

PRINCÍPIOS DA TECNOLOGIA *STEALTH*

TIUDORICO LEITE BARBOZA*
Contra-Almirante (Ref²-EN)

SUMÁRIO

Introdução
Princípios do radar
O processo de filtragem do sinal
A seção reta radar de geometrias simples
Os ecos e suas origens físicas
Os pontos “brilhantes”
Os cálculos voltados para a RCS
O efeito de fundo (*background*) na propagação eletromagnética em meio ambiente marinho, para frequências entre 1 MHz e 20 GHz
O efeito da troposfera e dos gases atmosféricos na propagação eletromagnética em meio ambiente marinho
Medições da seção reta radar (RCS)
Aplicações dos princípios da tecnologia *stealth* às linha de navios militares
A utilização de materiais absorventes na redução da RCS
Conclusões

* Serviu na Diretoria de Engenharia Naval e no Centro de Projetos Navais. Um dos principais participantes dos projetos das Corvetas Classe *Inhaúma* e *Barroso*. D.S.C. em Engenharia Oceânica, pela COPPE UFRJ, fazendo, atualmente, parte do Corpo Docente do CIAW.

INTRODUÇÃO

Este artigo se propõe a abrir espaço na *RMB* para um assunto que se supõe seja de interesse da comunidade de leitores da revista, qual seja o acervo de conhecimentos sobre os princípios da tecnologia *stealth*, que na língua portuguesa, ao pé da letra, quer dizer furtividade. A *expertise* sobre o assunto foi incorporada à Marinha do Brasil (MB) por ocasião da denominada avaliação de engenharia do projeto e da construção das corvetas da classe *Inháuma* [6], quando o arraste de conhecimento científico-tecnológico propiciado pelo projeto e construção das corvetas daquela classe havia elevado o patamar de conhecimento do Setor do Material sobre vários aspectos, como é o caso da tecnologia *stealth*. Desta forma, como o projeto da Corveta *Barroso* foi uma evolução do projeto das corvetas da classe *Inháuma* (reprojeto), alguns aspectos voltados para esta tecnologia e discutidos no item 10 deste artigo puderam ser incorporados ao projeto daquela corveta.

Embora os princípios da tecnologia *stealth* sejam voltados principalmente para as linhas de navios e aeronaves e para os materiais destes meios, contemplando esta tecnologia, alguns conceitos aplicados diretamente ao radar são necessários e apresentados a seguir. Algumas formulações podem ser consideradas enfadonhas para o público-alvo e por isto foram reduzidas ao mínimo, mas são estritamente necessárias ao entendimento do assunto em pauta.

PRINCÍPIOS DO RADAR

Emissão e recepção do pulso eletromagnético

Os princípios do radar abaixo estabelecidos são de fácil entendimento e, por isto, não são de exclusividade de profissionais da

eletrônica ou de armamento, mas também de arquitetos navais responsáveis pelas silhuetas dos navios de guerra.

A palavra radar é uma acrossemia de *Radio Detection and Rangement*. Nos radares ativos, há emissão de um pulso eletromagnético. O pulso eletromagnético é refletido pelo alvo; a seguir, ocorre recepção do eco pelo radar.

Existe um intervalo de tempo Δt entre a emissão do pulso eletromagnético e sua recepção que vai determinar a distância do alvo D , ou seja, D será determinado pela expressão $D=c\Delta t/2$ {1}, onde c é a velocidade de propagação da onda eletromagnética, entendida como sendo a velocidade de propagação da luz no meio.

A determinação da direção do alvo será definida pelo conceito de resolução angular da antena denominada de $\theta_{3dB} = 70\lambda/D$, medido em graus, sendo o λ comprimento de onda da propagação, medida em metros, e θ_{3dB} o ângulo que corresponde à mínima separação angular para a qual dois alvos iguais podem ser separados como ilustrado na Figura 1. Medindo-se a direção para o qual a antena está apontando quando o eco é recebido, tanto o ângulo de azimute quanto o de elevação a partir da antena para o alvo podem ser determinados, como ilustrado na Figura 2.

Da energia do sinal refletido pelo alvo e encaminhado de volta à antena receptora, somente parte dela é recebida de volta pela antena, estabelecendo assim o conceito de ganho G_R da antena receptora dado por $G_R = 4\pi S/\lambda^2$ {2}, onde S é a potência do

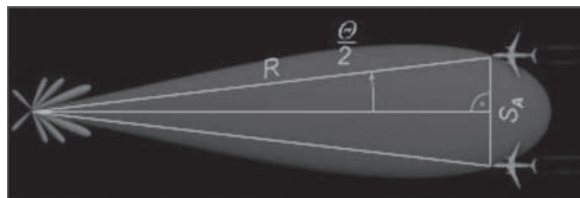


Figura 1 – Conceito de diretividade de uma antena

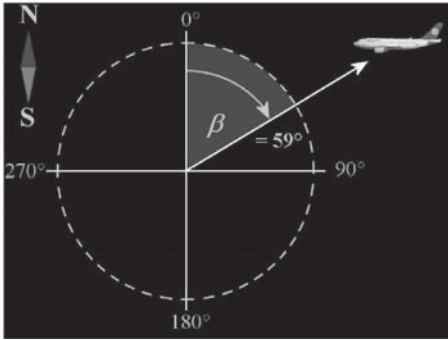


Figura 2 – Determinação da direção do alvo

sinal recebida pelo receptor e λ o comprimento de onda de propagação.

