

Utilização do Radar de Abertura Sintética da aeronave R-99 na busca marítima dos destroços do voo Air France 447

Carlos Alberto Branco Marinho

Comando Geral de Operações Aéreas – COMGAR
SHIS Q1 – 05 – Área Especial 12 – CEP 71615-600
carlosabmarinho@bol.com.br

Abstract This paper aims to report the first real mission of maritime search, using aircraft R-99's synthetic aperture radar (SAR) of the 2nd Squadron of the 6th Group of Aviation, which occurred during the crash of the Airbus 330-200, Flight 447 from Air France company, at dawn on May 31 to June 1st, 2009, disasters that occurred over the Atlantic Ocean, about 800 km of the archipelago of Fernando de Noronha, between Brazil and the African coast. This study also intends to show that the tool WAS (Wide Area Search), of the synthetic aperture radar aircraft installed in the aircraft R-99 of Brazilian Air Force can, and should, be used in searches in the sea as a tool to localize and possible to identify features metallic or not, even if those features have dimensions smaller than the radar resolution cell rated equipment, and also enable the location and identification of layers of oil on the sea surface. Using the WAS tool in coordination with the aircraft that performed visual searches and the ships of the Navy of Brazil, was able to locate much of the debris and equipment, besides the bodies of 51 victims of the 228 who lost their lives in that accident.

Palavras Chave: scan, return, gain, saturation, varredura, retorno, ganho, saturação.

1. Introdução

O Radar de abertura sintética (SAR), instalado na aeronave R-99, é um radar imageador adquirido com a finalidade de compor o Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), para o acompanhamento de desmatamentos, queimadas, áreas de preservação ambiental e mapeamento de regiões do território nacional, onde os sensores ópticos levam desvantagem, devido à ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis durante boa parte do ano. O sensor também possui aplicações militares, como a localização de pistas clandestinas e identificação de instalações que possam ser utilizadas como base de apoio a traficantes e contrabandistas na selva amazônica, porém, entre as aplicabilidades do SAR do R-99, não se encontrava elencado nenhum modo específico para buscas em ambiente marítimo e, quando houve a real necessidade de sua utilização para tal fim, foi preciso que se determinasse, de maneira rápida e prática, como adaptar o seu emprego, para gerar resultados úteis à missão de busca.

2. O sensor SAR da aeronave R-99

O SAR do R-99 possui a capacidade de operar em condições meteorológicas adversas e a qualquer hora do dia, devido aos seus comprimentos de onda, para os quais a atmosfera é praticamente transparente. Ele possui duas diferentes bandas de frequência, a banda L (1,28 GHz) e a banda X (9,6 GHz), o que permite que se obtenham dois padrões de resposta diferentes para um mesmo alvo, além de dois modos de operação distintos: o modo *Strip Mapping* e o modo *Wide Area Search*.



Figura 1. Plataforma R -99 (foto do acervo do 2º/6º GAV).

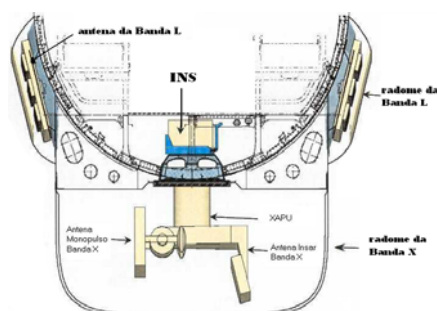


Figura 2. Antenas das Banda L e X (*Manual for the Airborne SAR Practical Operator's Course – Macdonald Dettweiler – 2001*).

2.1. Modo *Strip Mapping*

Utiliza 01 (um) canal na Banda X com polarização horizontal (HH) e 04 (quatro) canais na Banda L (HH, HV, VH e VV), onde a primeira letra designa a polarização transmitida e, a segunda, a polarização recebida, porém apenas um único canal é processado e exibido a bordo, com um retardo de aproximadamente 2 minutos entre a coleta do ponto e sua imagem na tela.

