

# Utilização do SAR R-99 para busca marítima: metodologias e possibilidades de emprego

Breno Ricardo de Araújo Leite<sup>1</sup>; Mateus Habermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação (2º/6º GAV) - Caixa Postal 811 - 75001-970 - Anápolis - GO

<sup>2</sup>Instituto de Estudos Avançados (IEAV) - Rodovia Tamoios, s/nº - 12228-001 - São José dos Campos - SP

**Resumo** — O Radar de Abertura Sintética da aeronave R-99 (SAR R-99) foi projetado com finalidades, prioritariamente, de mapeamentos em proveito do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM). Entretanto, em junho de 2009, o equipamento foi utilizado, pela primeira vez, em uma missão de busca marítima, para a localização dos destroços de uma aeronave da empresa Air France, no voo de número 447 (AF 447). Essa utilização inédita trouxe muitas lições aprendidas para os tripulantes, principalmente em relação às limitações e capacidades do sensor, mas muito pouco desse conhecimento encontra-se normatizado e descrito nos manuais de busca. Esse artigo tem como proposta apresentar um breve resumo da participação do R-99 na missão do AF 447, analisar as possibilidades de emprego do SAR em busca marítima e propor alguns métodos de utilização nesse cenário. Apesar do foco estar centrado no SAR R-99, as considerações finais são aplicáveis a qualquer aeronave dotada de SAR.

**Palavras-Chave** — Radar de Abertura Sintética, aeronaves acidentadas no mar, busca e salvamento.

## I. INTRODUÇÃO

O mês de junho de 2009 tornou-se um marco para o Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (SISSAR), pois na madrugada do dia 1º, o fatídico voo da empresa Air France, de número 447 (AF 447), que havia decolado do Rio de Janeiro para Paris, com 216 passageiros e doze tripulantes a bordo do Airbus A330, caiu no Oceano Atlântico, próximo ao arquipélago de São Pedro e São Paulo [1]. Teve início nesse momento a maior missão de busca já realizada pela Força Aérea Brasileira (FAB).

A operação, que durou 26 dias, teve o envolvimento direto de quatorze aeronaves brasileiras, que voaram mais de 1300 horas e contou também com o apoio de aviões da França, dos EUA e da Espanha. O resultado final foi o resgate de 50 corpos e mais de 600 partes e componentes estruturais do Airbus, além de bagagens diversas.

Na percepção da Aviação de Reconhecimento, entretanto, o fato mais marcante de toda a missão foi a utilização, pela primeira vez, da aeronave R-99 e seu Radar de Abertura Sintética (SAR R-99), que atuou diretamente na localização dos destroços [2].

Embora o SAR R-99 possua uma diversidade de modos de operação disponíveis, todos desenvolvidos e integrados à gama de missões da aeronave, nunca se havia imaginado utilizar o sensor num cenário de busca marítima, inclusive tal emprego sequer foi planejado por seu fabricante e não havia metodologia nem bibliografia específica para esse fim [3].

Apesar dessas circunstâncias, a tripulação apoiou-se nos conhecimentos sobre Sensoriamento Remoto para elaborar uma estratégia, alterando os filtros convencionais do radar, na esperança de encontrar algum sinal do sinistro. A tentativa foi bem sucedida, pois já na primeira decolagem do R-99 os operadores identificaram alguns indícios dos destroços [4].

Nos dias seguintes, até o encerramento oficial das buscas, a aeronave permaneceu em Fernando de Noronha, prosseguindo na missão de localizar os destroços e realizar diversos testes no SAR, para otimizar sua eficácia.

Entretanto, as tripulações enfrentaram muitas dificuldades para desempenharem bem suas funções, principalmente pela falta de entendimento com os órgãos de coordenação da atividade de busca, levantando suspeitas acerca do conhecimento que eles detinham sobre o SAR, pois aparentemente não compreendiam o *modus operandi* da aeronave R-99 [2].

