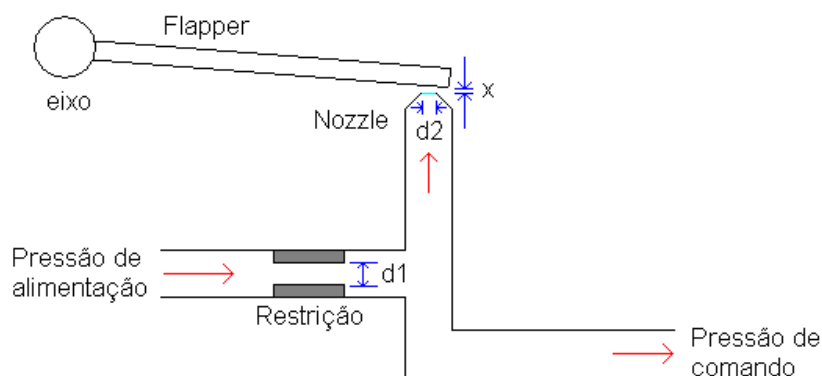


Figura 5 - Flapper-Nozzle

O AMESIM tem, em sua biblioteca de modelos, essa dinâmica implementada no modelo “BAP32 – flapper nozzle valve”, apresentado na Figura 6.

BAP32 - flapper nozzle valve

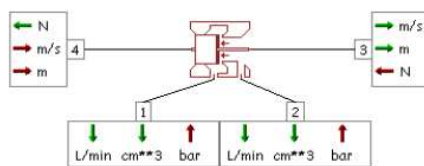


Figura 6 - AMESIM Flapper-Nozzle

Para facilitar a visualização, a Figura 7 apresenta o modelo e exemplifica as duas forças presentes neste estágio: o torque da paleta como sinal de entrada e a pressão dos orifícios. A saída é o êmbolo do segundo estágio, representada pelo pistão.

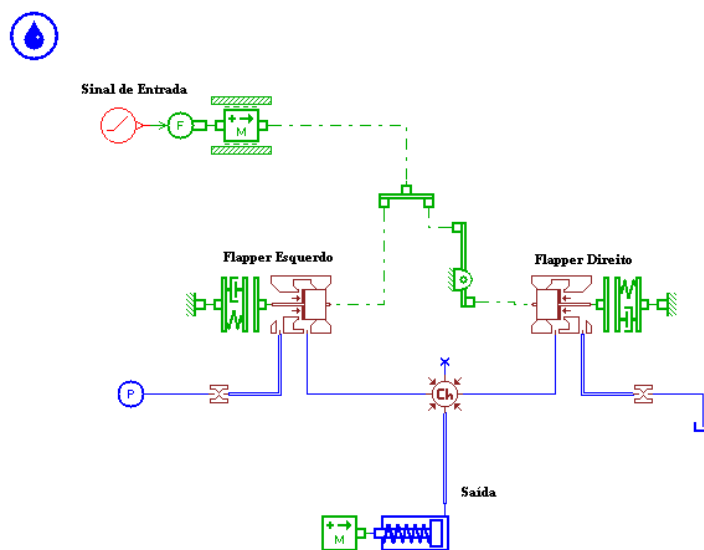


Figura 7 - Modelo do flapper-nozzle

O resultado esperado é um deslocamento dos flappers linearmente proporcional ao sinal de entrada e a pressão de comando, seguindo o gráfico apresentado na Figura 8.

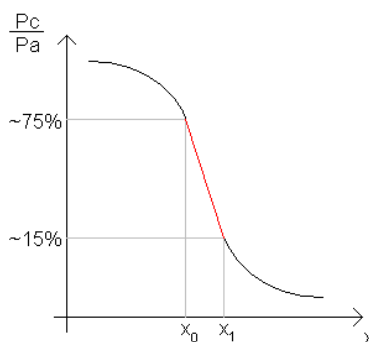


Figura 8 - Razão de pressão vs abertura

3.3. Segundo Estágio

O segundo estágio da servo-válvula consiste em um êmbolo (“spool”) preso com uma mola em uma de suas extremidades e com a pressão aplicada na outra, Figura 9. Quando a pressão de atuação exerce uma força superior à força da mola, o núcleo varia as aberturas dos orifícios.