Multiplicando-se o ganho da antenna receptora pelo valor da potência refletida pelo alvo, tem-se o valor da potência recebida de volta por esta mesma antenna. As possibilidades de detecção são limitadas pelo ruído térmico R do receptor, em que este é quantificado pela expressão $R=KT\Delta F$ {3}, onde:

K =Constante de Boltzman= $1,38 \times 10^{-23}$ J/ $^{\circ}$ K

$$T=FT_0$$

T_0 =Temperatura de referência em $^{\circ}$ K, para a qual não haveria ruído térmico

ΔF =Banda de frequência de operação da antenna

F =Fator de ruído

A Figura 3 a seguir ilustra os conceitos de sinal e ruído acima definidos.

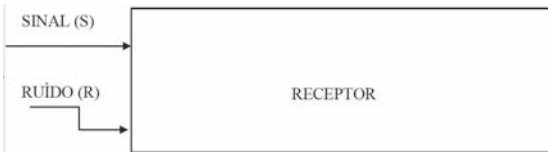


Figura 3 – Conceito sinal/ruído

A detecção pelo radar é assegurada se a relação sinal/ruído (S/R) é maior que um determinado valor a , ou seja, se $S/R > a$, sendo S a potência do pulso recebido pelo receptor e R a potência associada ao ruído.

A energia emitida pela antenna transmissora num pulso de duração τ é igual ao produto $P_T\tau$, onde P_T é a potência da fonte. A densidade de energia α na direção de visada, por unidade de ângulo sólido, é igual a: $\alpha = P_T\tau G_T/4\pi R^2$ {4}, sendo G_T o ganho da antenna transmissora.

Por sua vez, a energia captada pelo alvo de seção eficaz, ou seção reta radar σ é $P_T\tau G_T\sigma/4\pi R^2$ e a densidade de energia γ captada de volta pela antenna receptora será dada por: $\gamma = P_T\tau G_T G_R \sigma/(4\pi R^2)^2$ {5}, onde G_R é o ganho da antenna receptora.

Como o valor de G_T é definido como $G_T = \frac{4\pi S}{\lambda^2}$, fica-se com a expressão final para a densidade de energia recaptada: $\gamma = \tau\sigma G_T G_R S\lambda^2/(4\pi)^3 R^4$ {6}.

O PROCESSO DE FILTRAGEM DO SINAL

Sendo τ a duração do impulso, a banda do sinal é vizinha de $\Delta F = \frac{1}{\tau}$ {7}.

A filtragem é considerada ótima quando maximiza a relação sinal/ruído. A frequência de repetição do sinal, por sua vez, é $f_r = \frac{1}{T_r}$ {8}.

A potência média do sinal será dada por $P_m = S\tau/T_r$ {9}.

A Figura 4, ilustra as definições de {7}, {8} e {9} acima.

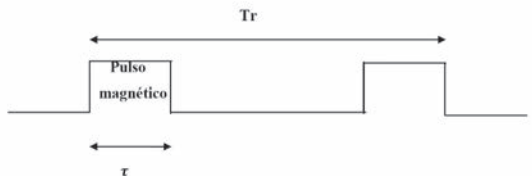


Figura 4 – Conceito de filtragem do sinal

Das definições acima, é possível estabelecer a relação sinal/ruído por: $S/R = S\tau G_T G_R \sigma\lambda^2/KT(4\pi)^3 R^4$ {10}.

É importante frisar que σ está associado à capacidade de reflexão do alvo, que não depende necessariamente de sua superfície; ou seja, um alvo de superfície menor pode ter um valor de σ maior que outro alvo mais extenso.

De {10}, vemos que o alcance radar varia, portanto, com a raiz quarta de uma grandeza σ denominada Seção Reta Radar (“Radar Cross Section” ou RCS), e isto significa, por exemplo, que uma redução de 10 dB na RCS resulta em uma redução de um fator 1,78 no alcance radar. A definição de RCS é abaixo definida com precisão [1]:

“Seção Reta Radar (RCS) é definida, para grandes alvos, como a área projetada ou seção reta de uma esfera condutora perfeita, imersa em espaço livre, que, se posicionada na mesma posição relativa do alvo, em relação à antena do radar, produziria o mesmo sinal de retorno do que este”.

Esta definição, por ser conceitual, sem recorrer a expressões matemáticas, é bastante usada, embora não aplicável para alvos muito pequenos, para os quais os fenômenos de ressonância se apresentariam, tornando a definição inadequada. Neste caso, se a aplicássemos, esta esfera equivalente teria um raio muito pequeno, incompatível com os resultados obtidos na prática. A RCS representa a razão entre a energia difusa por unidade de ângulo sólido e a densidade de energia incidente por unidade de superfície e é bastante flutuante com o ângulo de apresentação do alvo e a frequência de emissão da antena, como mostrado na Figura 5, em que temos o valor de RCS com flutuações e picos em torno do valor de 40 dB.

