

Predição da Seção Reta Radar da Aeronave F-5 via Simulação Numérica

Thiago Silveira Simonetti Norberto^{1,2}, Luiz Alberto de Andrade² e Mirabel Cerqueira Rezende².

¹Departamento de Engenharia Mecânica/Universidade de Taubaté

²Divisão de Materiais/Instituto de Aeronáutica e Espaço

Resumo — Com o avanço da capacidade de processamento e do desempenho dos programas de computador disponíveis atualmente pode-se prever com grande precisão a RCS de plataformas militares, via simulação computacional. Esse procedimento torna possível prever quais superfícies refletem mais as ondas eletromagnéticas provenientes de radares. Desta forma, pode-se minimizar o tempo e os recursos necessários em todas as fases de um projeto de plataformas militares de baixa detectabilidade. Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos de simulações numéricas da Seção Reta Radar (RCS) frontal da aeronave F-5 na faixa de frequências de 1GHz a 5 GHz.

Palavras-chaves — Ondas Eletromagnéticas, Seção Reta Radar, Simulação Numérica e Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética.

I. INTRODUÇÃO

A aeronave Northrop F-5E Freedom Fighter (mais conhecido como F-5 Tiger II) é um caça tático de defesa aérea e ataque ao solo. O F-5E (versão mais potente do F-5) tornou-se um dos aviões mais operados no mundo. Testado em combate no Vietnã, é extremamente manobrável e rápido, constituindo-se em um excelente avião para combates aéreos.

O F-5E possui contra-medidas eletrônicas (ECM) e Receptor de Aviso de Radar (RWR), os quais podem ser combinados com a redução da Seção Reta Radar (RCS "Radar Cross Section"), para diminuir a distância de detecção da aeronave numa situação real de combate. Entretanto, neste trabalho será tratado apenas a predição da RCS.

Seção Reta Radar

A RCS de um objeto caracteriza as propriedades de espalhamento de uma onda eletromagnética incidente sobre o mesmo. A RCS é definida como a área que intercepta uma quantidade de energia, que quando é espalhada isotropicamente por um alvo, apresenta no receptor uma densidade de energia que é igual à densidade espalhada pelo mesmo. Para alvos tridimensionais a RCS pode ser expressa

em termos da densidade de energia incidente S , campo elétrico E e campo magnético H [1-3]. A RCS em termos do campo magnético é dada por:

$$\sigma_{3-D} = \lim_{r \rightarrow \infty} \left[4\pi r^2 \frac{|H^s|^2}{|H^i|^2} \right] (m^2) \quad (1)$$

nas quais, r é a distância do alvo ao ponto de observação, H^s e H^i são os campos elétricos espalhado e incidente, respectivamente. A Equação (1) é válida quando o alvo é iluminado por uma onda plana, a qual, na prática, é obtida apenas quando o alvo está localizado na condição de campo distante da fonte, isto é, a pelo menos $r=2D^2/\lambda$, onde D é a maior dimensão do alvo [4].

Equação Radar

A equação radar descreve a performance de um radar para um determinado conjunto de parâmetros do alvo, operacionais e ambientais. Considerando-se um radar monoestático localizado a uma distância R de um alvo, potência transmitida P_t e a diretividade, D_t , a densidade de potência incidente no alvo W_i , é dada por:

$$W_i = \frac{P_t D_t}{4\pi R^2} (W/m^2). \quad (2)$$

A RCS (σ) relaciona W_i com a potência coletada pelo alvo (P_c), ou seja, a energia que o alvo intercepta e que é devolvida ao radar.

$$P_c = \sigma W_i (W). \quad (3)$$

Observe que a unidade de RCS é o metro quadrado. Desta forma, a densidade de potência W_s espalhada de volta ao radar é:

$$W_s = \frac{P_c}{4\pi R^2} (W). \quad (4)$$

Norberto, T.S.S., simonetti.mec@gmail.com, Andrade, L. A., andrade@iae.cta.br, Tel: +55-12-33476404, Fax: +55-12-33476405; Rezende, M. C., mirabel@iae.cta.br, Tel. +55-12-39476420

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo COMAER, através do Projeto X-SP, No. B-12345/6789.