Cabe ressaltar, inclusive, que passados mais de quatro anos das buscas do AF 447, os manuais e normas que regem o SISSAR ainda não abordam corretamente a utilização do Radar de Abertura Sintética em missões de busca marítima [5], e foi justamente esse fato que motivou a elaboração desse artigo científico, que tem como objetivo apresentar metodologias e discutir algumas possibilidades de emprego do SAR R-99 nesse cenário.

## II. EMPREGO DO SAR R-99 NAS BUSCAS DO AF 447

O SAR R-99 possui muitos modos de operação, sendo que para o emprego em ambiente marítimo foi utilizado o Modo de Vigilância Wide Area Search (WAS) [2].

O WAS utiliza-se do efeito Doppler e do Moving Target Indicator (MTI), ferramentas que auxiliam na detecção e acompanhamento dos alvos plotados pelo radar. Seu funcionamento básico consiste de uma varredura em setores pré-selecionados de 60º ou 120º, com resolução espacial de 6m e 18m, respectivamente, e angulação relativa entre +120º e -120º em relação ao nariz da aeronave [6] (Fig. 1).

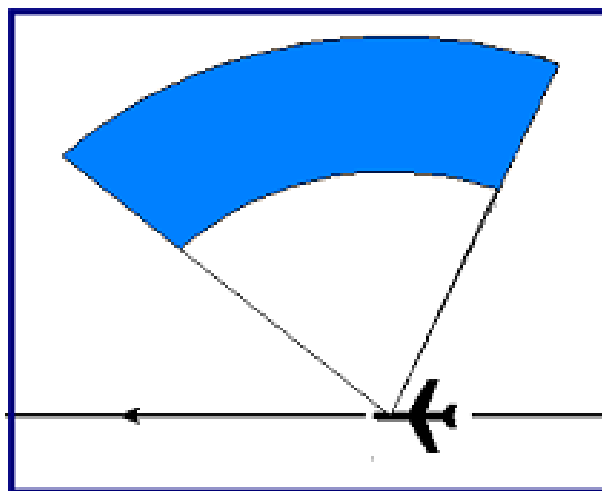


Fig. 1. Modo de varredura do WAS.

Já em relação à contribuição efetiva do SAR R-99 nas buscas do AF447, pode-se afirmar que somente foi possível

devido algumas particularidades do sistema radar, principalmente por causa do seu grande comprimento de onda, que varia de 1mm a 1m (faixa de microondas), possibilitando uma interação com o formato e a superfície (rugosidade) dos materiais, conhecida como Interação Macroscópica [7].

Além disso, como a superfície do mar é muito homogênea, objetos não pertencentes àquele ambiente costumemente são facilmente identificados. Esse fato é potencialmente intensificado quanto se trata de aviões acidentados, devido ao formato predominante dos destroços, que normalmente apresentam muitas feições retangulares [4].

Foi baseado nessas informações que os tripulantes do R-99 decidiram utilizar o SAR da aeronave na busca, pois não havia teoria ou padronização específica para esse tipo de emprego, seja pela especificação do fabricante do radar [3] ou pelos manuais de busca da FAB [8]-[9]-[10]. Na verdade, o modo WAS utilizado na missão não previa essa funcionalidade, pois seu objetivo é rastrear alvos em movimento, mas funcionou muito bem na operação e foi fundamental para a localização de várias partes da aeronave acidentada [4].

### III. RESULTADOS OBTIDOS

A aeronave R-99 foi acionada pelo Comando-Geral de Operações Aéreas (COMGAR) no dia 1º de junho de 2009, cerca de 10 horas após o horário estimado do acidente do AF 447, e a tripulação se viu obrigada a adequar a melhor configuração possível que permitisse a identificação dos destroços, enquanto a aeronave já se encontrava em deslocamento de Anápolis para Fernando de Noronha.

Logo após o pouso na ilha, a aeronave foi rapidamente reposicionada para cumprir sua primeira missão de busca, que já traria os primeiros resultados (Fig. 2), indicando que a tripulação estava no caminho certo e que valeria a pena investir no potencial do SAR nesse tipo de emprego.

