

Assinatura Radar na Educação Continuada do Oficial de Guerra Eletrônica

Alexandre Camacho Coelho

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, CEP 12228-900, São José dos Campos - São Paulo - Brasil.

Resumo — O Oficial de Guerra Eletrônica (OGE) de uma Unidade Operacional é o elemento responsável pelo planejamento das atividades de Guerra Eletrônica no âmbito do Esquadrão. Sua educação continuada se inicia no Curso de Formação de Oficiais (CFO), e se estende no Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica (CDGE) realizado no Grupo de Instrução Tática e Especializada (GITE) e no Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE) realizado no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Este artigo destaca a importância do conhecimento da Assinatura Radar para o trabalho do OGE e apresenta os esforços realizados no ITA para melhorar a qualidade do ensino e da pesquisa nesta área.

Palavras-Chave — Guerra Eletrônica, Assinatura Radar Educação Continuada.

I. INTRODUÇÃO

A Força Aérea necessita de combatentes profissionais com conhecimento e habilidade no emprego da ciência e tecnologia para que possa realizar suas atividades com eficiência e eficácia, e desta forma, cumprir sua missão. Estes combatentes devem ser educados de forma continuada em suas carreiras, para que atendam as demandas nos vários níveis de exigência das atividades combativas.

Um percentual destes combatentes será designado para funções que exigem formação técnica especializada na área de Guerra Eletrônica. Serão os operadores dos sistemas de sensoriamento e de armas.

Dentro do conceito de Educação Continuada para a área de Guerra Eletrônica, a Unidade Operativa deverá colocar a disposição do combatente, além do curso específico para a operação do sistema de interesse, o Curso Doutrinário de Guerra Eletrônica – CDGE (até 2010, a denominação era Curso Operacional de Guerra Eletrônica – COGE) oferecido pelo Comando Geral de Operações Aéreas (COMGAR) e realizado no GITE, em Natal/RN.

As Unidades Operacionais possuem também um elemento designado para servir de elo com o Sistema de Guerra Eletrônica da Aeronáutica (SIGEA). Este é o Oficial de Guerra Eletrônica (OGE). O perfil de atuação deste oficial inclui a geração de requisitos, o recebimento de equipamentos e sistemas e o desenvolvimento de formas adequadas de operação. Ele pode também auxiliar no planejamento e condução de Avaliações Operacionais (AVAOP) e atuar como instrutor de GE.

A incorporação de aeronaves e equipamentos novos e modernos pela Força Aérea enseja que o OGE da Unidade Aérea (UAE) esteja adequadamente capacitado para sua função. Para atender mais este degrau no processo de

Educação Continuada em GE, o COMGAR solicitou ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) que criasse um curso de pós-graduação Lato Sensu que pudesse atender esta demanda. Criou-se então, em 1998, o Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE) [1].

II. CEAAE

Muitos são os desafios diários do OGE, e para enfrentá-los deverá ser capaz de ir além da análise qualitativa dos fenômenos envolvidos na operação das plataformas, sistemas e equipamentos.

O CEAAE o ajudará neste objetivo, capacitando-o para o exercício de atividades de análise, síntese, avaliação, pesquisa e desenvolvimento de concepções, métodos, modelos, conceitos táticos, procedimentos e tecnologias, todas relacionadas com aplicações operacionais.

O currículo do CEAAE é continuamente atualizado visando formar o combatente de Guerra Eletrônica para a Unidade Aérea, sendo composto atualmente das seguintes disciplinas:

- Probabilidade e Variáveis Aleatórias;
- Princípios de Telecomunicações;
- Comunicação Digital;
- Fundamentos de Fotônica;
- Fundamentos de Microondas;
- Antenas e Propagação;
- Processamento Radar;
- Laboratório de Radar;
- Tópicos em Análise de Ambiente Eletromagnético;
- Engenharia de Sistemas;
- Introdução a Avaliação Operacional; e
- Trabalho de Conclusão de Curso.

Uma parcela significativa da carga horária do CEAAE é destinada as práticas em laboratório. O tamanho reduzido das turmas e a qualidade da estrutura de laboratórios do ITA, em especial de seu Laboratório de Guerra Eletrônica (LAB-GE), reforçam o caráter aplicado do Curso.