É, portanto, a medida da RCS que as Marinhas mais avançadas se empenham em obter, principalmente por medição. A Royal Navy emprega para a estima da RCS de navios uma formulação de natureza

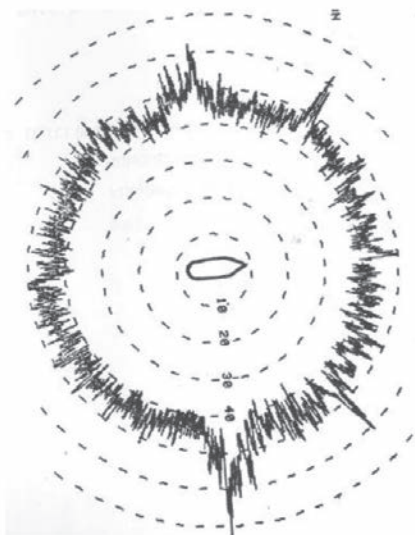


Figura 5 – Variação do valor da RCS de um navio com o ângulo de apresentação do alvo

empírica dada por [1]: $RCS \geq 52\sqrt{f\Delta}$ {11}, onde:

f =frequência em MHz

Δ =Deslocamento do navio, em toneladas inglesas

Faixas de valores típicos de RCS para aviões e navios em m^2 e equivalentes valores em dBm são abaixo apresentados [2]:

– avião de caça: 1 a 5 m^2 , o equivalente à faixa entre 0 e 7 dBm;


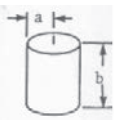

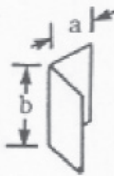

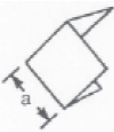

– avião de transporte: 30 a 60 m^2 , o equivalente à faixa entre 14 e 17 dBm; e

– navios: 10 mil a 10 milhões m^2 , o equivalente à faixa entre 40 e 70 dBm.

A SEÇÃO RETA RADAR DE GEOMETRIAS SIMPLES

As geometrias complexas são compostas de geometrias elementares simples e, portanto, é de muito interesse o conhecimento de valores de seção reta radar para geometrias elementares simples, visando à modelagem, como ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1-Expressões de RCS para geometrias elementares simples

GEOMETRIA	MÁXIMO VALOR DE RCS
 Placa plana de Superfície S	$\sigma = \frac{4\pi S^2}{\lambda^2}$
 Cilindro	$\sigma = \frac{2ab^2}{\lambda}$
 Esfera	$\sigma = \pi a^2$
 Diplano ou diedro	$\sigma = \frac{8\pi a^2 b^2}{\lambda^2}$
 Triedro triangular	$\sigma = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2}$
 Triedro quadrangular	$\sigma = \frac{12\pi a^4}{\lambda^2}$
 Triedro circular	$\sigma = \frac{15,7a^4}{\lambda^2}$

OS ECOS E SUAS ORIGENS FÍSICAS

O campo eletromagnético incidente cria correntes sobre o alvo. Tais correntes, por sua vez, criam um novo campo que se irradia pelo espaço, com ondas acopladas umas às outras, e que dão origem aos chamados ecos radar, que podem ser classificados como: reflexões; efeitos de cavidades, como no caso de triedros e condutos; difrações; e ondas de superfície.

OS PONTOS “BRILHANTES”

A interação da onda eletromagnética com o alvo se faz sobre pontos localizados definidos pelos mecanismos até agora descritos. Há, em geral, vários pontos que “brilham” simultaneamente, criando interferências que explicam as características flutuantes da denominada assinatura radar. Quando o comprimento de onda é da ordem de grandeza das dimensões do alvo, a noção de ponto brilhante desaparece. São as correntes que circulam de uma região para outra no alvo, segundo os modos próprios de vibração eletromagnética, que dão origem à difusão.

OS CÁLCULOS VOLTADOS PARA SEÇÃO RETA RADAR (RCS)

Os cálculos voltados para a determinação da RCS seguem duas vertentes teóricas: a teoria geométrica da difração, ou Teoria de Keller, que estabelece o conceito de irradiação, raios de curvatura principais e coeficiente de difração; e a Ótica Física, em que a densidade de corrente é obtida pelo produto vetorial $J=2n^{\wedge}Hi$, sendo Hi o campo magnético incidente e n o vetor a normal à superfície.

O EFEITO DE FUNDO (BACKGROUND) NA PROPAGAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM MEIO AMBIENTE MARINHO, PARA FREQUÊNCIAS ENTRE 1 MHz E 20 GHz

O efeito de fundo na propagação eletromagnética depende da rugosidade da superfície refletora e pode ser dividido como abaixo:

Para superfícies lisas

A reflexão de fundo é dita especular, isto é, existe uma geometria especular à semelhança de um espelho plano, como estabelecido na ótica geométrica aplicada à reflexão, como ilustrado na Figura 6. Note que o ângulo de incidência ψ é igual ao ângulo de reflexão ψ .