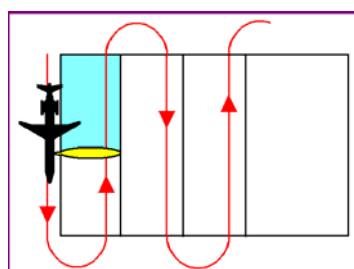


Figura 3. Cobertura *Strip Mapping* (*Manual for the Airborne SAR Practical Operator's Course – Macdonald Dettweiler – 2001*).

2.2. Modo *Wide Area Search (WAS)*

Disponível apenas na Banda X, utiliza tecnologia *Doppler* e *MTI (Moving Target Indicator)*, associado a uma varredura em setores pré-selecionados de 60° ou 120°, com resolução espacial de 6m e 18m respectivamente, e angulação relativa entre +120° e - 120° em relação ao nariz da aeronave.

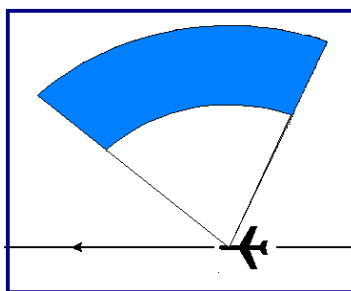


Figura 4. Cobertura WAS (*Manual for the Airborne SAR Practical Operator's Course – Macdonald Dettweiler – 2001*).

3. A missão

No dia 1º de junho de 2009 o 2º/6º GAV, Esquadrão Guardiã, foi acionado para integrar a equipe de buscas da aeronave Airbus 330-200, voo nº447 da companhia aérea Air France, que fazia a rota Rio de Janeiro - Paris, desaparecida na madrugada daquele dia, com último contato com os órgãos de controle a cerca de 800 km a Nordeste do arquipélago de Fernando de Noronha.

A aeronave engajada na missão foi o R-99 FAB 6751, dotada de equipamentos de sensoriamento remoto óptico, infravermelho e radar, além de equipamentos de comunicação capazes de captar os sinais emitidos pelas caixas pretas da aeronave desaparecida.

As condições meteorológicas naquele dia, associadas à urgência da busca e à grande extensão da área a ser coberta, inviabilizava os sensores ópticos, além do fato da busca ter-se iniciado no período noturno, logo após o traslado da aeronave da Base Aérea de Anápolis para o aeródromo de Fernando de Noronha. Dessa forma, o sensor utilizado seria o radar de abertura sintética (SAR), que poderia ser operado a noite e em condições climáticas adversas.

3.1. Metodologia utilizada

A tripulação era extremamente experiente em missões com o sensor SAR, porém o mesmo nunca havia sido empregado para fins de busca marítima, e não havia metodologia nem bibliografia específica para esse fim.

A primeira decisão a ser tomada era qual modo de operação deveria ser usado para que se otimizassem as horas de voo que seriam depreendidas, cobrindo-se a maior área possível, já que a distância entre o aeródromo e a área provável do acidente inviabilizava um padrão de busca tipo “pente fino”, e a autonomia da aeronave permitia apenas que a busca fosse efetuada durante os deslocamentos de ida e volta ao ponto do último contato com o Airbus.

Decidiu-se então que o modo a ser utilizado seria o modo WAS (*Wide Area Search*), em detrimento ao modo *Strip Mapping*, pois, apesar do modo de mapeamento possuir uma resolução espacial melhor (3m), a imagem gerada é em forma de faixa única contínua, apresentando em tempo real para o operador uma imagem com 10 km de largura, onde cada retorno radar é apresentado somente uma vez na tela, sem atualização. Porém no modo WAS, o setor visualizado seria maior, com 20 km de largura, e cada ponto imageado seria atualizado na tela a cada varredura da antena, em ciclos de aproximadamente 30 segundos, enquanto se mantivesse dentro do raio de alcance do setor radar, como mostra a figura 5.