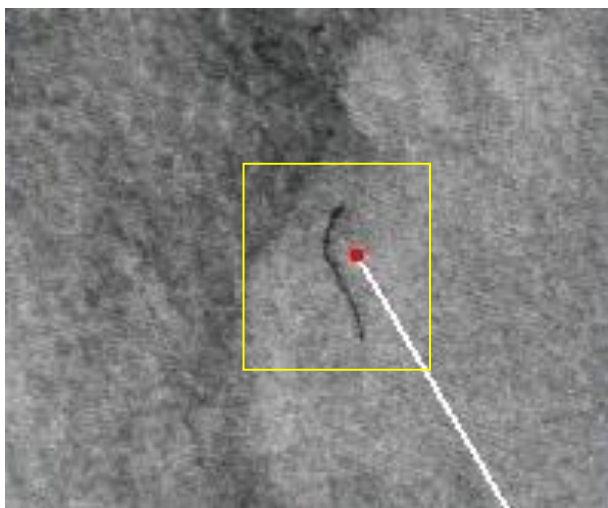


Fig. 2. Imagem SAR apresentando em destaque uma mancha de óleo, encontrada a poucas milhas do local provável do acidente.

A meteorologia na área estava muito desfavorável, com muita nebulosidade e pancadas de chuva, fatores que comprometeram a eficiência da busca visual, que estava sendo realizada pelas outras aeronaves. Essa condição aumentou a importância do radar na missão, pois nos

primeiros dias somente o R-99 conseguiu algum resultado positivo, passando a efetuar seus voos também no período noturno.

Entretanto, como o ambiente marítimo encontra-se em constante mudança, não permitindo qualquer tipo de controle sobre o mesmo, poucos resultados dos possíveis alvos encontrados pelo SAR puderam ser confirmados, principalmente por causa da necessidade de um avistamento, por parte de alguma aeronave em perfil de busca visual, com um intervalo de tempo pequeno entre o avistamento e a localização do alvo pelo radar.

Essa condição “especial” veio a ocorrer no dia 5 de junho, quando uma aeronave C-130 Hércules escutou a comunicação entre o R-99 e os órgãos de coordenação, que reportava a existência de dois possíveis alvos que, coincidentemente, estavam a poucas milhas da posição do C-130.

O comandante do Hércules, de imediato, decidiu abandonar a sua rota e investigar as posições informadas pelo R-99, obtendo o avistamento dos dois alvos apresentados nas Fig. 3 e 5. Esses passariam a ser os resultados mais expressivos da participação do SAR R-99 na missão, pois os alvos foram localizados a menos de 2 milhas e cerca de 20 minutos após terem sido identificados pelo radar [4].



Fig. 3. Empenagem do Airbus, sendo resgatada pela Marinha do Brasil. O destroço foi avistado pelo C-130 Hércules, a menos de 2 milhas da posição informada pelo R-99.

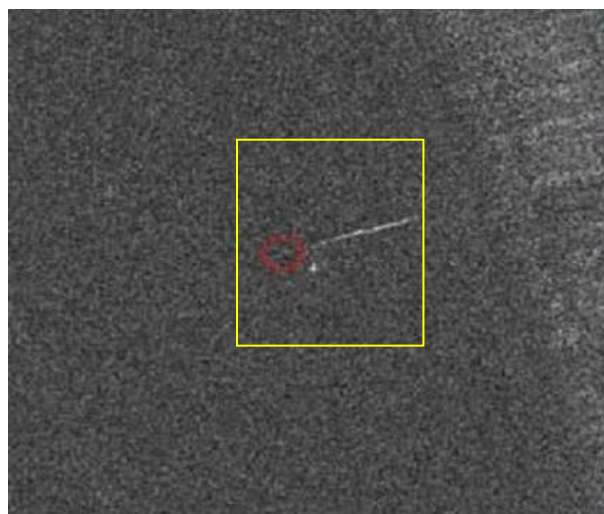


Fig. 4. Imagem SAR apresentando um possível alvo, em tonalidade mais clara, que posteriormente foi confirmado como sendo a empenagem da aeronave.