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é um diferencial do CEAAE, onde o candidato a Especialista em Análise de Ambiente Eletromagnético terá a oportunidade de desenvolver suas habilidades trabalhando em um tema técnico de interesse operacional, como por exemplo:

- Metodologia de Avaliação Operacional;
- Enlaces de Dados Táticos;
- Sistemas Eletro-ópticos;
- Modelos de Propagação;
- Modelos Estatísticos para Análise de Sinais;
- Simulação Radar

- Simulação de Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica (MAGE);
- Simulação de Medidas de Ataque Eletrônico (MAE);
- Simulação de Medidas de Proteção Eletrônica (MPE);
- Predição e Medição de Assinatura Infravermelha;
- Predição e Medição de Assinatura Acústica;
- Predição e Medição de Assinatura Magnética;
- Predição e Medição de Seção Reta Radar (RCS); e
- Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR).

Observamos que o estudo da assinatura de alvos militares em cada um dos seus vários domínios é tarefa de interesse para as aplicações operacionais.

No CEAAE, os estudos da assinatura infravermelha e da assinatura radar já estão bastante difundidos, enquanto a assinatura acústica e a assinatura magnética são temas ainda incipientes, apesar de possuírem bom potencial de crescimento em virtude da incorporação da aeronave P-3AM na Aviação de Patrulha da Força Aérea Brasileira.

O ensino de assinatura acústica e da assinatura infravermelha foi iniciado, no CEAAE, com a inclusão de seminários destes temas na disciplina de Tópicos em Análise de Ambiente Eletromagnético.

A inclusão do ensino de assinatura magnética se encontra em fase de planejamento. Há a expectativa do emprego do software COMSOL para o modelamento e predição de assinatura magnética [2] e equipagem do laboratório para experimentos de medida de assinatura magnética (Fig. 1).

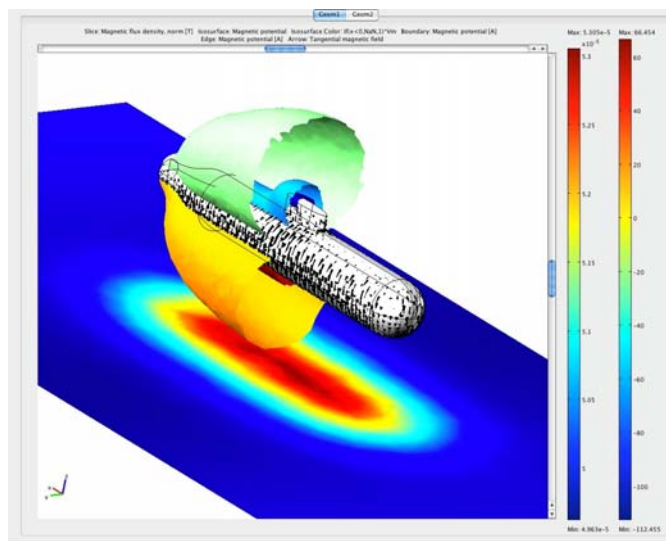


Fig. 1. Predição de Assinatura Magnética.

Para o ensino da assinatura radar, o CEAAE dispõe da disciplina de Processamento Radar e da disciplina de Laboratório de Radar. Enquanto a disciplina de Processamento Radar existe desde a implantação do CEAAE, em 1998, a disciplina de Laboratório de Radar foi implantada a partir de 2006 com o emprego do Sistema de Treinamento Radar fabricado pela empresa canadense Lab-Volt®.

Com o emprego deste sistema é possível realizar medidas de RCS de alvos em escala e gerar imagens ISAR bidimensionais (Fig. 2). Para a turma de 2011 do CEAAE, a ementa da disciplina de Laboratório de Radar foi

reestruturada visando incorporar as técnicas de medição e predição de RCS assimiladas através de projeto de compensação comercial (offset) da aeronave C-105 da EADS/CASA.