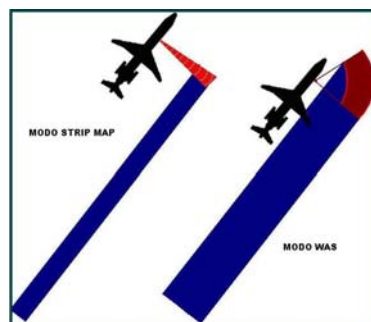


Figura 5. Diferença entre as áreas cobertas

3.2. A operação do sensor

Como o SAR nunca havia sido utilizado em ambiente totalmente marítimo, e não havia tempo hábil para estudos, os parâmetros de utilização tiveram de ser definidos por testes práticos, baseando-se apenas nos conhecimentos e na experiência dos tripulantes e nas respostas apresentadas pelo sensor durante a operação.

3.3. Parâmetros de utilização do SAR

Foram realizados vários testes de operação durante o deslocamento inicial para a suposta área do acidente, dos quais foram tiradas as seguintes conclusões:

- O modo *Strip Mapping* se mostrou totalmente ineficaz para a busca marítima, tanto com a banda L quanto com a banda X, nele a imagem, apesar de ter uma resolução de 3m, apresentava um *background* quase que totalmente homogêneo, além de uma péssima relação sinal/ruído;
- O modo selecionado que deu melhores resultados foi o WAS, com setor de 60°, resolução de 6m, faixa de 20 km e atualização de tela a cada 30 segundos;
- O range de utilização variou entre 80 e 140 km (a variação possível é de 14 a 150 km), valores inferiores a 80 km ou superiores a 140 km apresentaram grande degradação na imagem;
- Os setores foram fixados com seus centros nas posições 40° e -40° relativos ao nariz da aeronave, para aumentar a área imageada;
- Com o ganho dos receptores em 0 (zero), que é o padrão de utilização normal em ambiente terrestre (salvo pequenas variações de mais ou menos 1dB), a imagem de *background* mostrava-se homogênea e praticamente sem retornos significativos;
- No geral, o ganho utilizado durante a missão dependeu dos fatores: distância, altitude, condições meteorológicas e condições de mar (nível de agitação da lâmina d'água na superfície), ficando entre 11 e 16 dB positivos, para que o retorno de objetos metálicos com RCS (seção reta radar) menores do que a célula de resolução radar de 6m saturassem os receptores ao ponto de serem apresentados na tela;
- Para realçar objetos que flutuassem ao sabor da maré, lançou-se mão da capacidade de MTI (indicador de alvos móveis na forma de círculos vermelhos) do SAR, porém, já que o movimento de tais objetos estaria bem abaixo da velocidade de 5m/s, que é o padrão de detecção do equipamento, foi aplicado para essa ferramenta um *threshold* (limiar inferior) negativo de 6 dB. Valores inferiores a esse nível tenderam a saturar a imagem com falsos alarmes, devido aos retornos gerados pelas ondas e marolas;
- Os pontos considerados válidos para investigação foram aqueles que permaneceram visíveis na tela por três varreduras consecutivas ou mais, com a finalidade de descartar alvos falsos;