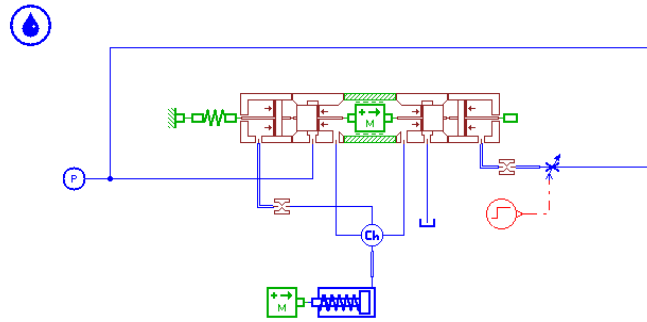


Figura 9 - Modelo do segundo estágio

3.4. Modelo Completo da Servo-válvula

Unindo os três modelos apresentados nas seções anteriores obtêm-se o modelo da servo-válvula completo, Figura 10. As análises para diferentes entradas demonstram que a resposta ao degrau e à rampa representa satisfatoriamente o comportamento do modelo, como se percebe pelo resultado a seguir.

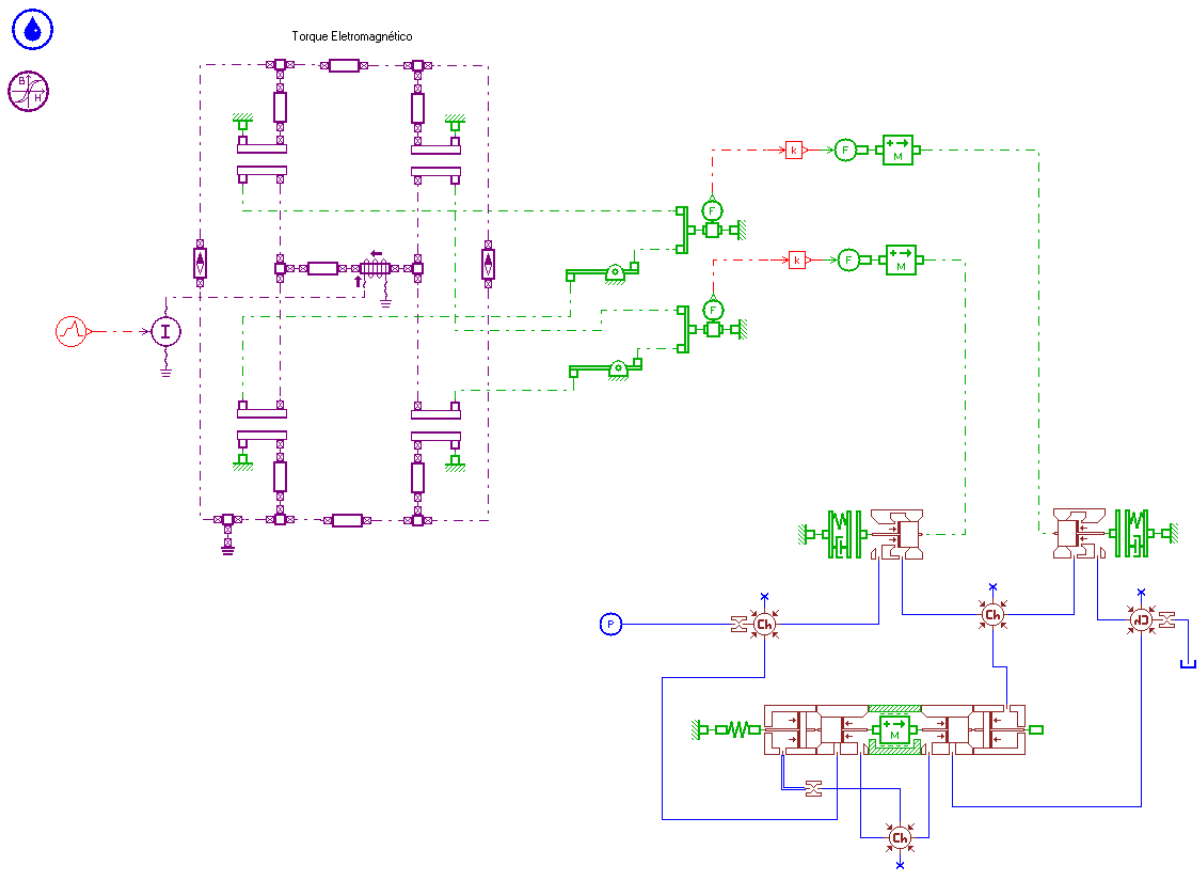


Figura 10 - Modelo completo da servo-válvula

