

# ESTUDO SOBRE O FUNCIONAMENTO DO *TRANSPONDER*

Vinicius Custódio de Matos<sup>1</sup>, Ana Paula Soares Silva<sup>2</sup>, Landulfo Silveira Jr.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FEAU, Universidade Vale do Paraíba – UNIVAP, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova, São José dos Campos – SP  
<sup>1</sup>vcmatos@terra.com.br, <sup>2</sup>a.paula@petrobras.com.br, <sup>3</sup>landulfo@univap.br

**Palavras-chave:** *Transponder*, Radionavegação.

**Área do Conhecimento:** III - Engenharias

**Resumo** - Este estudo tem como objetivo demonstrar o funcionamento do *transponder*, que é responsável pelo monitoramento da aeronave pelas estações em terra. Atualmente é um dos instrumentos de maior importância de navegação aérea. O mesmo promove maior segurança para o espaço aéreo, indicando dados como posição, altitude, identificação, etc. e assim auxilia as estações em terra a organizar as aeronaves em vôo, evitando assim possíveis colisões. Neste trabalho são apresentados aspectos históricos e tecnológicos deste importante instrumento de navegação aérea.

## Introdução

Com o rápido crescimento da aviação civil após o término da Segunda Guerra Mundial, o controle de tráfego aéreo, baseado no radar de localização, tornou-se inadequado e inseguro frente ao grande número de aeronaves que estavam em operação no mundo naquela época.

Hoje em dia o sistema de navegação aérea é composto por vários equipamentos de radiofrequência (RF), como o ADF (*Automatic Direction Finder*), o DME (*Distance Measuring Equipment*), o ILS (*Instrument Landing System*) e o *Transponder*.

Antes de iniciar o procedimento de decolagem, a aeronave realiza junto ao Controle de Solo um *check-list* dos instrumentos de vôo e recebe informações sobre as condições climáticas do aeródromo. Ao solicitar permissão para o acionamento dos motores, a aeronave recebe do Controle de Solo um código de quatro números (Ex. 1234) que será a identificação da mesma para os radares da Torre de Controle.

Durante o ciclo de decolagem, afastamento, cruzeiro, aproximação e aterrissagem, a aeronave é identificada pelos radares das regiões que está sobrevoando. O propósito do *transponder* é identificar a aeronave e responder através de sinais de rádio as interrogações que as estações em terra fazem durante o vôo.

As estações em terra (Controle de Aproximação ou Controle de Tráfego Aéreo), geralmente trabalham com três tipos de antenas transmissoras. A primeira delas é a antena de Alvo Primário, que só mostra para as estações em terra as aeronaves que não possuem *transponders* e são localizadas no espaço pela reflexão das ondas eletromagnéticas nas próprias

aeronaves (efeito Doppler). Há também a antena Direcional, que envia às aeronaves um sinal de interrogação na frequência de 1030MHz e este pode solicitar a identificação, altitude ou outra informação requisitada pela estação de terra à aeronave. Esta interrogação deverá ser respondida pelo *transponder* embarcado na frequência de 1090MHz., sendo tal resposta recebida e mostrada na tela das estações em terra. Finalmente, há a antena Omni-Direcional, sendo a mais importante das três, pois a mesma, através dos *transponders* das aeronaves, consegue selecionar pela distância o grupo de aeronaves que deseja interrogar, evitando repostas desnecessárias vindas de outras. Este diferencial ajuda os controladores a organizarem o espaço aéreo durante o vôo das aeronaves.

Apesar da funcionalidade dos instrumentos precitados, há que se destacar o problema do Controle de Tráfego Aéreo, qual seja, o de que toda a aeronave precisa ser rastreada por uma estação em terra. Em um sistema híbrido, tanto as estações em terra como as aeronaves estão habilitadas a operar em conjunto com os componentes já disponíveis.

## Desenvolvimento

O funcionamento do *transponder* é dividido em partes ou modos de interrogação e cada um destes é responsável por um determinado tipo de interrogação:

- A = identificação
- B = identificação (tempo de resposta mais longo)
- C = altitude
- D = Modo não utilizado
- S = selecionável (recurso)