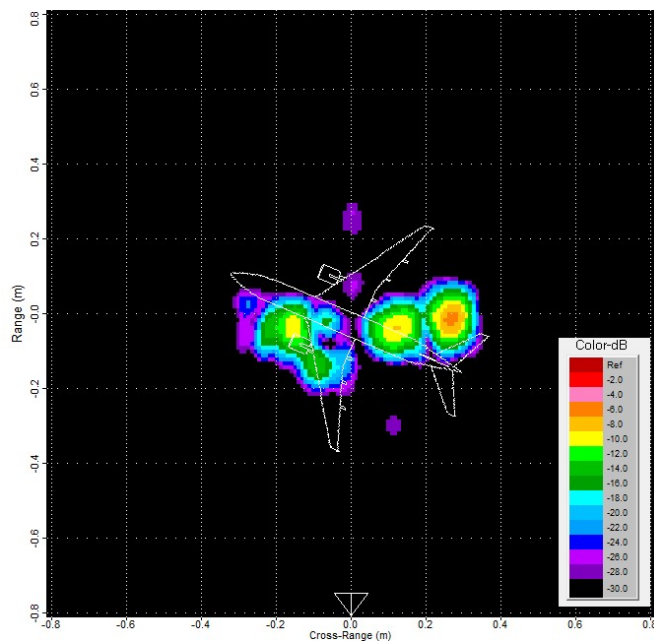


Fig. 2. Imagem 2D-ISAR.

III. ASSINATURA RADAR

O principal parâmetro empregado para a caracterização da assinatura radar de um alvo é a sua Seção Reta Radar (*Radar Cross Section – RCS*). A RCS é definida como a medida da refletividade de um alvo radar, normalmente representada pelo símbolo σ e medida em metros quadrados [3].

Os dois casos principais são:

- a) RCS Monoestática ou Retroespalhamento, quando a direção de incidência e de reflexão são coincidentes, mas opostas no sentido; e
- b) RCS Biestática, quando a direção de reflexão analisada é diferente da direção de incidência.

Se não for especificado a priori, a RCS é geralmente entendida como sendo a monoestática. De qualquer maneira, a RCS de um alvo depende basicamente da frequência de transmissão, da polarização da transmissão e da recepção e do ângulo de aspecto (a esfera é a exceção).

A aplicação do conhecimento da assinatura radar das plataformas amigas e inimigas é essencial em várias situações, das quais destacamos:

- a) no desenvolvimento de táticas de combate aéreo;
- b) na programação dos sistemas de autodefesa;
- c) no planejamento das missões de Supressão de Defesa Aérea Inimiga (SDAI); e
- d) na geração das bibliotecas de missão (identificação de alvos radar não cooperativos).

O Especialista em Análise de Ambiente Eletromagnético (Guerra Eletrônica) deve estar preparado para colaborar com este processo de evolução conceitual e operativa. Para

acompanhar esta demanda, o currículo do CEAAE foi atualizado, em especial a disciplina de Laboratório de Radar.

IV. LABORATÓRIO DE RADAR NO CEAAE

O currículo do CEAAE tem procurado, desde sua origem, atingir o equilíbrio entre o rigor conceitual obtido através do ensino teórico em sala-de-aula, e o desenvolvimento de habilidades obtido através do ensino prático em laboratório.

Inicialmente, o CEAAE carecia de uma estrutura própria, com sala-de-aula e laboratórios, mas mesmo assim, obteve resultados significativos, tanto pela qualidade dos recursos humanos formados, quanto pela qualidade e utilidade dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) produzidos (até 2008 a denominação empregada era Trabalho Individual – TI).

Já na primeira turma, formada em 1999, destacavam-se trabalhos que exploravam a questão das várias assinaturas dos alvos militares, tanto no domínio visual, quanto no Radar. No trabalho intitulado “Detecção de Alvos em Imagens de Radar de Abertura Sintética” temos os primeiros esforços no sentido de detectar alvos em imagens SAR [4].

Em 2001, juntamente com a inauguração do Laboratório de Guerra Eletrônica do ITA (LABGE), foi retomado o tema do Processamento SAR com o TI intitulado “Detecção de Alvos Estratégicos pelo Radar de Abertura Sintética”, onde foi dada continuidade nos esforços de identificação de alvos estratégicos através do Radar[5].

Neste mesmo ano, outro trabalho singular iniciava uma jornada de sucesso no domínio da Assinatura no Infravermelho (IR). Durante o trabalho intitulado “Proposta de Procedimento para a Medida do Envelope Infravermelho de Aeronaves” foram obtidos resultados vitais para a reavaliação dos procedimentos de emprego e evasão contra mísseis IR pela Força Aérea[6].