Se a área efetiva da antena de recepção for A_{er} , a potência de recepção (P_r) é dada por:

$$P_r = \frac{P_t D_t \sigma A_{er}}{(4\pi R^2)^2} (W). \quad (5)$$

Finalmente, utilizando a relação entre diretividade e área efetiva para a antena de recepção, tem-se:

$$D_r = \frac{4\pi A_{er}}{\lambda^2} (W), \quad (6)$$

onde: λ é o comprimento de onda.

E, a expressão para a potência recebida fica reduzida a:

$$P_r = \frac{P_t D_t D_r \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} (W). \quad (7)$$

Em (7), o efeito das perdas não foi considerado. Incurrerão perdas nas linhas de transmissão e nos dispositivos dentro do sistema radar, assim como no caminho entre a antena e o alvo. As perdas em decorrência da antena podem ser incluídas pela substituição da diretividade da antena pelo seu ganho. Um único fator de perda “ L ” é freqüentemente adicionado à equação, de modo a considerar a absorção do sinal recebido, devido às demais perdas. Sendo assim, quando as perdas são consideradas, (7) torna-se:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 L} (W) \quad (8)$$

Na prática, sempre há sinais sendo recebidos, mesmo na ausência de um alvo. Isto se deve ao fato de existir outras fontes de sinal como os retornos de solo e o ruído gerado no ambiente e no receptor. A maioria dos radares utiliza um ponto de corte para a detecção, que nada mais é do que um valor de P_r acima do qual um alvo é considerado existente. Quando o sinal recebido está abaixo do ponto de corte é considerado ruído e então nenhuma detecção é assinalada. Considerando-se que a potência recebida é a mínima detectável (P_{min}), tem-se o alcance máximo de detecção R_{max} , sendo $G = G_t = G_r$ (radar monoestático) e obtém-se a equação radar em função da distância de detecção R máxima:

$$R_{max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{min} L} \right]^{\frac{1}{4}} (m), \quad (9)$$

nas quais: P_{min} é a potência recebida pelo radar, P_t é a potência transmitida no radar, G é o ganho da antena, λ é o comprimento de onda de operação do radar, σ é a seção transversal do radar e R é a distância do radar até o alvo.

Analisando-se a Equação (9) observa-se que a RCS de um alvo deve ser diminuída 16 vezes para que a distância de detecção R caia pela metade. Tal fato pode ser melhor observado na Fig. 1.

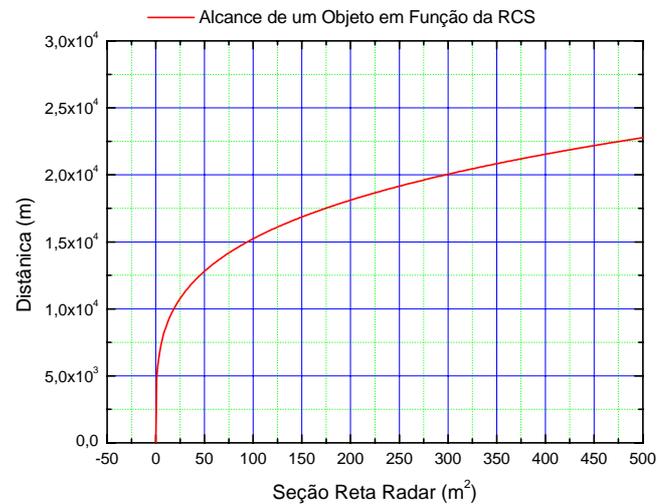


Fig. 1. Distância de detecção de um objeto em função da RCS.

É importante destacar que dentre as variáveis que compõem (8), a única que pode ser manipulada é a RCS, uma vez que todos os demais parâmetros são inerentes ao radar que está rastreando a presença de possíveis inimigos ou monitorando o ambiente.