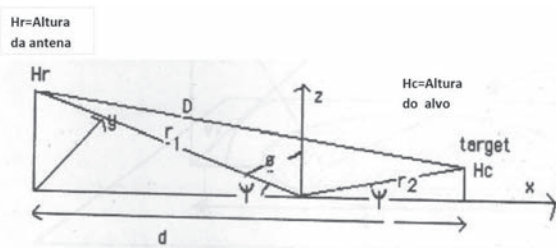


Figura 6 – Conceito de reflexão especular

A rugosidade é definida pelo denominado fator de Rayleigh FR, dado pela expressão $FR = \Delta h \cdot \text{sen}\psi / \lambda$, onde Δh é o desvio padrão típico das medidas de alturas de alvos.

Para superfícies com grande rugosidade

O campo é disperso e decorrente da soma de várias componentes refletidas especularmente a partir de uma superfície denominada superfície brilhante (*glistening surface*), como ilustrado na Figura 7. Note

que o ângulo de incidência $\psi1$ é diferente do ângulo de reflexão $\psi2$.

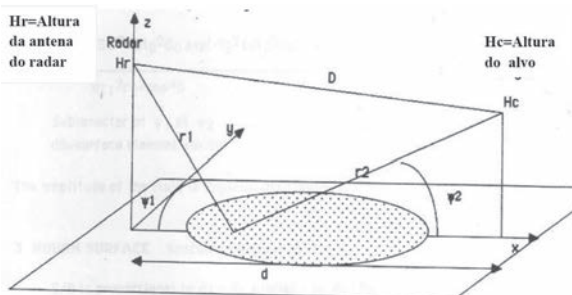


Figura 7 – Reflexão da onda eletromagnética em superfícies de grande rugosidade

Para superfícies com média rugosidade

Existe uma superposição de reflexão especular com resolução difusa, isto é, a amplitude do campo eletromagnético é distribuída especularmente numa direção e difusamente nas demais direções.

O EFEITO DA TROPOSFERA E DOS GASES ATMOSFÉRICOS NA PROPAGAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM MEIO AMBIENTE MARINHO

O efeito da troposfera e dos gases atmosféricos na propagação eletromagnética em meio ambiente marinho resulta em atenuação atmosférica pelos gases com desvanecimento em múltiplos percursos para frequências acima de 3 GHz, mudança de direção do raio incidente por reflexão para frequências entre 30 MHz e 1 GHz, espalhamento para frequências entre 0,3 GHz e 10 GHz e formação de dutos de propagação para frequências acima de 0,5 GHz. Estes efeitos são ilustrados na Figura 8.

O efeito da atmosfera é determinado pelo denominado índice de refração N que obedece à relação: $N = 77,6 \frac{p}{T} + 3,7310^5 \frac{pv}{T}$ {13}, onde:

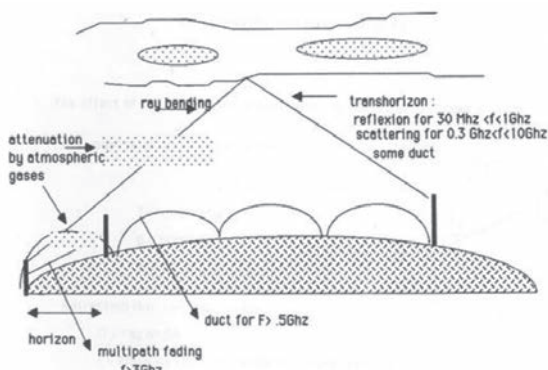


Figura 8 – Efeito da troposfera e dos gases atmosféricos na propagação eletromagnética em meio ambiente marinho

T = Temperatura reinante no ambiente em 0^{K}

P = Pressão reinante no ambiente em mbar; e

p_v = pressão do vapor d'água em mb na temperatura ambiente T

Efeito das partículas de vapor d'água

O efeito de espalhamento das partículas d'água é devido à difusão e absorção pelas partículas de água na atmosfera, em que a componente mais importante é a chuva. Esses efeitos de atenuação das partículas d'água são introduzidos nas perdas na equação radar, por meio de monogramas que consideram o efeito de número de partículas $N(D)$ de diâmetro D por milímetro e por unidade de volume estabelecido como sendo o valor da integral abaixo:

$$I = \int N(D) D^6 dD \quad \{14\}$$

Atenuação pelos gases da atmosfera

Este efeito de atenuação é devido à absorção pelos gases componentes da atmosfera, como oxigênio, e vapor d'água e que começam a ser importantes para frequências acima de 15GHz e cujas perdas são levadas em conta na equação radar.

Formação de dutos de propagação

A variação do índice de refração N com a altitude h governa a mudança de orientação ou direção do raio, como mostrado na Figura 9.

A formação de duto de propagação pode ocorrer, fazendo com que as ondas sejam “capturadas” e propagadas a grandes distâncias caso:

- O gradiente $\frac{dN}{dh} < -157$ {15};
- a espessura do duto seja menor que o comprimento de onda da onda de propagação;
- o ângulo de propagação seja rasante.