Em ambos os domínios, Radar e Infravermelho, novos trabalhos se seguiram ampliando a base de conhecimento ao alcance do setor operacional. No aspecto educacional, novos sistemas e equipamentos foram adquiridos para mobiliar os laboratórios componentes do LABGE do ITA. Para o laboratório de radar foi adquirido o Radar Training System da empresa canadense Lab-Volt®. Este laboratório também recebeu grande reforço com o Emulador de Ameaças Radar TS-100+ (Fig. 3) da empresa, também canadense, Excalibur.

Alguns componentes do Sistema de Treinamento adquirido da Lab-Volt® sofreram uma retenção inicial no seu envio ao Brasil, tendo sido necessário assegurar que estes módulos seriam empregados exclusivamente em atividades de ensino: a antena de varredura eletrônica; o Pod Interferidor Radar; e o Sistema de Medida de RCS e Imageamento ISAR.

Uma vez disponível o sistema completo, foi possível incorporar ao currículo do CEAAE, a partir de 2006, a disciplina Laboratório de Radar. A ementa desta disciplina incorporava tópicos avançados nas práticas em radar, complementando a instrução realizada no GITE e reforçando o caráter de Educação Continuada que a combinação COGE e CEAAE representava.

No Laboratório de Radar do COGE eram realizadas demonstrações experimentais nos tópicos:

- Fundamentos de Radar;
- Processamento Analógico dos sinais de Radar; e
- Radar de Rastreamento Contínuo.

A disciplina Laboratório de Radar do CEAAE, por sua vez, permitia que os alunos realizassem experimentos avançados nos tópicos mencionados anteriormente e também em:

- Instrumentação Eletrônica para análise de sinais de Radar;
- Processamento Digital dos sinais de Radar;
- Bloqueio Eletrônico de radares;
- Despistamento Eletrônico de Radares;
- Medidas de RCS; e
- Geração de imagens ISAR.



Fig. 3. Aula de Análise de Sinais Radar com o TS100+.

A formação de massa crítica de Especialistas em Análise de Ambiente Eletromagnético (GE) começou a dar frutos. Novas concepções de emprego foram criadas e seus resultados se fizeram presentes nas operações e manobras (atividades de preparo da Força Aérea). Estimulados pelos resultados observados, novos investimentos foram feitos nos LABGE do GITE e do ITA.

O GITE recebeu um novo processador radar e antena de varredura eletrônica para o Sistema de Treinamento Radar e um conjunto de Guerra Eletrônica, com Pod Interferidor e acessórios de Tecnologia Furtiva (Fig. 4). Com estas novas aquisições, em 2011 o GITE pode rever o Plano de Unidades Didáticas (PUD) do CDGE e incluir demonstrações sobre bloqueio, despistamento e radar de varredura eletrônica.

No ITA, foi realizada melhoria no controle ambiental com a incorporação de uma câmara aberta no Laboratório de Radar, onde foi realizada a aplicação de Material Absorvedor de Radiação (MARE). A nova estrutura foi projetada visando reduzir o *background* devido às reflexões nas paredes, mas sem prejudicar a dinâmica necessária ao emprego do espaço nos experimentos de GE com os alunos (Fig. 5).

Uma solução de compromisso foi encontrada, de tal maneira que, atividades de pesquisa que exigissem maior rigor na zona de silêncio poderiam ser realizadas com o apoio

dos demais Institutos do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA).

Novas técnicas de medição e previsão de RCS foram incorporadas pelo corpo docente através de projeto de *offset* (compensação comercial). Isto permitiu que a ementa da Disciplina de Laboratório de Radar fosse reestruturada. Para a turma de 2011, passou a contar com as seguintes unidades didáticas:

- Instrumentação Eletrônica;
- Inteligência Eletrônica;
- Síntese Radar;
- Ataque Eletrônico; e
- Assinatura Radar.



Fig. 4. Ensino de Bloqueio Eletrônico de Radares no GITE.

Destas, destaca-se a unidade didática “Assinatura Radar”, que passou a contar com a seguinte ementa: Métodos de Eletromagnetismo Computacional (CEM); Modelagem CAD de alvos complexos; Previsão de RCS; Geração de HRRP e imagens ISAR; Medidas de RCS; Identificação de Alvos Não-Cooperativos; e Redução de Assinatura Radar.



Fig. 5 . Câmara Aberta com aplicação de MARE.