II. PREDIÇÃO DA SEÇÃO RETA RADAR

A predição da RCS neste trabalho foi realizada através de simulações numéricas com o Software “Computer Simulation Technology” (CST). O Software CST funciona da seguinte forma: importa-se um desenho 3-D desenvolvido *a priori*, o qual é discretizado numa malha de dimensões de $0,1\lambda$. Em cada elemento de malha é aplicada a condição de contorno do problema, em seguida todas as contribuições são somadas para se obter a solução do problema que se deseja resolver. A precisão e a confiabilidade das simulações dependem diretamente da qualidade e fidelidade dos desenhos tridimensionais utilizados nas mesmas.

A Fig. 2 mostra um desenho da aeronave F-5.

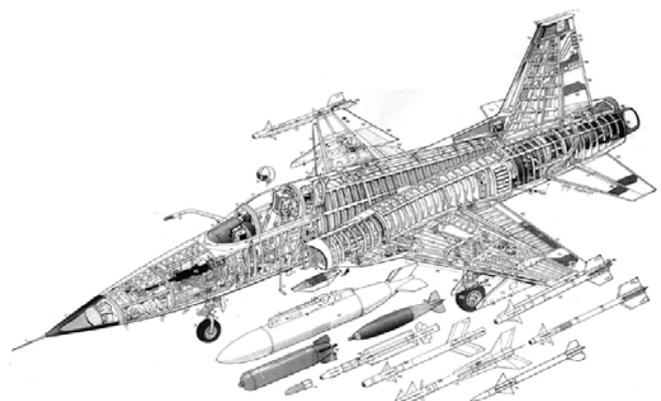


Fig. 2. Desenho detalhado da aeronave F-5 mostrando aparelhagens e armamento.

A Fig. 3 mostra um desenho da aeronave F-5 com as vistas rebatidas.

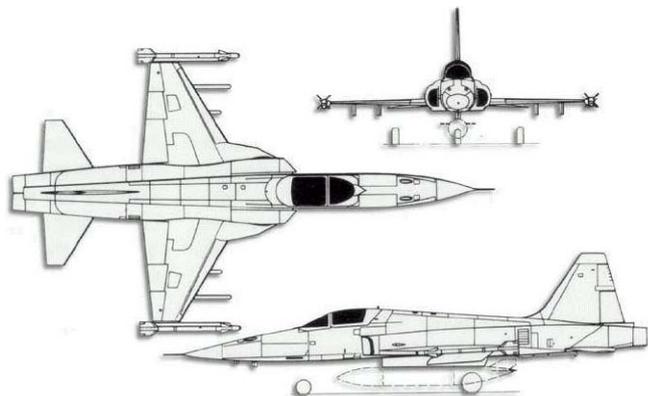


Fig. 3. Vistas rebatidas da aeronave F-5.

A partir dos desenhos mostrados nas Fig. 2 e 3 e observações *in lócus* da aeronave F-5 foi gerado um desenho tridimensional da mesma. Na elaboração do desenho foram utilizados os softwares: AUTOCAD; “Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application” (CATIA) e RHINOCEROS, todos esses disponíveis no Laboratório de Física Computacional e Análise Eletromagnética (LFCAE) da AMR/IAE.

A Fig. 4 mostra um desenho 3-D da aeronave F-5, utilizado nas simulações de RCS.

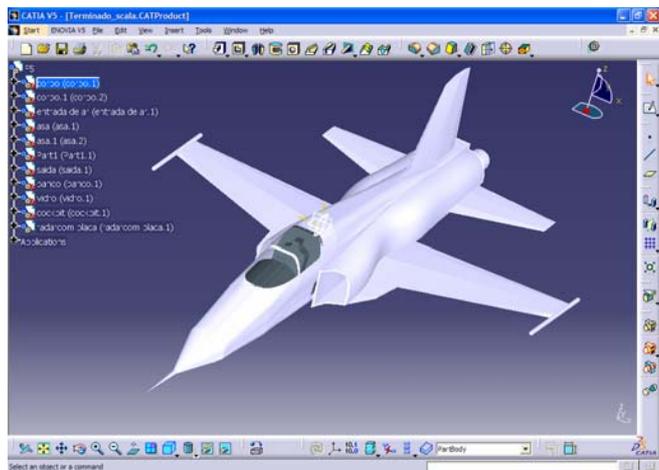


Fig.4. Desenho tridimensional da aeronave F-5 desenvolvido no LFCAE.