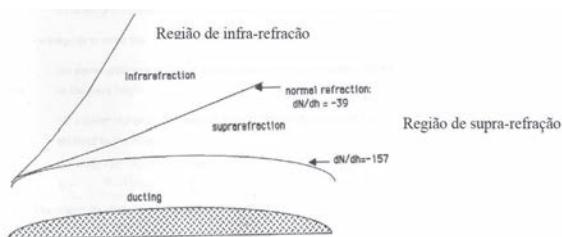


Figura 9 – Efeito da formação de dutos de propagação na atmosfera

A propagação em um duto pode ser avaliada por dois métodos teóricos, a saber:

- Traçado dos raios: este método consiste em traçar trajetórias teóricas a partir do transmissor para diferentes ângulos rasantes e observar o que está acontecendo próximo ao receptor;
- Com aplicação da teoria de guias de onda: considera que as ondas se propagam num modo que depende da espessura do duto e do comprimento de onda.

Em ambiente marinho, dutos usuais se formam entre a superfície da terra e camadas atmosféricas e podem ser devidos a:

- evaporação, em camadas com espessura esperada de 10,20m;
- advecção (transporte de algumas parcelas ou porções elementares da atmosfera ou do oceano, portanto transporte de

massa), em camadas também com espessura esperada de 10,20 m.

MEDIÇÕES DA RCS

Objetivos das medições

Os objetivos de medições da RCS de um alvo podem ser entendidas como sendo:

- o entendimento e a verificação da teoria do espalhamento para a predição de RCS para um determinado alvo;
- aquisição de dados diagnósticos sobre a RCS de alvos desejados;
- construção de bancos de dados;
- verificação do desempenho de sistemas de combate (detectabilidade/indetectabilidade); e
- verificação de eventos contratuais.

Arranjos previstos para a medição do processo de refletividade

Os arranjos para medições da RCS, simbolizada pela letra grega σ , se baseiam na sua definição física matemática, qual seja:

$$\sigma = 4\pi \frac{\text{Potência por steroradiano da energia espalhada pelo alvo}}{\text{Potência por unidade de área da energia de iluminação do alvo}}$$

$$= \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{[\text{Espalhamento}]}{[\text{Eiluminação}]^2} \quad \{16\}, \text{ sendo:}$$

[Espalhamento]=Energia espalhada pelo alvo;

[Eiluminação]=Energia de iluminação do alvo;

R=Distância entre a antena emissora e o alvo.

As Figuras de 10 a 12 ilustram arranjos esquemáticos normalmente utilizados para a medição da RCS.

A RCS σ é uma função complexa (de variável complexa), que é função das seguintes variáveis:

θ = Ângulo de azimute do alvo, referido ao eixo da antena do transmissor

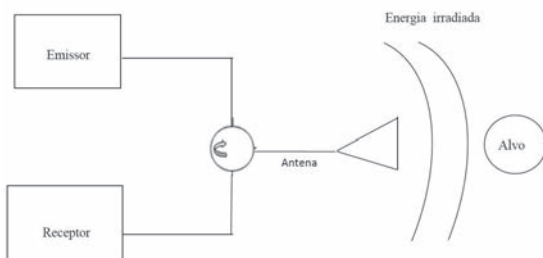


Figura 10 – Processo de irradiação de energia por um emissor e enviada pela antena na direção de um alvo no espaço

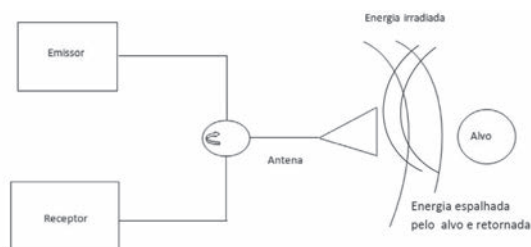


Figura 11 – Processo de espalhamento da onda incidente pelo alvo

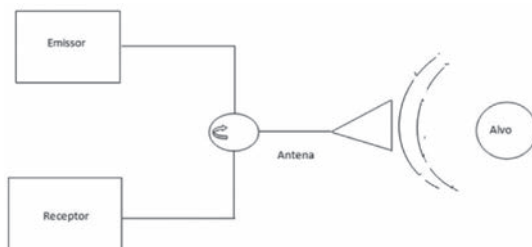


Figura 12 – Processo de retorno da energia espalhada pelo alvo e captada pelo receptor

θ' = Ângulo de azimute do alvo, referido ao eixo da antena do receptor

\varnothing = Ângulo de elevação do alvo, referido ao eixo da antena do transmissor

\varnothing' = Ângulo de elevação do alvo, referido ao eixo da antena receptor

Frequência

Polarização das antenas

Se $\theta = \theta'$ e $\varnothing = \varnothing'$, o espalhamento associado à medição do RCS é denominado

monoestático e se $\theta = \theta'$, e $\phi = \phi'$, é denominado biestático.