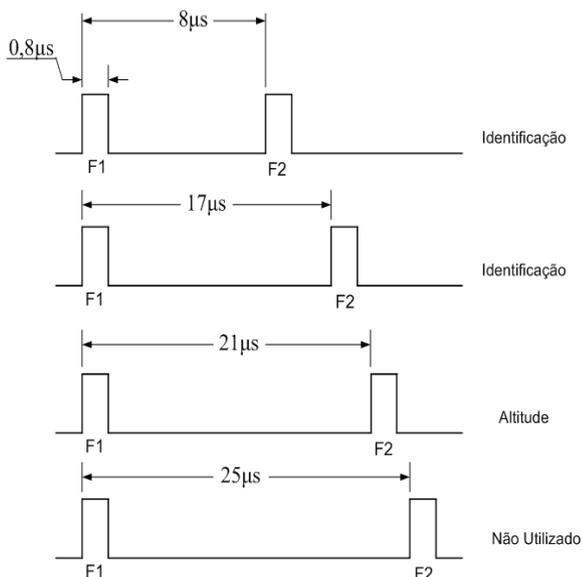


Figura 1: Sinais de Interrogação de cada classe de trabalho do *transponder*.

É importante destacar que nem todos os *transponders* em operação possuem todos os modos descritos acima, e que os mais comuns são os Modos A e C. Esta configuração é o suficiente para responder a estação interrogadora.

O *transponder* irá responder a todas as interrogações válidas que são feitas à aeronave a qual pertence. Para tanto, considera-se interrogação válida aquela recebida através do lóbulo principal do sinal irradiado. Assim, o intervalo entre os pulsos é igual ao modo de espaçamento definido pelo piloto, e cada interrogação se repete de vinte à quarenta vezes por cada varredura da antena direcional.

Toda a resposta do *transponder* tem duração de 20,3µs contados a partir do início do primeiro pulso e até o final do último pulso. Entre os pulsos F1 e F2, estão outros doze pulsos. Deve-se lembrar da existência de um décimo terceiro pulso (pulso 'X'), para uso futuro na expansão do sistema.

Um pulso SPI (Posição Especial de Indicação do Pulso) com intervalo de 4,35µs após F2 poderá ser transmitido quando acionada uma chave seletora nos controles do piloto, indicando que o *transponder* está respondendo com o Modo 'A', ou seja, a identificação da aeronave. Caso não ocorra este pulso, o *transponder* estará respondendo com o Modo 'C', ou seja, a altitude da aeronave.

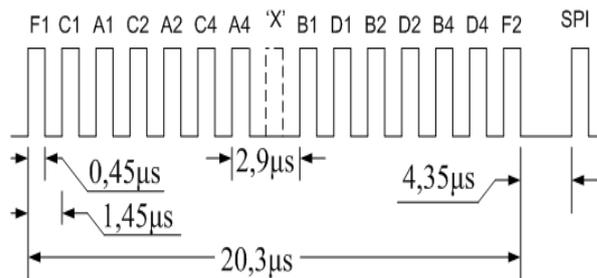


Figura 2: Sinal de Resposta do *transponder* para a estação em terra.

### **Transponder Modo A**

#### *Identificação*

Sendo o Modo A o primeiro a ser desenvolvido, ele se volta para a identificação da aeronave. A estação em terra envia um sinal na frequência de 1030MHz interrogando a aeronave: "Qual a sua identificação?". Através de um trem de pulsos emitido pelo *transponder*, com duração de 8µs, a estação em terra consegue receber a informação correta. Este trem de pulsos possui um pulso F1 com duração de 0,45µs que indica o início da interrogação e um segundo pulso F2 de mesma duração que indica o término da interrogação (Figura 1).

A codificação da identificação é realizada através de quatro chaves seletoras. Cada uma controla um grupo de três pulsos na resposta e podem ser selecionadas em oito posições, 0 à 7. Estes grupos estão designados em A, B, C e D, e os pulsos que estão em cada grupo possuem os valores 4, 2 e 1, como mostra a tabela abaixo. O resultado é o código binário convertido para a base octal.

O dígito mais significativo em octal é determinado pelo grupo A, enquanto que o menos significativo é determinado pelo grupo D.

A4	A2	A1	Seleção
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	1	1	7

Tabela 1: Seleção de Códigos do grupo A (os grupos B, C e D também seguem a mesma forma de codificação).

O número de combinações possíveis atingido quando somados os quatro dígitos, são de 4096 opções.

Por convenção internacional, alguns números foram adotados para sinalizar situações especiais como: falha na comunicação via rádio, código 7600; emergência, código 7700.

### **Transponder Modo B**

#### *Identificação*

Este modelo é também voltado para identificação da aeronave, só que com uma interrogação mais longa. A estação em terra envia um trem pulsos de interrogação com espaçamento de 17µs entre F1 e F2(ver figura 1).