Os parâmetros dos módulos foram ajustados para representar um comportamento padrão de servo-válvula. Contudo, os resultados a seguir foram simulados para um sistema padrão de freio anti-skid, com a BCU representada por uma entrada em degrau/rampa e o freio por um volume.

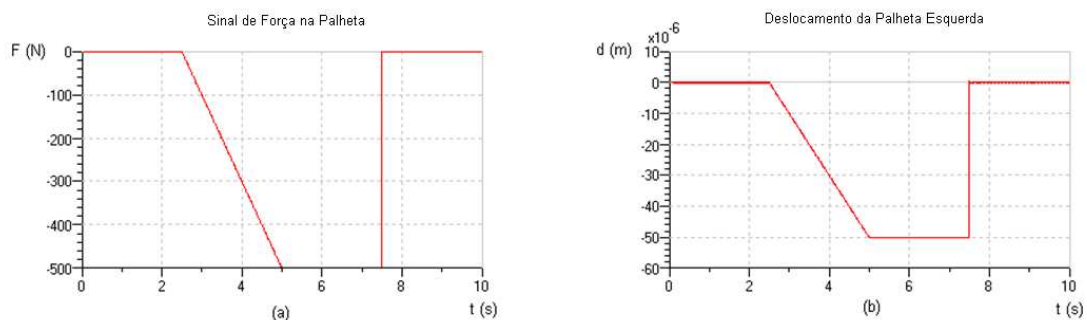


Figura 11 - Sinal de força na palheta (a) e deslocamento (b)

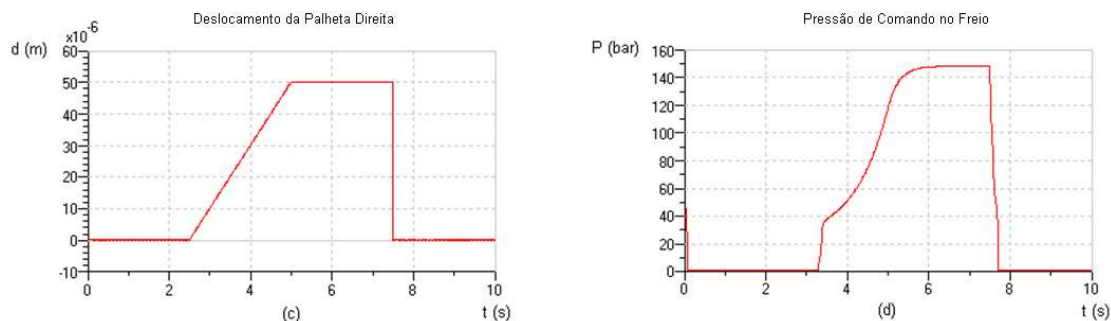


Figura 12 – Deslocamento da palheta (a) e pressão de comando no freio (b)

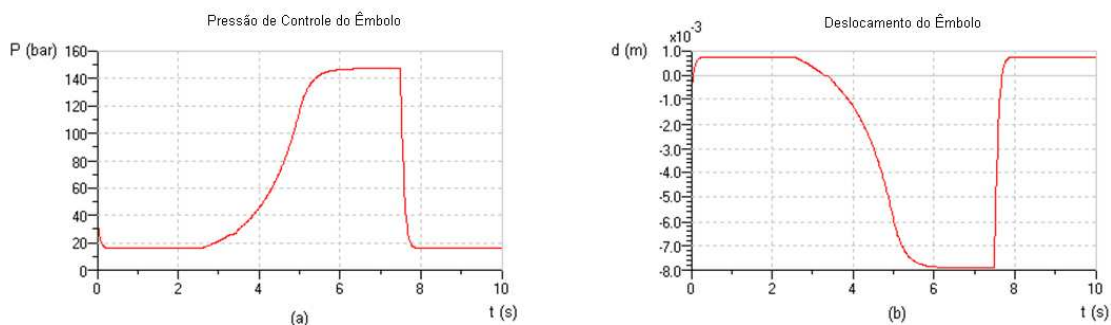


Figura 13 - Pressão de controle do êmbolo (a) e seu deslocamento (b)