A Figura 13 ilustra os conceitos acima definidos:

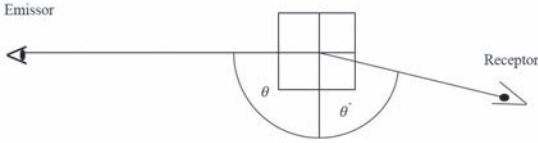


Figura 13 – Arranjo esquemático de um sistema de medição da RCS

O valor de $\theta + \theta'$ é chamado ângulo biestático

Quando o sistema mede somente a amplitude do sinal espalhado, ele é denominado de sistema não coerente e quando, além da amplitude, mede também a fase, é denominado coerente.

No processo de medição da RCS σ , é fundamental a formulação extraída da chamada equação radar abaixo estabelecida:

$$\sigma = \frac{(4\pi)^3 R^4}{G_T G_R \lambda} \cdot \frac{P_R}{P_T} = k \left(\frac{P_R}{P_T} \right), \text{ onde } k \text{ é a relação } \frac{(4\pi)^3 R^4}{G_T G_R \lambda} \quad \{17\}$$

G_T e G_R são os respectivos ganhos já definidos em (4) e (5), P_T a potência transmitida já definida em (4) e P_R a potência recebida pelo receptor.

Se a potência transmitida é mantida estabilizada numa frequência fixa, o valor de σ , seja em m^2 ou em dBsm, é computado pela comparação da razão entre a potência de retorno ao receptor P_{R1} de um alvo conhecido e a potência de retorno de um alvo sob teste P_{p2} .

A razão $\frac{P_{R1}}{P_T}$ é um número real ou complexo, dependendo da coerência do sistema. Se S_C (C de calibração) é a razão $K_1 \frac{P_{R1}}{P_T}$ de um alvo usado como calibração e S_T a razão $K_2 \frac{P_{R2}}{P_T}$ e C_{Th} (T de target), a RCS teórica (obtida por formulações como as estabelecidas na tabela 1) do alvo de calibração, então o valor de σ será dado

por: $\sigma = \left| \frac{S_T}{S_C} \cdot C_{Th} \right| \{18\}$, medida em m^2 . O valor correspondente em dBsm é dado por: $\sigma_{dBsm} = 10 \log[\sigma]$.

As formulações acima supõem um ambiente ideal envolvendo o alvo. Assim, toda potência atingindo a antena receptora estaria sendo espalhado pelo alvo. Porém, numa situação real, seja em ambiente fechado ou aberto, parte da potência de iluminação é espalhada pelos objetos que circundam o meio ambiente, como paredes, forros, superfície da Terra, colunas de suporte, árvores etc., que compõem o denominado fundo. Este conjunto de sinais parasitas denominado de ruído (PC), é somado (vetorialmente) ao sinal de retorno do alvo (P_σ) na forma $P_R = P_\sigma + P_C$ {19} configurando o sinal recebido pelo receptor P_R .

A Figura 14 ilustra o que foi acima descrito, desprezando as perdas por atenuação.

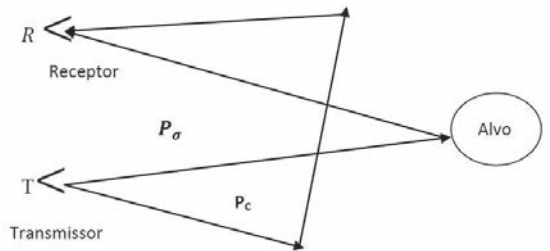


Figura 14 – Efeito de espalhamento pelo meio ambiente (fundo)

Supondo que não há acoplamento entre o alvo e o meio ambiente (fundo) e que existe um ruído estável, nós podemos realizar as medidas de RCS em câmara anecóica em três estágios:

- 1- Câmara anecóica sem a presença do alvo – o retorno do sinal S_{EC} é somente do meio ambiente;
- 2- Câmara anecóica com a presença de alvo de calibração – o retorno do sinal S_C é devido ao alvo de calibração e ao meio ambiente;
- 3- Câmara anecóica com a presença do alvo a ser medido – o retorno do sinal S_T

é devido ao alvo a ser medido e ao meio ambiente

A RCS σ a ser medida, assumindo que não haja efeito de acoplamento entre o alvo e o meio ambiente (fundo), é então obtida pela relação $\sigma = \frac{ST-SEC}{SC-SEC} X CTh$.

Instrumentação básica para a medição da RCS

Os sistemas de medição de RCS diferem, principalmente, nas técnicas de processamento utilizadas para reduzir os efeitos de fundo no sinal de entrada no receptor ou no portão de saída. A subtração dos efeitos de fundo pode ser feita por meio de técnicas de *hardware*, *software* ou ambas, existindo cinco sistemas principais, a saber:

CW (onda contínua);

FM linear (LFM) – o sinal de saída é proporcional ao sinal de entrada;

Varredura em CW;

CW em janela; e

pequenos pulsos.

A Figura 15 ilustra, esquematicamente, a instrumentação utilizada.