Fig. 5. Parte da “galley” do Airbus avistada pelo C-130.

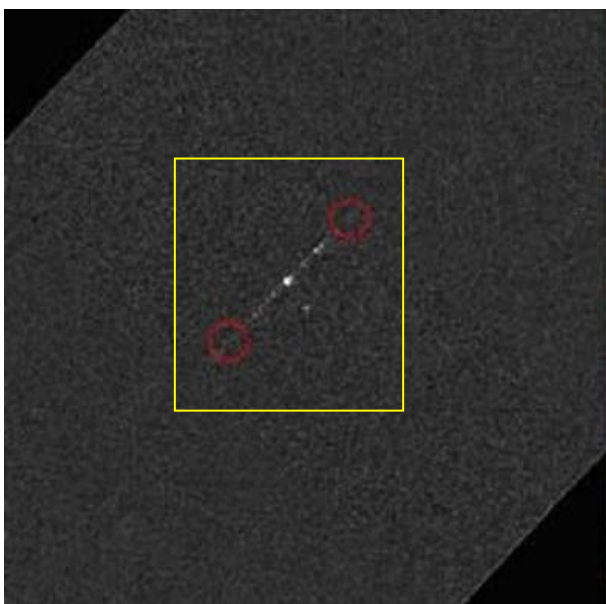


Fig. 6. Imagem radar que corresponde à “galley”, sendo detectada pelo SAR. Os dois círculos vermelhos são dois MTI, interpretados pelo sensor com a mesma velocidade e direções opostas entre si, provavelmente por causa do “balanço” das ondas do mar.

Apesar desses dois expressivos resultados, ficou evidente ao final da operação que muitos dos alvos informados pelo SAR apresentaram-se como “falsos alarmes” [11], devido principalmente a dois fatores: primeiro pelo desconhecimento das possibilidades de emprego do Radar de Abertura Sintética em missões de busca marítima, tanto por parte dos órgãos de coordenação quanto por parte dos tripulantes do R-99, e também pelo problema do sistema de combustível do R-99, que limitou consideravelmente a autonomia da aeronave, impedindo que os tripulantes do R-99 investigassem os próprios alvos.

#### IV. POSSIBILIDADES DE EMPREGO DO SAR

De acordo com o fabricante [3], o modo WAS do radar foi desenhado para localizar objetos com tamanho de no mínimo seis metros, ou seja, possui resolução espacial de seis metros. Apesar dessa limitação, os tripulantes do R-99 conseguiram localizar objetos menores que o citado acima, principalmente pelo aumento do ganho do receptor, somado aos ajustes no filtro e no brilho da imagem apresentada na

tela.

Mas esse procedimento somente foi possível graças a certas condições específicas de uma busca marítima, das quais pode-se citar como mais importantes o comportamento especular da superfície do mar (homogeneidade), a propriedade dielétrica dos materiais que compõe a estrutura de um avião, o formato e as feições retangulares comuns aos destroços (alta reflexão dos pulsos) [4].

O emprego do Radar de Abertura Sintética nesse tipo de aplicação não deveria causar grandes surpresas, pois sua potencialidade já havia sido descrita quase dez anos antes, pelo Departamento de Busca e Salvamento da Agência Espacial Americana (NASA Search and Rescue Mission Office) [12], que descreveu formas de utilizar um radar SAR para identificação de destroços de aeronaves acidentadas.

Da mesma forma, estudos mais recentes [13]-[14] corroboram com os apontamentos realizados pela NASA e sobretudo com os resultados apresentados pelo R-99, pois realizaram um verdadeiro estudo de caso sobre o acidente do AF447, utilizando os dados coletados por um SAR orbital para confrontar os pontos prováveis localizados nas imagens com o relatório oficial do DECEA, que indicava um total de 455 avistamentos ocorridos durante a busca visual [15]. O resultado da pesquisa apontou que diversos pontos das imagens estavam muito próximos dos locais onde haviam sido avistados destroços da aeronave.