Os resultados demonstram o comportamento esperado após todo o detalhamento das seções anteriores. A Figura 11 verifica que o deslocamento da palheta é linear ao sinal de força, assim como este último é linear ao sinal de corrente. A pressão aplicada ao freio deve ser proporcional ao sinal de entrada. Porém, a Figura 12 apresenta um comportamento diferente quando o êmbolo passa pela posição neutra (Figura 13), apresentando uma alta derivada positiva de pressão. Isto ocorre quando a abertura é muito pequena a relação P_c/P_a é próxima de um, e quando o êmbolo passa pela posição zero ele retoma ao valor da relação. A dinâmica da resposta ao degrau do sistema de freio é apresentada a seguir:

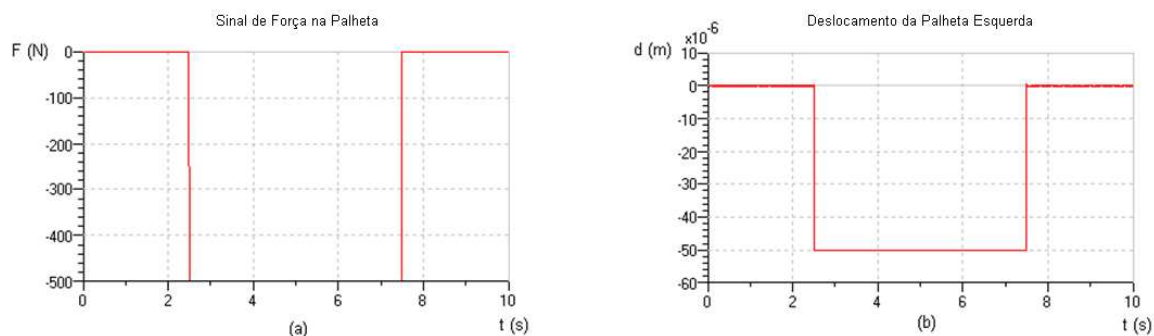


Figura 14 - Sinal de força na palheta (a) e seu deslocamento (b)

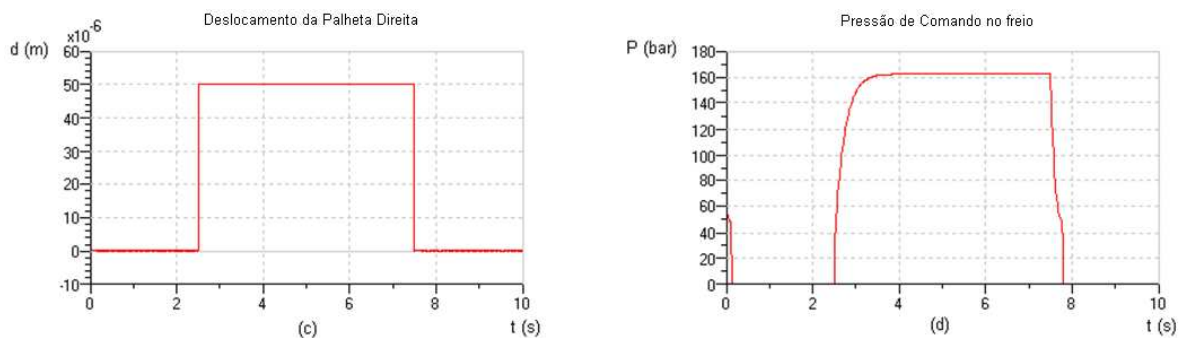


Figura 15 - Deslocamento da palheta (a) e pressão de comando no freio (b)