Esta unidade didática possui carga horária de 28 horas/aula, e tem por objetivo prover os Especialistas em Análise de Ambiente Eletromagnético com ferramentas para atender as demandas das funções de OGE no que tange a Assinatura Radar.

O tópico “Métodos de Eletromagnetismo Computacional (CEM)” aborda a importância do emprego de métodos numéricos para resolver problemas eletromagnéticos. Faz a distinção entre os tipos de problemas de eletromagnetismo que podem ser abordados através dos métodos CEM, bem como as motivações para o seu emprego. Apresenta a divisão dos métodos CEM em rigorosos e assintóticos; e destaca as vantagens e desvantagens de cada método.

A criação de um modelo em CAD do alvo a ser simulado (Fig. 6) é tarefa comum a todos estes métodos. Tem-se, então o tópico “Modelagem CAD de alvos complexos”, onde o aluno aprende a realizar o modelamento em CAD dos alvos antes de simular no software de previsão. A combinação entre conhecimentos teóricos e a prática com o software de modelagem CAD (nesta disciplina emprega-se o Rhinoceros) permite que o aluno compreenda o grau de complexidade e o tempo necessário para adaptar o modelo CAD para um modelo apto a ser analisado pelo software de previsão de RCS.

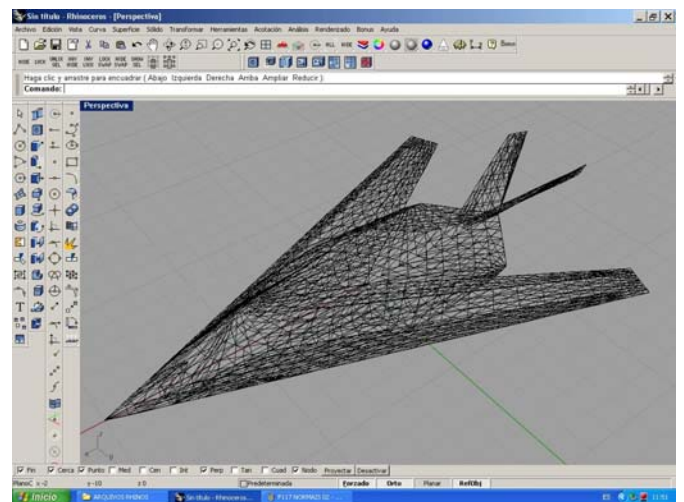


Fig. 6. Modelo CAD adaptado para simulação de RCS.

Uma vez de posse de um modelo válido do alvo de interesse, o aluno passa à simulação propriamente dita. No tópico “Previsão de RCS” o aluno deve entender as limitações e as vantagens do software de previsão de RCS empregado; conhecer os seus parâmetros de entrada; compreender a interdependência entre o processo de previsão de RCS e a concepção do modelo CAD; e as possíveis aplicações dos resultados obtidos através do processo de previsão de RCS (Tecnologia Furtiva e Identificação Radar de Alvos Não-Cooperativos).

Nesta fase, o aluno emprega o software POGCROS - Physical Optic/Geometrical Optics Code for Radar Cross Section Computation (Fig. 7) para realizar simulações de modelos CAD desenvolvidos com o software Rhinoceros.

O próximo tópico abordado é “Geração de HRRP e imagens ISAR”. Nele o aluno passa a conhecer os conceitos de HRRP e ISAR, bem como seu significado físico. O aluno aprende a gerar os HRRP e as imagens ISAR; a fazer a correspondência entre as partes dos HRRPs e imagens ISAR geradas com as partes do alvo simulado; bem como passa a identificar as aplicações destes resultados.

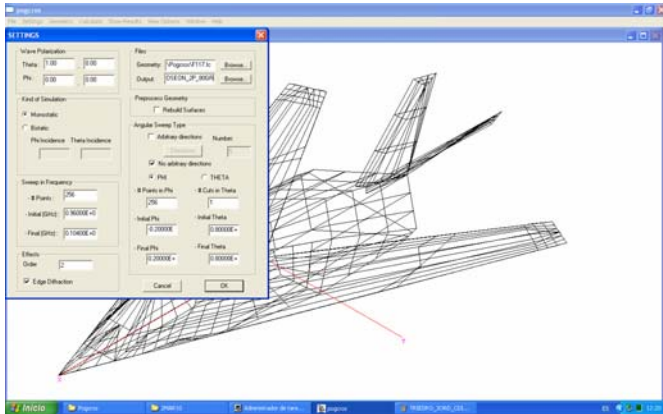


Fig. 7. Uso do software POGCROS para simular modelo CAD.