### **Transponder Modo C**

#### *Altitude*

O Nível de voo (altitude) da aeronave é baseado na coluna de 29,92 pol de Mercúrio (Hg), cerca de 760 mm, codificados automaticamente em incrementos de 100 pés. A máxima faixa de valores codificados é de - 1000 pés a + 126.700 pés inclusive. Com incrementos de 100 pés, são requeridos 1278 diferentes combinações de códigos, com 4096 disponibilidades, podemos ver que há uma redundância. É pouco prático usar mais dos códigos disponíveis desde que a exatidão de altímetros barométricos é tal que não são sensíveis, por exemplo, a 50 pés de incrementos; em todo o caso o objetivo é indicar os níveis do voo que são centenas de pés.

Para acomodar a redundância, o pulso D1 (grupo D) não é usado e, também, ao menos um pulso do grupo C é transmitido, mas nunca C1 e C4 juntos em uma mesma resposta. Então para cada 8 possibilidades de combinações do grupo A, temos 8 possibilidades do grupo B, 5 do grupo C e 4 do grupo D, resultando em 8 (grupo A) x 8 (grupo B) x 5 (grupo C) x 4 (grupo D) = 1280 combinações possíveis; duas a mais que o necessário. Essas duas combinações extras poderiam corresponder a - 1100 e - 1200 pés.

É interessante destacar que esta codificação se reflete tanto para a aeronave que está elevando ou baixando o seu nível de voo. Outro fator importante é que para um sistema de codificação de altitude, é necessário observar que a grande maioria das aeronaves não ultrapassa o teto de voo de 62.800 pés, como jatos comerciais.

Outro fator importante é que os modos de interrogação anteriores são partes do ATCRBS (*Air Traffic Control Radar Beacon System*). Este sistema tem como função prover ao controle de tráfego aéreo informações precisas sobre as aeronaves.

#### *Alvos falsos*

Há várias causas para respostas indesejáveis sendo mostradas para o Controle de Tráfego Aéreo.

Desde que a antena de *transponder* é omnidirecional, os pulsos da resposta significados para um interrogador podem também ser recebidos por outro. Além de receber a interrogação, ele também pode fornecer a resposta, pois esta operação está dentro da escala e sua antena está apontando no sentido da aeronave em questão. Um fator importante é que estas respostas indesejadas não estarão em sincronismo com a transmissão de interrogação da estação em terra, sofrendo assim interferência, provocando o aparecimento aleatório de pontos brilhantes na tela do radar, ou seja, os *FRUITS* (alvos falsos). Isto pode ser tratado através do fato de que diferentes interrogações trabalham em diferentes taxas de interrogação, ou seja, as respostas podem ser separadas de acordo com a interrogação.

Sendo a duração da resposta de um *transponder* 20,3µs, assim o pulso transmitido ocupa uma distância de: 163.000 milhas náuticas/segundo x 20,3µs = 3,3 milhas náuticas no espaço.

### **Transponder Modo S**

Durante a década de 60, o tráfego aéreo norte americano estava se tornando denso e sua eficiência em manter as operações diminuindo. Nesta época foi constatado que durante a varredura da antena Secundária, uma mesma interrogação é repetida a uma aeronave de vinte a quarenta vezes aos modos A e C do *transponder*. O mesmo responde a todas as interrogações a ele feitas. A consequência desse processo o resultado é o excesso de comunicação e a sobrecarga na frequência 1090MHz, onde a resposta de uma aeronave se sobrepõe à resposta de outra, interferindo assim, nas respostas recebidas pela estação em terra.

O Modo S, por sua vez, assegura que somente a aeronave que se quer interrogar responda, mesmo que outras aeronaves recebam a mesma interrogação.

As Frequências de 1030MHz e 1090MHz continuam sendo utilizadas, pois os sinais modulados pelo Modo S devem ser transparentes e interpretados por todas as outras aeronaves.

Devido à existência de vários fabricantes e de vários modelos de *transponder*, ficou constatado que vários modelos de *transponder* poderiam responder a qualquer outro tipo de sinal, devido à falta de precisão na filtragem. A solução encontrada foi utilizar dois Lóbulos Laterais Suprimidos para impedir que as aeronaves não desejadas respondessem a interrogação.

Para que o Modo S fosse menos suscetível a interferências e falhas, e que sua modulação de interrogação fosse vista como um sinal transparente para os Modos A e C, foi

utilizado um método diferente da modulação PAM, a modulação DPSK. Este tipo, por sua vez, possui uma taxa de transmissão mais alta (4 Mbps invés de 1 Mbps). Através desta modulação a estação em terra pode evitar interferências indesejadas, ou seja, os sinais FRUIT.