Visando descaracterizar a RCS frontal da aeronave F-5, pois a mesma encontra-se em operação, e também facilitar as simulações, o Canopi e o Radome foram considerados como uma superfície metálica. A Fig. 5 mostra o desenho tridimensional alterado.

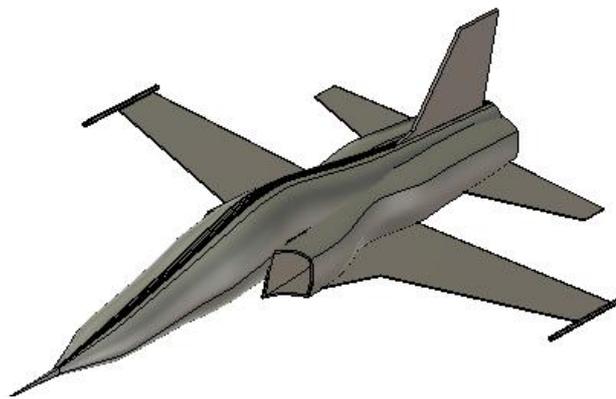


Fig.5. Desenho tridimensional descaracterizado e refinado da aeronave F-5.

III. RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizadas simulações nas frequências de 1-5GHz, com um passo de 1 GHz. A Fig. 6 mostra uma etapa da simulação, na qual a aeronave F-5 está sendo irradiada com uma onda plana.

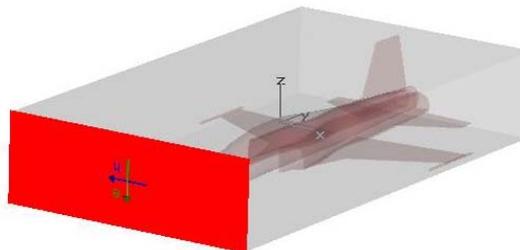


Fig.6. Aeronave F-5 sendo irradiada frontalmente por uma onda plana (plano vermelho).

A Fig. 7 mostra a aeronave F-5 malhada na frequência de 5 GHz.

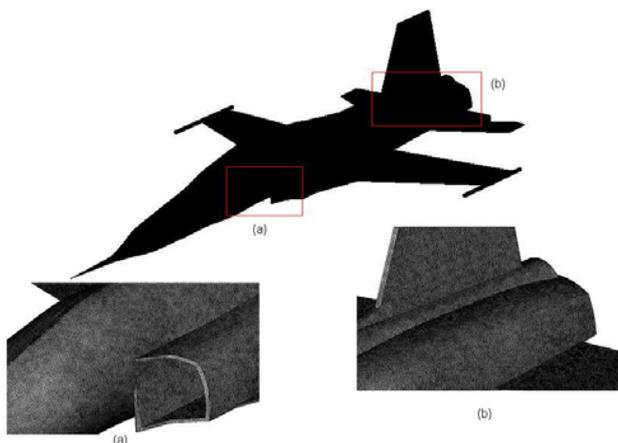


Fig.7. Malha gerada pelo software CST para a aeronave F-5 em 5 GHz.

A Fig. 8 mostra os resultados obtidos em coordenadas polares, para a RCS frontal da aeronave F-5 descaracterizada, via simulações numéricas na faixa de frequências de 1 a 5 GHz.

