



ESTUDO DA ESTIMAÇÃO DE SINAIS DE UM ARRANJO CILÍNDRICO DE HIDROFONES

Fabricio de Abreu Bozzi
Instituto de Pesquisas da Marinha
Rua Ipiru, n 02, Cacuia, Ilha do Governador, Rio de Janeiro
bozzi@ipqm.mar.mil.br

Natanael Moura Júnior
COPPE-UFRJ
Avenida Horácio Macedo, 2030, Cidade Universitária, Rio de Janeiro
natmourajr@lps.ufrj.br

José Manoel Seixas
COPPE-UFRJ
Avenida Horácio Macedo, 2030, Cidade Universitária, Rio de Janeiro
seixas@lps.ufrj.br

Resumo: *Este trabalho visa analisar estatisticamente dados provenientes de arranjo cilíndrico de hidrofones. O pré-processamento é realizado com a implementação de um formador de feixes. Seções de hidrofones distintas foram escolhidas para compor o formador e avaliaram-se os estimadores. Por fim foi realizado um estudo de detecção para a seção escolhida.*

Palavras-chave: *Arranjo cilíndrico; formador de feixes; estimação.*

Abstract: *This work aims to statistically analyze data from cylindrical hydrophone array. The preprocessing is performed to implement a beam-forming. Different sections of hydrophones were chosen to compose the beam-forming and evaluated the estimators. Finally, a study was carried out for detection of the chosen section.*

Keywords: *cylindrical hydrophone array; beam-forming; estimators.*

1. Introdução

O Sistema SONAR presente no submarino é parte fundamental para que o mesmo consiga operar. Os arranjos de elementos transdutores são amplamente empregados em Sistemas Sonar. Os mais empregados são o *linear*, onde os sensores são dispostos em linha reta, usualmente igualmente espaçados (arranjos rebocados, *towed arrays*, sistemas fixos de vigilância, arranjos de flanco em submarinos) e o cilíndrico, onde os elementos transdutores são dispostos em uma superfície cilíndrica (sonares ativos e passivos de casco) [1].

Com o crescente interesse em dominar a tecnologia do SONAR, por parte da Marinha do Brasil, diversos campos de estudos, envolvendo sinais provenientes de sistemas acústicos submarinos, necessitam ser explorados.



No que tange a parte de processamentos de sinais, este trabalho visa analisar estatisticamente sinais de energia de um arranjo cilíndrico, realizando a estimação de parâmetros de um contato e do ruído.

2. Método

Para realizar a análise estatística do sinal foi necessário desenvolver um pré-processamento dos dados, de forma a obter a energia proveniente de cada direção. Para isso, foi realizado o estudo de um formador de feixes.

2.1. Arranjo Cilíndrico

Uma das geometrias possíveis para arrays é a configuração cilíndrica. Nesta configuração os hidrofones são dispostos sobre uma estrutura cilíndrica na qual estão fixados os sensores. De um modo geral, os hidrofones são distribuídos circularmente e axialmente, de acordo com a Figura 1 (a).

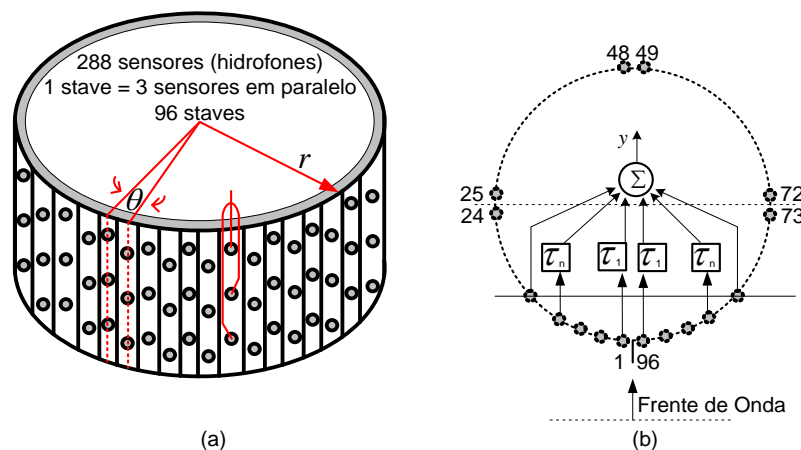


Figura 1 – Arranjo Cilíndrico

A Figura 1 (a) apresenta um arranjo cilíndrico. Ele é formado montando-se elementos transdutores de modo a compor uma superfície externa cilíndrica. Os elementos em uma mesma vertical formam um *staff* (pilha), que são, normalmente, ligações dos hidrofones verticais em paralelo [1].