Para o sinal de resposta à interrogação do Modo S foi adotada a Modulação PPM, também substituindo a Modulação PAM.

Para que fossem permitidas as correções nas mensagens do Modo S, foi designado que o sinal modulado teria a inclusão de um bit de paridade. No entanto, a diretividade do sinal modulado foi reduzida devido ao método SLS.

Supressão de Lóbulo lateral, ou SLS – *Side Lobe Supression*.

A supressão do Lóbulo Lateral foi executada em muitos sistemas de radar, inclusive no ATCRBS, para resolver um problema comum. Este problema ocorre devido ao escapamento do sinal na antena direcional. Quando os sinais da interrogação são transmitidos com uma antena direcional, o sinal escapa freqüentemente através dos lados da antena. Estes sinais são chamados lóbulos laterais. A aeronave voando perto da antena responde aos sinais do lóbulo lateral, causando a interferência na freqüência de 1090MHz.

A solução encontrada consiste em utilizar um pulso adicional na interrogação. A interrogação, como foi visto anteriormente, é composta de apenas 2 pulsos espaçados de acordo com a interrogação. Ao enviar o pulso F1 (P1), um pulso fraco (P2) é enviado 2µs após, através da antena omnidirecional.

Ao receber a interrogação, a aeronave compara os pulsos P1 e P2 da interrogação e verifica se:

P1 > P2: Responde a interrogação normalmente

P1 <= P2: Suprimido (Desabilitado por 35ms)

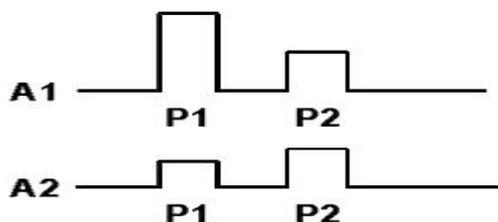


Figura 3: Diferença de recepção dos pulsos P1 e P2 determinam a distância da aeronave em relação à estação em terra

O modo S foi projetado para começar a ser enviado para a estação em terra a partir do momento que P1 for igual a P2, ou seja, o mesmo sinal que fez com que os demais modos ficassem suprimidos. Enquanto os *transponders*

ficam temporariamente suprimidos, o restante da informação do modo S pode ser transmitido, com o conhecimento de que todos os *transponders* do ATCRBS estão suprimidos e não receberão o sinal do modo S. Os dados transmitidos pelo modo S, são compostos de palavras de 56 ou 112 bits.

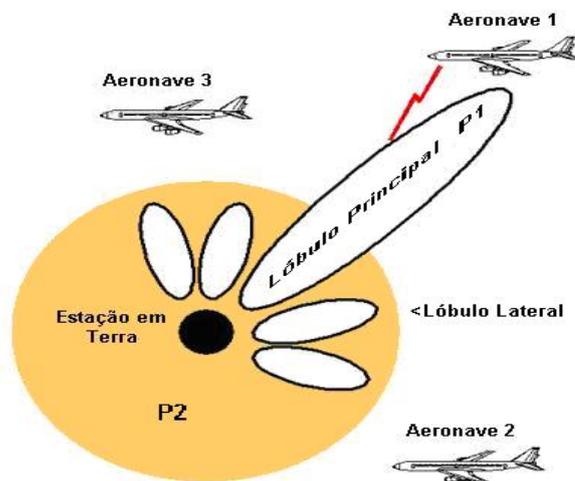


Figura 4: Demonstrativo da Varredura das Antenas com os Lóbulos Laterais Suprimidos

## Conclusão

A partir da análise dos precitados tipos de *transponder*, pode-se concluir que o de Modo S foi desenvolvido para facilitar a identificação das aeronaves no espaço aéreo. O ponto diferencial deste equipamento localiza-se justamente na utilização de módulos que permitem a atualização de acordo com a necessidade de todo o sistema de navegação. Desta forma, apresenta-se, em última instância, como primordial ferramenta para a potencialização da segurança aérea, dada a considerável redução das possibilidades de interferências no sistema de navegação

## Referências

- [1] POWELL, James – Aircraft Radio Systems; Jeppsen
- [2] WEST, Avionics [www.avionicswest.com](http://www.avionicswest.com) – último acesso em 23 de Maio de 2007.
- [3] TECHNOLOGY, Massachusetts Institute of <http://mit.edu/6.933/www/Fall2000/mode-s/index.html> - último acesso em 14-de Agosto de 2007.
- [4] TECHNOLOGY, Massachusetts Institute of <http://mit.edu/6.933/www/Fall2000/mode-s/signal.html> - último acesso em 14-de Agosto de 2007.