A análise da Assinatura Radar não se restringe apenas a predição de RCS através de softwares de simulação numérica. Há a necessidade de prover o futuro Especialista com conhecimentos sobre “Medidas de RCS”. Nesta fase da unidade didática, o aluno deve conhecer a necessidade e aplicações que demandam medidas de RCS; os tipos de instalações possíveis e quais são as mais adequadas dependendo do objetivo do estudo desejado, levando em conta as limitações, custo e vantagens de cada uma; as técnicas básicas como *background subtraction* e o Janelamento no tempo para melhorar a medida de RCS; e também as técnicas de medida de materiais absorvedores e a determinação das propriedades dielétricas dos materiais.

A partir dos resultados obtidos de medidas e predição, o aluno poderá aplicar os conhecimentos anteriormente obtidos na “Identificação de Alvos Não-Cooperativos”. Neste tópico, o aluno passa a conhecer o processo de identificação de alvos não-cooperativos e a enquadrar os diferentes conhecimentos obtidos nos tópicos anteriores dentro do processo de identificação de alvos não-cooperativos.

O tópico final desta unidade didática e da disciplina “Laboratório de Radar” é “Redução de Assinatura Radar”. Nele, o aluno deve conhecer as técnicas de *shaping* e de utilização de MARE; as ordens de magnitude obtidas na redução da RCS em cada caso; bem como as possíveis desvantagens de cada técnica. O aluno deve compreender a necessidade do requisito de assinatura radar no projeto de aviões militares e porque tal requisito deve ser contemplado desde o início do projeto de uma nova aeronave. E, finalmente, o aluno deve ser capaz de relacionar os conceitos descritos anteriormente (como predição de RCS e medida de materiais MARE) como parte de um processo de redução da assinatura radar.

V. CONCLUSÕES

A Guerra Eletrônica como atividade sistêmica de uma Força Aérea demanda profissionais preparados nos vários níveis de formação. Planejar a formação destes profissionais para atender as demandas de um teatro de operações moderno deve levar em conta a implementação de uma Educação Continuada.

O conhecimento, como ferramenta que possibilita o individuo romper paradigmas e enxergar de forma plena as variáveis que atuam no seu dia-a-dia de combatente em um mundo complexo e tecnológico, é a chave para o sucesso de uma Força Aérea em todos os níveis.

Muitas são as demandas de conhecimento que o OGE das Unidades Aéreas deve buscar para ser eficiente e eficaz em suas funções e, assim, cumprir sua missão. O conhecimento acerca da assinatura de plataformas e sistemas nos seus vários domínios possíveis é parte significativa deste conjunto. A Assinatura Radar é uma das mais exploradas e relevantes.

O planejamento da Educação Continuada dos OGEs não poderia deixar de levar em conta esta área do conhecimento, e a Força Aérea Brasileira tem investido continuamente neste processo. Os frutos podem ser observados pela capacidade e profissionalismo de nossos Especialistas em Análise de Ambiente Eletromagnético e pelos resultados obtidos através dos seus trabalhos.

REFERÊNCIAS

- [1] MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA, “Portaria N 304/GM3”, [sl:sn], Brasília, maio, 1998.
- [2] COMSOL, “Magnetic Signature of a Submarine”, disponível em: <http://www.comsol.com/showroom/downloadfile/model/291/version/comsol42/file/models.acdc.submarine.pdf>. acesso em: 10 jul. 2011.
- [3] IEEE “Standard Definitions of Terms, Antenna Standards Committee of the IEEE Antennas and Propagation Society”, IEEE Sed 145-1993, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 345 E. 47th Street, New York, NY
- [4] JUNIOR, F. M., “Detecção de alvos em imagens de Radar de Abertura Sintética”, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1999.
- [5] SALLES, A. A. R., “Detecção de Alvos Estratégicos pelo Radar de Abertura Sintética”, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2001.
- [6] SANTOS, R. A. T., “Proposta de Procedimento para a Medida do Envelope Infravermelho de Aeronaves”, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2001.