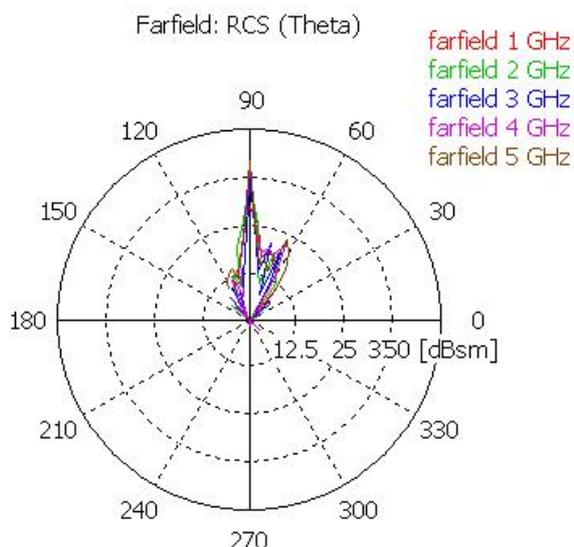


Fig.8. Resultados obtidos para a RCS frontal da aeronave F-5 descaracterizada na faixa de frequências de 1 a 5 GHz.

A Fig. 9 mostra os resultados obtidos em coordenadas cartesianas para a RCS frontal da aeronave F-5 descaracterizada, via simulações numéricas, na faixa de frequências de 1 a 5 GHz.

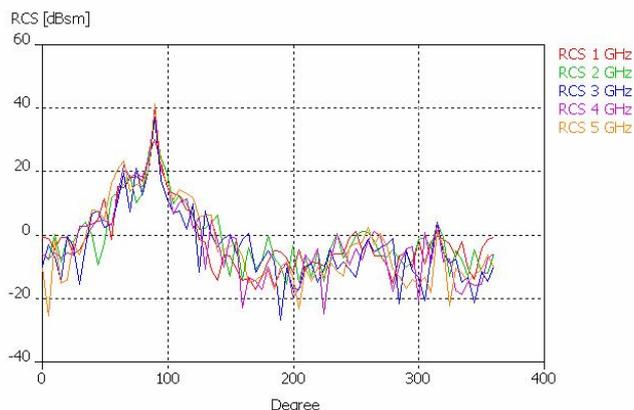


Fig.9. Resultados obtidos para a RCS frontal da aeronave F-5 descaracterizada, na faixa de frequências de 1 a 5 GHz.

A Fig. 10 mostra como uma onda eletromagnética se espalha quando a mesma é incidida sobre a superfície frontal da aeronave F-5.

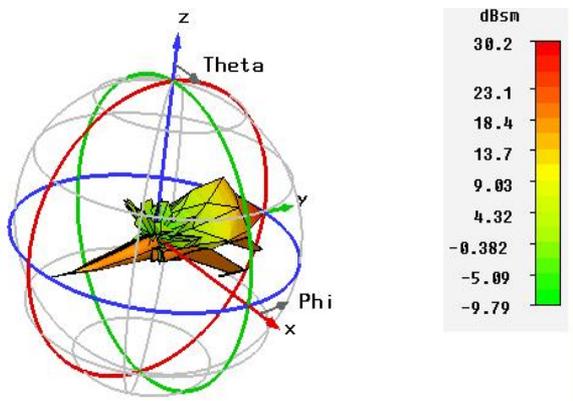


Fig.10. Simulação do espalhamento de uma onda eletromagnética sob incidência frontal na aeronave F-5.

As Figs. 11 e 12 mostram, respectivamente, o campo magnético re-irradiado, devido à corrente de deslocamento sobre a superfície da aeronave F-5 nas frequências de 1 e 5 GHz.