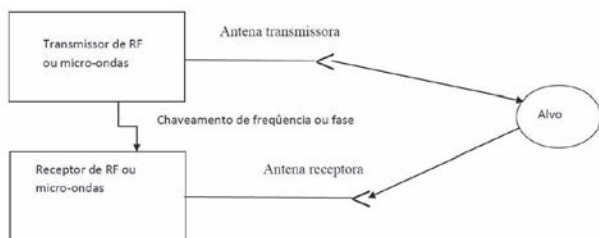


Figura 15 – Instrumentação utilizada na medida da RCS de um alvo

A Figura 16 ilustra o arranjo para medição da RCS de avião em câmara anecóica disponível na Boeing.

É importante observar que existem *softwares* para o cálculo da RCS de navios com base em modelos similares aos modelos utilizados em modelagens por elementos finitos (MEF), mas não se dispõe, neste artigo, de

RCS Measurement Facility
Boeing Phantom Works, St. Louis, Missouri



Boeing photo by Peter George

Figura 16 – Arranjo para medição da RCS de avião em câmara anecóica disponível na Boeing

informações sobre a confiabilidade e precisão de tais *softwares* que, similarmente à MEF, dependem muito da *expertise* do usuário para produzir um modelo fidedigno. Acresce ainda o fato de que modelos físicos para navios não são utilizados como se faz em hidrodinâmica, pois a correlação modelo e navio real não pode ser obtida, em face de sua complexidade; elementos em escala acabam ficando da ordem do comprimento de onda da emissão radar, o que distorce totalmente o resultado. A Figura 17, extraída de [3], ilustra o processo de modelagem utilizado por *software* específico visando ao cálculo da RCS de um navio.

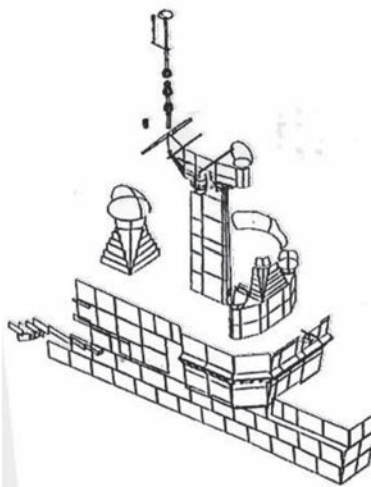


Figura 17 – Modelagem da estrutura de um navio, visando ao cálculo de sua RCS por *software* específico para este fim

APLICAÇÕES DOS PRINCÍPIOS DA TECNOLOGIA STEALTH ÀS LINHAS DE NAVIOS MILITARES

Os princípios da tecnologia *stealth* têm sido aplicados pelos arquitetos navais na busca de silhuetas para navios que os tornem cada vez menos visíveis ao radar. Como regra geral, as principais fontes componentes da RCS em regime permanente são as superfícies curvas, os diedros e os triedros. Algumas das regras básicas são mencionadas a seguir:

a) Aplicáveis a borboletas de suportes de plataformas expostas

Procurar evitar a formação de diedros a 90° , como ilustrado nas Figuras 18 e 19:



Figura 18 – Arranjo que deve ser evitado para a disposição de borboletas



Figura 19 – Arranjo que deve ser adotado para borboletas

b) Aplicáveis ao interior do passadiço

Como os vidros são transparentes à onda radar, também os diedros no interior do passadiço devem ser evitados, pois, caso eles existam, serão responsáveis por grandes reflexões.

c) Aplicáveis a superfícies verticais

Grandes reflexões são causadas por superfícies verticais, como costados e anteparas externas de superestrutura. Para evitar tais reflexões, estas superfícies devem ser inclinadas de 5° a 6° . Além disso, as superfícies devem ser planas e facetadas, de modo a criar efeito de dispersão das ondas

radar incidentes, devendo-se evitar grandes superfícies curvas existentes nas silhuetas de navios mais antigos.

d) Aplicáveis a escadas externas

Evitar as chapas que dão origem a diedros, como as sanefas.

e) Aplicáveis a superfície do costado

A superfície do costado forma inevitável diedro com a superfície do mar, porém este efeito pode ser reduzido pela inclinação do costado na direção do plano diametral (para dentro), também de 5° a 6° , de forma a evitar diedro a 90° , ângulo para o qual o valor da RCS fica bastante intensificado. Cabe ressaltar que, com o jogo do navio, o que se procura é evitar o valor médio do diedro em torno de 90° .

f) Aplicáveis a superfícies cilíndricas verticais

As superfícies cilíndricas verticais fazem com que estas sejam identificadas para qualquer ângulo de incidência, devido à simetria do cilindro, devendo por isto serem evitadas. Como a superfície da chaminé de silhuetas de navios mais antigos se aproxima de um cilindro, esta geometria deve ser evitada e substituída por tronco de cone, que tem geratriz inclinada e superfície facetada.

g) Aplicáveis a superfícies esféricas

Também as superfícies esféricas apresentam simetria como as superfícies cilíndricas, porém o valor da RCS para a esfera é bem menor do que para o cilindro.

h) Aplicáveis a cavidades

Cavidades como hangares fazem com que haja reflexões sucessivas. Como alternativa, devem-se inclinar as anteparas laterais e a antepara do fundo, como ilustrado na Figura 20:

i) Aplicáveis a balaustradas

Balaustradas se apresentam como grandes “vilãs” na contribuição ao valor da RCS, devido aos efeitos de ressonância, já que os diâmetros dos balaustres são da ordem do comprimento de onda da onda