Porém é mandatório esclarecer que o SAR R-99 não possui a capacidade de localizar pessoas ou corpos boiando na superfície do mar, como foi apontado como deficiência do equipamento em alguns relatórios. Os fatores citados anteriormente não são aplicáveis nesse caso, portanto a limitação da resolução espacial de seis metros sempre vai impedir a detecção desse tipo de alvo.

Portanto não resta dúvidas quanto às capacidades do radar SAR para localização de destroços de aeronaves acidentadas no mar, mas para o uso eficiente desse tipo de ferramenta alguns aspectos importantes devem ser observados.

Primeiramente, o SAR R-99, assim como todo Radar de Abertura Sintética, não é capaz de prover a identificação dos alvos localizados pelo radar, ou seja, necessita de uma confirmação visual a ser efetuada por uma outra aeronave, ou pelo sensor óptico do próprio R-99. A tentativa de assumir como confirmados os alvos localizados somente com o uso do SAR, invariavelmente, vai conduzir para um grande número de falsos alarmes [11].

Isso ficou bastante claro durante a experiência do AF447, na qual vários alvos localizados pelo radar, após serem investigados, revelaram-se na verdade como pequenos barcos, baleias, grandes nuvens de tempestade ou simplesmente retorno oriundo de ondas de um mar mais agitado. Por isso torna-se tão importante a correta priorização dos alvos.

Além de priorizar de forma adequada, é mandatório também a investigação em tempo oportuno. O mar é um ambiente em constante mudança, sujeito às ações dos ventos e das correntes marinhas, por isso é tão improdutivo tentar identificar um alvo mais de 12 horas após ter sido localizado pelo SAR. Apesar de parecer algo óbvio, esse procedimento foi erroneamente adotado no caso do AF447 [2].

Uma solução muito mais eficiente seria o aproveitamento de uma outra aeronave, que já se encontraria nas proximidades da área de busca e poderia rapidamente confirmar os alvos do radar, a exemplo do ocorrido com o

C-130 Hércules citado nesse artigo.

Outra idéia bastante promissora seria delegar para o R-99 a identificação dos objetivos localizados pelo SAR, por meio do uso do sensor óptico da aeronave. Devido ao problema do sistema de combustível, que comprometeu a autonomia do R-99 durante os anos de 2008 a 2011, essa solução não pode ser posta em prática no acidente do AF447, mas promete ser bastante eficiente, caso o R-99 tenha essa liberdade de ação num evento futuro. A técnica de emprego dessa ferramenta será abordada ainda nesse artigo.

Apesar de ter sido citada de forma implícita nos parágrafos anteriores, merece destaque também uma importante característica do SAR: a operação a qualquer tempo. Por se tratar de um sensor ativo, ou seja, o equipamento gera e emite o próprio pulso eletromagnético, sua operação independe totalmente da radiação solar. Isso permite a ininterruptibilidade da busca, que pode ser conduzida tanto de dia, quanto de noite, respeitadas algumas ressalvas, que serão tratadas posteriormente.

Da mesma forma, o SAR possibilita o cumprimento da missão mesmo em condições atmosféricas adversas, por causa do comprimento de onda utilizado para geração das imagens. Como o radar se utiliza da faixa de microondas, que são ondas de grande comprimento[7], ele é capaz de captar as informações necessárias, mesmo quando a área de busca está encoberta por densas camadas de nuvens, o que inviabilizaria qualquer tentativa de busca visual.

Outra grande vantagem do radar é a possibilidade de cobrir áreas maiores e mais rápido que qualquer outro tipo de equipamento seria capaz. Por exemplo, a faixa coberta na superfície do mar pelo sensor, numa única varredura, corresponde a 20 quilômetros de largura [6], com até 300 quilômetros de comprimento, em apenas 30 minutos de voo. Em uma única missão, com 5 horas de duração, o SAR é capaz de cobrir uma área de 60 mil quilômetros quadrados.