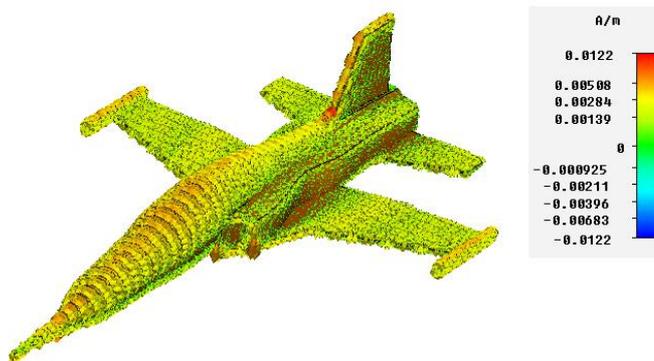


Fig.11. Espalhamento das ondas sobre a superfície para 1 GHz,

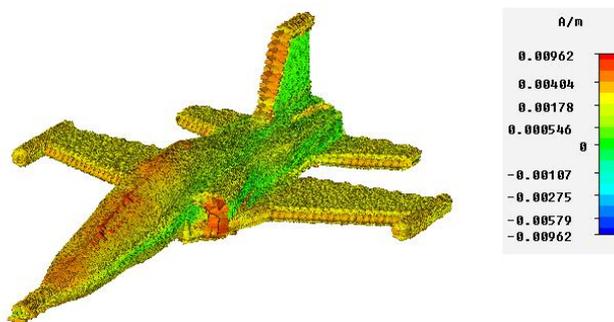


Fig.12. Espalhamento das ondas sobre a superfície para 5 GHz,

A Tabela 1 mostra uma comparação entre o tempo de geração da malha, número de elementos gerados e tempo de simulação em função da frequência.

TABELA 1: Comparação entre as frequências

Frequências	Tempo para a geração de malha	Número de elementos	Tempo de Simulação
1 GHz	3 min e 11 s	32.678	6 h 32min 35 s
2 GHz	4 min e 11 s	87.758	159 h 32min 19 s
3 GHz	6 min e 11 s	226.074	
4 GHz	8 min e 11 s	421.628	61 h 15min 18 s
5 GHz	12 min e 11 s	647.154	

IV-CONCLUSÕES

O software CST não fornece diretamente os pontos brilhantes da RCS sobre a superfície do objeto, mas sim os pontos brilhantes do campo magnético re-irradiado, devido à corrente de deslocamento sobre a superfície do objeto. Analisando-se (1), tem-se que determinar a RCS consiste basicamente em calcular o campo espalhado, pois o campo incidente é conhecido. Desta forma, pode se obter a RCS diretamente a partir do campo magnético re-irradiado.

Os resultados das simulações podem ser utilizados em estudo da redução da RCS por meio da aplicação de Material Absorvedor de Radiação Eletromagnética (MARE) sobre as superfícies refletoras de radiação eletromagnética. Também podem ser utilizados em estudos da redução da distância de detecção da aeronave utilizando a combinação de medidas de ataque eletrônico (MAE) com redução de RCS.

AGRADECIMENTOS

À Divisão de Materiais AMR, pela cessão de sua infraestrutura para a realização deste trabalho, à equipe do Projeto MARE com quem compartilho os mesmos objetivos e ao CNPq/PIBIQ pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, M. A., ANDRADE, L. A., Rezende, M. C. **Influência da discretização de modelos em simulações de seção reta radar**. In: VIII Simpósio de Guerra Eletrônica, 2006, São José dos Campos/SP. Anais do VIII Simpósio de Guerra Eletrônica, 2006. V. 1. p. 1-4.
- [2] Andrade, L. A., et al. "Backscattering Analysis of Flat Plate and Dihedral Corner Reflectors using P.O. and Comparison with RCS Measurements in Anechoic Chamber" IEEE, Vol. 2, pag. 719-724, USA, 2003.
- [3] Balanis, C. A. **Advanced Engineering Eletromagnetics**. New York, John Wiley Sons, 1997
- [4] Knott, E.F; J.F. Schaeffer and M.T. Tuley; "Radar Cross Section", 2ª edition, Artech House Inc., USA, 1993W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [5] W. G. Gordon , Far-field Approximation to the Kirchhoff-Helmholtz Representations of Scattered Fields, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 23, pp. 590–592, July 1975.