- Navios de grande porte puderam ser identificados por sua forma e esteira de deslocamento, porém, os mesmos, devido ao alto ganho utilizado, apresentavam imagens “fantasmas” múltiplas, oriundas dos sinais dos lóbulos secundários e da alta reflexão de seus cascos metálicos na superfície do mar, fato que, no caso de barcos feitos de madeira, não ocorreu;
- Nuvens com núcleos compactos de cristais de gelo (*Cumulus Nimbus*) eram apresentadas como formas irregulares de alta intensidade (brancas), com vários falsos alarmes de MTI, gerados pelo *multibouncing* dos ecos nesses núcleos;
- Derramamentos de óleo na superfície do mar apareceram como grandes áreas de reflexão difusa de baixa intensidade, porém, com textura uniforme. O maior localizado tinha cerca de 20 km de extensão;
- Objetos metálicos de tamanho inferior à célula de resolução do equipamento apresentaram retorno significativo e mantiveram sua apresentação na tela de maneira uniforme, enquanto objetos maiores modificavam sua apresentação na tela de acordo com o ângulo de iluminação a que eram expostos;
- Objetos metálicos curvos (côncavos e convexos) geravam falsas indicação de movimento, geralmente para direções diametralmente opostas devido ao seu movimento de “gangorra” enquanto flutuavam;
- Os objetos de grande porte, devido ao ganho exagerado do receptor, apresentavam suas dimensões aumentadas em várias vezes, no sentido da varredura do feixe radar; e
- A operação na altitude limítrofe inferior de 28.000 pés acarretou em degradação de imagem, assim como em velocidades fora da faixa de 330 a 390 nós;

4. Resultados obtidos

Depois de realizados os ajustes necessários no equipamento, foi possível a localização de objetos e vítimas oriundos do acidente do voo 447, os pontos localizados pelo R-99 eram repassados às aeronaves C-130 Hércules e C-105 Amazonas para confirmação e identificação visual e, após confirmação, as coordenadas eram repassadas à Marinha do Brasil para recolhimento e posterior traslado para o continente do material localizado. Há de se ressaltar que a maioria dos objetos que teve sua localização confirmada estava associada a alguma feição metálica. Mesmo nas áreas de concentração de corpos na superfície havia elementos metálicos associados, como cadeiras e pedaços da fuselagem.

4.1. Diferença de ganho

A figura 6 mostra a diferença entre ganhos no receptor, a área mais escura equivale a ganho zero e a mais clara a ganho 5.

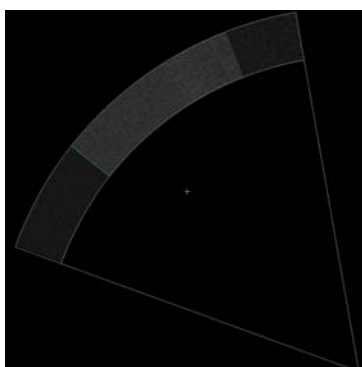


Figura 6. Diferença entre ganhos no receptor.

4.2. Resposta de navios

Navios mercantes apareciam bem nas imagens, sendo possível determinar suas proas pelo formato do retorno, apesar de apresentarem várias imagens fantasmas paralelas aos seus deslocamentos, enquanto barcos menores, e feitos de madeira, não apresentaram imagens fantasmas, conforme figura 7.

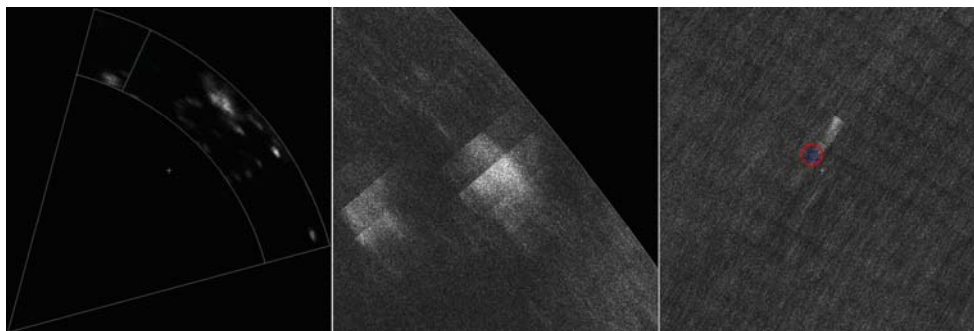


Figura 7. Navios mercantes e barco pesqueiro.

4.3. Nuvens

As nuvens mais compactas e com núcleos formados por cristais de gelo, não eram transparentes às ondas do SAR, como se vê na figura 8, aparecendo na imagem com vários falsos alarmes de MTI.