Por fim, cabe ressaltar a importante contribuição prestada por uma aeronave com capacidade multimissão, capaz de executar várias missões secundárias concomitantemente com a principal, em especial pelos equipamentos de Guerra Eletrônica na faixa de comunicações e não comunicações.

Essas são algumas tarefas secundárias que o R-99 pode executar, sem comprometer a busca com o SAR: rastreamento da faixa de comunicações, para captar alguma comunicação via rádio dos sobreviventes, rastreamento na faixa dos Transmissores de Localização de Emergência (ELT, em inglês) instalados nas aeronaves e Posto de Comunicações no Ar (PCOM-AR).

O PCOM-AR pode ser executado de forma manual ou automática, no caso do R-99, e sua importância aumenta à medida que a área de busca se distancia do continente, pois a comunicação das aeronaves com os órgãos de coordenação da busca (SALVAERO) fica muito prejudicada, pois normalmente a altitude de voo é muito baixa. A existência do PCOM-AR permite o aumento do horizonte rádio e a comunicação entre os elos da busca.

## V. MÉTODOS DE UTILIZAÇÃO DO SAR R-99

Serão citadas a seguir, de forma bastante resumida e com abordagem voltada para o emprego operacional, sugestões de técnicas e métodos de utilização do SAR R-99 para missões de busca marítima.

Operação Autônoma – o R-99 seria responsável pela

obtenção dos alvos com o radar, pela análise e priorização a bordo da aeronave, em tempo real, levando em consideração a distribuição dos alvos, a apresentação de cada alvo na tela, a condição meteorológica na área e a autonomia da aeronave. Após essa fase inicial e com pequeno intervalo de tempo, o Coordenador Tático (COTAT) conduziria a aeronave para altitudes menores, com o intuito de proceder a investigação e a confirmação dos alvos, seja visualmente ou pelo sensor óptico do R-99. A grande vantagem desse método é a independência do R-99, pois sua operação não demandaria qualquer tipo de gestão por parte do SALVAERO, que poderia se dedicar exclusivamente às missões de busca visual.

Operação com o apoio de outras aeronaves, sob coordenação do SALVAERO – os alvos plotados pelo radar seriam repassados para o SALVAERO, que teria a incumbência de priorizá-los, para o engajamento de alguma aeronave nas proximidades da área de busca. O SALVAERO teria o controle centralizado de todas as operações, com melhores condições de gerência e visualização ampla do cenário, mas seria incapaz de acessar todas as informações e imagens geradas a bordo do R-99, pois elas não podem ser enviadas via datalink, por limitações do sistema, o que poderia comprometer o processo decisório.

Operação com o apoio de outras aeronaves, sob coordenação do COTAT – mesclagem dos dois outros métodos, no qual o COTAT tem todas as informações geradas pelos sensores à sua disposição e todas as condições para priorizar os alvos, e além disso dispõe de aeronaves sob sua coordenação, já posicionadas na área de interesse, para rápida investigação. A grande vantagem desse método é a agilidade, pois os primeiros alvos plotados pelo radar serão investigados mesmo antes do R-99 concluir a busca eletrônica, o que facilita bastante a localização desses alvos.

Operação noturna – como o SAR é um sensor ativo, ele permite a operação noturna, que teria como finalidades delimitar a área de busca e priorizar melhor as áreas para a manhã do dia seguinte. O foco nesse caso está na área e não nos alvos, pois os alvos não poderão ser investigados em tempo oportuno, já que a busca visual é restrita ao período diurno. A contribuição desse tipo de operação está na possibilidade de confirmar ou descartar a área provável do acidente e pode ser muito útil, principalmente nos primeiros momentos da busca, em que pairam ainda grandes incertezas quanto ao local exato do sinistro.

Missões secundárias – Como já foi citado, num cenário de busca marítima, onde a área de busca encontra-se normalmente afastada dos órgãos de coordenação e controle do tráfego aéreo, uma única aeronave R-99 seria capaz de cumprir a missão de PCOM-AR, ao mesmo tempo em que realiza busca eletrônica na faixa de comunicações, para rastrear algum contato rádio de possíveis sobreviventes ou algum sinal do ELT da aeronave acidentada, sem comprometer a realização da missão de busca com o SAR. Na verdade essas missões secundárias poderiam ser executadas em todos os voos, independente de qual método seria adotado para a missão.