Figura 20 – Geometria que deve ser adotada para as antenas de um hangar

radar. Exemplificando, para uma frequência de 7.5 GHz, o comprimento de onda é de 4 cm, portanto da ordem do diâmetro de um balaustre.

j) Aplicáveis a treliças

Treliças também se apresentam como grandes “vilões” na contribuição ao valor da RCS, devido aos efeitos de reflexões múltiplas. Assim sendo, mastros treliçados devem ser evitados e substituídos por mastros fechados e facetados por estruturas de chapas. Como as estruturas em treliça para mastros são normalmente decorrentes de busca de solução para problemas de vibração estrutural, caso isto ocorra, a estrutura em treliça deve ser recoberta externamente por estruturas em chapas, de modo a mascarar a treliça, sendo assim conciliadas as soluções para os problemas de vibração estrutural, como as de redução da RCS.

A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ABSORVENTES NA REDUÇÃO DA RCS

Outra forma de reduzir a RCS é por meio da utilização de materiais atenuadores, havendo dois tipos básicos desses materiais, a saber:

- absorvedores de microondas (*microwaves absorber*): convertem a energia da onda radar em calor, de forma similar às perdas por efeito Joule;

- absorvedores radar ou RAM (Radar Absorbing Material): absorvem a onda ra-

dar devido à sua impedância. Um absorvedor perfeito tem sua impedância de espaço livre dado pela relação: $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$, onde:

μ_0 = permeabilidade do vácuo, e

ϵ_0 = constante dielétrica do vácuo

O valor de Z_0 acima vale 377 ohms, e se $Z = Z_0$, as ondas não são refletidas.

Como exemplos de materiais absorvedores, temos dielétricos com condutividade finita e materiais magnéticos como a ferrita. Alguns materiais não absorvem, mas redirecionam a onda.

CONCLUSÕES

Não há dúvidas de que é cada vez mais importante a detenção dos conhecimentos inerentes à seção reta radar (RCS) e das técnicas para reduzi-la. Tais técnicas estão governando as silhuetas de aviões e navios militares, e a sua obtenção por medição também se tornou uma atividade importante, que é contemplada pelas Marinhas mais avançadas. A Figura 21, que apresenta a silhueta do DDG 1.000 Zumwalt Class da US Navy, exemplifica o atual estado da arte em arquitetura naval voltada para a tecnologia *stealth*.

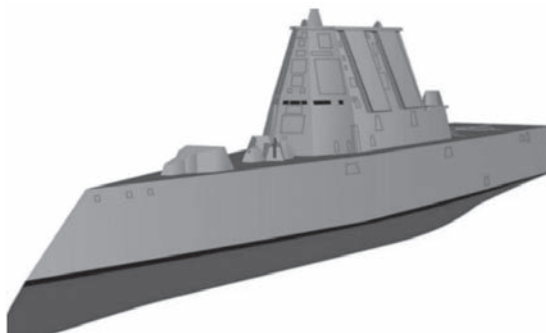


Figura 21 – Silhueta do DDG 1.000 Zumwalt Class da US Navy

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; C&T na Marinha; Engenharia naval; Sensor; Sistema de detecção;

REFERÊNCIAS:

- [1]-*The Journal of Naval Engineering*, 35 (3), 1995.
- [2]-Principe du radar- Office National D'éludes e de Recherches Aerospatiales, France, 1984.
- [3]-RCS measurements-eletronique Serge Dassaut, 1988.
- [4]-Radar Cross Section Prediction, Measurements- Eletronique Serge Dassaut, 1988.
- [5]-BR 2000 (63)-UK Restricted.
- [6]-"Da Inhaúma à Barroso-Um processo marcante na história do projeto e construção naval-militar no País". *Revista Marítima Brasileira*, V. 125, 04/06, abr/jun. 2005.



Ilha Fiscal

Conhecida como o local de “O Último Baile do Império”, realizado alguns dias antes da Proclamação da República, a Ilha Fiscal continua sendo um elo entre o presente e o passado. Décadas se passaram e o castelinho, que testemunhou tantos fatos históricos, é hoje uma das principais atrações turísticas do Rio de Janeiro.

Aberto à visitação destacam-se o Torreão, a Ala do Cerimonial e exposições temporárias.

O acesso à Ilha Fiscal é feito pela Escuna Nogueira da Gama, com saídas do cais do ECM. As visitas são guiadas e o passeio tem duração de aproximadamente 1h20.

A beleza arquitetônica e toda a sua história fazem da Ilha Fiscal o local perfeito para realizações de eventos especiais.

Conheça e desfrute desse espaço!

Passeios de quinta a domingo com saída do cais do ECM nos horários 12h30, 14h e 15h30

A bilheteria abre às 11h

Agendamentos para grupos: agendamento@dphdm.mar.mil.br

Informações e agendamentos: (21) 2532-5992 / 2233-9165

www.dphdm.mar.mil.br