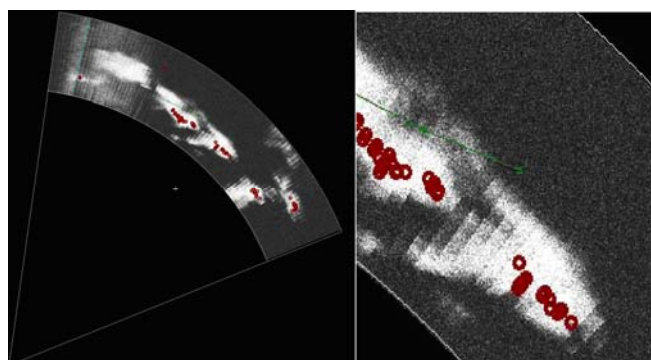


Figura 8. Nuvens

4.4. Manchas de óleo

A figura 9 mostra que as lâminas de óleo na superfície apareceram como massas homogêneas de baixa intensidade, porém com retorno muito maior que o do mar.

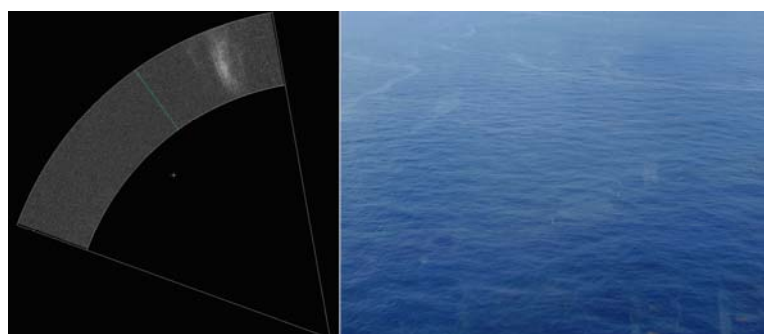


Figura 9. Mancha de óleo (foto: Força Aérea Brasileira).

4.5. Resposta dos destroços

Os destroços metálicos eram apresentados na tela do radar como pontos de alta reflexão, que permaneciam sendo visualizados varredura após varredura, isolados ou em grandes concentrações conforme se vê nas figuras 10, 11 e 12.

4.5.1. Vários contatos concentrados

Foram localizadas algumas áreas com vários pontos de reflexão distribuídos em um raio de poucos quilômetros, que se deslocavam com as correntes marítimas.

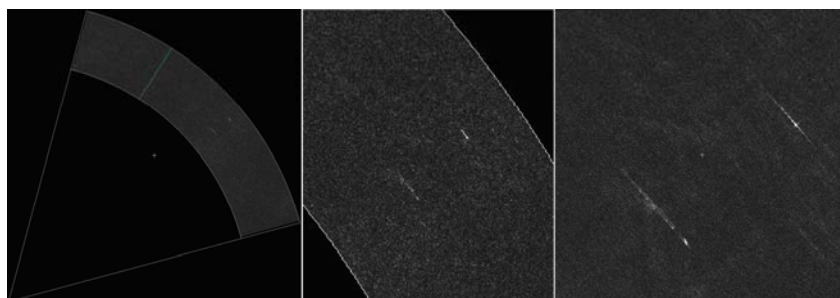


Figura 10. Contatos múltiplos

4.5.2. Estruturas curvas (Côncavas)

Estruturas curvas, como pedaços da fuselagem, apresentavam falsas indicações de movimento, com MTIs em sentidos opostos, ao longo do seu diâmetro, devido ao movimento de “gangorra” enquanto flutuavam, como se vê na figura 11.