## VI. CONCLUSÃO

Esse artigo teve como proposta apresentar um breve resumo da participação do R-99 na missão do AF 447, analisar as possibilidades de emprego do SAR em busca

marítima e propor alguns métodos de utilização do SAR R-99 nesse cenário.

As sugestões apontadas ainda necessitam de uma análise mais aprofundada, para verificar a aplicabilidade e a adequabilidade delas nos manuais e normas que regem o Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico Brasileiro.

É mandatório que esses procedimentos estejam descritos e normatizados, e o efetivo do SALVAERO esteja treinado e qualificado, para que o conhecimento não fique restrito a memória de algumas pessoas, bem como os erros do passado não voltem a ocorrer num evento futuro.

O artigo foi escrito com o foco no R-99, pela experiência vivida no acidente do Airbus, mas as possibilidades de emprego e os métodos descritos aqui servem para qualquer tipo de aeronave dotada de radar SAR, como o P-3 AM, por exemplo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses. **Rapport Final vol AF 447**. Paris, France, 2012.
- [2] Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Relatório Final de Operação n° 2/2009**. Anápolis, GO, 2009.
- [3] MACDONALD DETTWILLER. **SIVAM Airborne System – Operations Manual** (SDRL A006-1), Vancouver, Canada, 2000.
- [4] MARINHO, C. A. B. **Utilização do Radar de Abertura Sintética da aeronave R-99 na busca marítima dos destroços do voo Air France 447**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 8106-8113, On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0136.pdf>> Acesso em: 13 ago. 2012.
- [5] LEITE, B. R. A. **Emprego do Radar de Abertura Sintética em missões de busca marítima: revisão de conceitos**. 2012. 18p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública e Emprego de Força Aérea) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro. 2012.
- [6] Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Manual do Operador do Radar de Abertura Sintética**. Anápolis, GO, 2008.
- [7] MENESES, P. R. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
- [8] Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Manual do Coordenador Tático do R-99**. Anápolis, GO, 2011.
- [9] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. MCA 64-3. **Manual de Busca e Salvamento (SAR)**. Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [10] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. NSCA 64-1. **Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico**. Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- [11] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Ata de Reunião n° 21/SDOP-SAR/2009**. Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- [12] CHOTOO, K.; HUXTABLE, B. D.; MANSFIELD, A. W.; RAIS, H. **Probability of detection of downed aircraft using SAR polarimetry**. In: CONFERENCE SPIE AUTOMATIC TARGET RECOGNITION X, 10., 2000, Orlando, FL. **Anais eletrônicos...**Orlando: NASA, 2000. Artigos, p. 163, On-line. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=906105>> Acesso em 29 set. 2012.
- [13] PAES, R. L.; NUNZIATA, F.; SHIGUEMORI, E. H.; MIGLIACCIO, M.; MONTUORI, A. **Cosmo-Skymed SAR Data to Observe Small Metallic Objects from Ocean Crashed Aircraft**. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM 2011 (IGARSS'11), 2011, Vancouver, Canada. **Anais...**Vancouver: IEEE, 2011. Artigos, p. 2869-2872.
- [14] PAES, R. L.; SHIGUEMORI, E. H.; HABERMANN, M.; RODRIGUES NETO, A. M.; ANDRADE, R. M. **Cosmo-Skymed SAR data for urgency situations: study of a real case**. In: ECCOMAS THEMATIC CONFERENCE ON COMPUTATIONAL VISION AND MEDICAL IMAGE PROCESSING: VIPIMAGE 2011, 3., 2011, Olhão, Portugal. **Anais...**Olhão: ECCOMAS, 2011.
- [15] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Relatório de avistamentos da Operação de Busca e Salvamento AF 447 (Sightings)**. Rio de Janeiro, RJ, 2009.