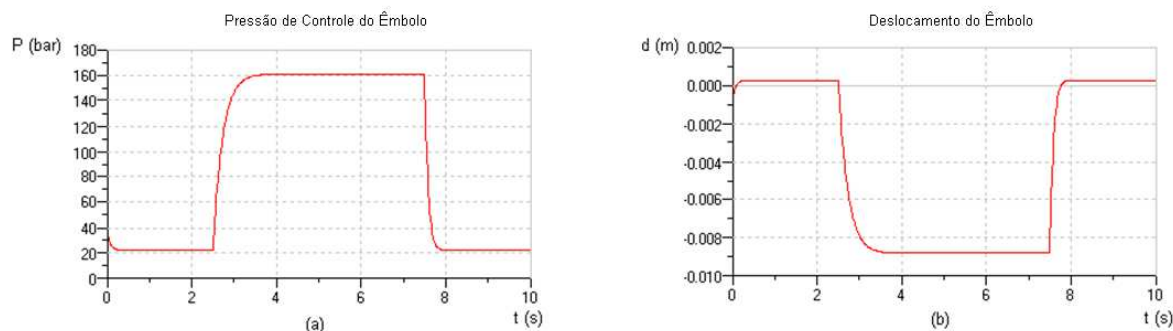


Figura 16 - Pressão de controle do êmbolo (a) e seu deslocamento (b)

A Figura 14, assim como no exemplo anterior, demonstra a linearidade entre a corrente de entrada e o movimento da palheta. Os tempos de subida e de descida apresentados na Figura 15 são de 400ms e 300ms, respectivamente. Este resultado não condiz com resultados reais de válvulas aplicadas em sistemas de freios, que deveria ser em torno de 1ms. Entretanto, essa velocidade depende de muitos parâmetros que foram estimados e que com pequenos ajustes poderão atingir o nível de resposta desejado.

4. CONCLUSÃO

Sistema de freio de uma aeronave é um assunto complexo de modelar e simular, devido à interdependência hidráulica, mecânica e eletrônica. No entanto, o AMESIM permite essa interação pela vasta biblioteca de modelos básicos pré-implementados que, em conjunto, compõem os mais complexos sistemas.

O objetivo deste trabalho foi iniciar um modelamento e verificação do sistema de freio de uma aeronave regional, a fim de explorar suas variáveis para aperfeiçoar seu projeto e prover dados para a detecção de falhas. Foi apresentado o modelo de um sistema de freio, focando a modelagem da servo-válvula, devido a não influência dos módulos restantes na dinâmica do freio, que não foram cobertos neste projeto.

A válvula foi minuciosamente detalhada e separada em partes para verificar se os resultados condiziam com o real comportamento. Apesar de não ter sido possível a comparação com valores reais, todos os resultados demonstraram um comportamento plausível com o esperado.

Esta pesquisa foi realizada em torno de um sistema de freios anti-skid existente, não sendo abrangida a parte respectiva ao controle da servo-válvula. Isto porque o modelo da dinâmica da aeronave é um dado estratégico para as empresas e sem essa informação os resultados não seriam conclusivos. O modelo abarcado neste trabalho é válido para uma grande variedade de aeronaves regionais, tais como das fabricantes Embraer, Airbus, Boeing, etc., restando apenas ajustar os parâmetros para a aeronave utilizada.

5. REFERÊNCIAS

CRANE AEROSPACE. CRANE CO. Hydro-Aire Inc. Antiskid System Solutions For Regional Aircraft, 2000. Disponível em: <<http://www.craneae.com/Products/Landing/downloads/RegionalSystems.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2010.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

AIRCRAFT ANTI-SKID BRAKING SYTEM MODEL FOR AMESIM

Aguiar, Ítalo de Fazio, italofa@gmail.com
Villani, Emilia, evillani@ita.br

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Pça. Mal. Eduardo Gomes, nº 50, 12228-900 – São José dos Campos, SP, BRASIL – Sala:1214

Abstract: The purpose of this work is to initiate the modeling of an aircraft anti-skid braking system using the software AMESIM and analyse the result by simularions. This application is based on the Bond Graph theory and allows to build dynamic model with high level detailing. This model aims application strategic proposes for anti-skid control.

Palavras-chave: AMESIM, anti-skid, brake, hydraulic