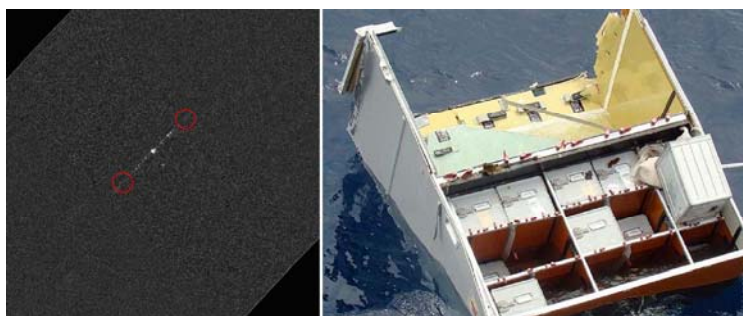


Figura 11. Estrutura curva – *Galley* do Air France (foto: Marinha do Brasil)

4.5.3. Empenagem

No dia 06 de junho de 2010 foi localizado o estabilizador vertical (empenagem) do Air France, a maior peça encontrada.

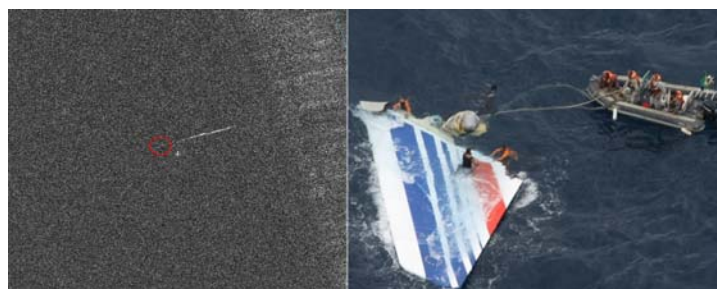


Figura 12. Empenagem – militares recolhendo a empenagem do Airbus (foto: Marinha do Brasil).

5. Conclusão

Seria interessante aplicar os métodos de verificação de conceitos sobre detecção de alvos na superfície do mar nas imagens coletadas durante a missão de busca ao Air France, Conforme Paes et al.(2009), com a finalidade de se desenvolver um método mais acurado de certificação dos alvos a serem investigados em missões de busca marítima.

As lições aprendidas com a missão de busca do Air France 447 servirão de base para as que no futuro necessitem lançar mão dos recursos disponíveis no Radar de Abertura Sintética da aeronave R-99 da FAB, além de abrir um novo leque para pesquisadores da área de sensoriamento remoto. Os resultados obtidos não foram frutos de estudos ou ensaios em laboratório, mas sim, de aplicações praticas em situação real que demandava resultados imediatos e conclusivos. A participação do R-99 na missão foi fundamental, uma vez que, com buscas visuais, seria praticamente impossível cobrir toda a área necessária em um espaço de tempo tão reduzido, pois, foi a partir das informações geradas pelo SAR que se tornou possível o recolhimento, tanto dos destroços, quanto dos corpos que foram localizados.

Ao todo foram resgatados 51 corpos e mais de 600 partes e componentes estruturais da aeronave Airbus, após 26 dias, na maior e mais complexa operação de busca marítima realizada pelas Forças Armadas Brasileiras. Missão em que foi descortinada mais uma aplicação para a ferramenta radar que, ao lado de tantas outras, vem enriquecer o cabedal de opções para a comunidade usuária dos meios de sensoriamento remoto de que o Brasil dispõe.

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus mais profundos agradecimentos à tripulação do FAB-6751, que passou pelo inferno comigo, naqueles intermináveis dias no paraíso de Fernando de Noronha. Foi por sua dedicação e profissionalismo que a missão obteve os resultados alcançados; e todo o meu amor à minha família, que ficou, e se manteve, apreensiva, praticamente sem notícias minhas durante todo o período da missão.

Referências Bibliográficas

Manual for the Airborne SAR Pratical Operator's Course – Macdonald Dettweiler – 2001

Paes, R.L.; Lorenzetti, J. A.; Gherardi, D.F.M.Detecção de alvos na superfície do mar em imagens SAR orbitais:verificação de conceitos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal.

Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 6619-6626, On-line. Disponível em:

<<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca>>Acesso em: 10 out. 2009.