Para formar um feixe de recepção, sinais de diferentes *staves* são combinados. Na Figura 1(b), é mostrado um conformador de feixes utilizando determinada seção de *staves*. Existem vários métodos de formação de feixes, no entanto, neste trabalho será abordado o Atraso e Soma no domínio da Frequência (*Delay and Sum*) [2].



2.2. Formador de Feixes

Baseado no estudo desenvolvido em [2] sabe-se que, ao “projetar” uma seção do array circular em um array em linha, este será do tipo desigualmente espaçado. Portanto, embora o princípio básico se assemelhe a um array em linha igualmente espaçado, este apresenta algumas características que os diferenciam. Este fato é ilustrado na Figura 2.

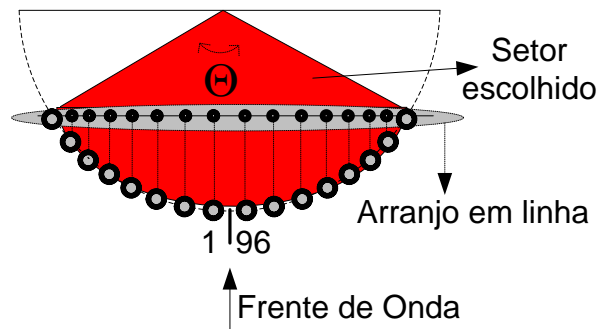


Figura 2 – Projeção do arco

O array desigualmente espaçado não apresenta uma forma analítica fechada, e, portanto, a sua forma deve ser obtida numericamente. Conseqüentemente, é difícil obter as propriedades dos lóbulos laterais da potência de saída.

Considerando uma onda plana incidente, deve-se, conforme o ângulo formado entre a direção de máxima resposta direcional do hidrofone e a direção de chegada da onda, estabelecer quantos sensores irão, efetivamente, contribuir para a formação do feixe, ou seja, quantos sensores terão a onda incidindo no seu respectivo setor de passagem e, conseqüentemente, “projetados” em um array voltado para o seu *broadside*.

Cada array desigualmente espaçado resultante da projeção estará direcionado para ondas incidentes no seu *broadside*. Ou seja, haverá 96 arrays direcionados para o seu respectivo *broadside* por toda a circunferência.

A rotação eletrônica realizada em arrays em linha efetuando a varredura espacial, aqui não será necessária, uma vez que cada array conformado estará olhando para o seu *broadside* cobrindo, então, os 360°. Estes arrays são denominados arrays pré-formados [2].

O formador de feixes foi implementado utilizando as seguintes etapas [3]:

1. Amostra-se o sinal e retira-se a FFT;
2. Ordenam-se os sensores da seção desejada
3. Retira-se metade dos bins (simetria da FFT)
4. Seleciona-se uma banda de interesse e multiplica este sinal pelo atraso correspondente à distância até a corda e a banda selecionada



5. Completa-se o sinal com zeros
6. Retira-se a IFFT e multiplica-se pelo fator de direcionalidade somando o sinal.
7. Calcula-se a energia escolhendo uma janela específica (no caso, a janela Hanning com 1024 pontos).

2.3. Análise Estatística

Foram realizados dois estudos estatísticos a partir dos dados do arranjo cilíndrico. O primeiro estudo realiza a estimação para determinadas seções Θ do formador de feixes. E no segundo, foi feito um estudo de detecção para a seção escolhida.

2.3.1. Estimação

A análise estatística foi baseada na energia de saída do formador de feixes. O diagrama da Figura 3 ilustra o estudo desenvolvido:

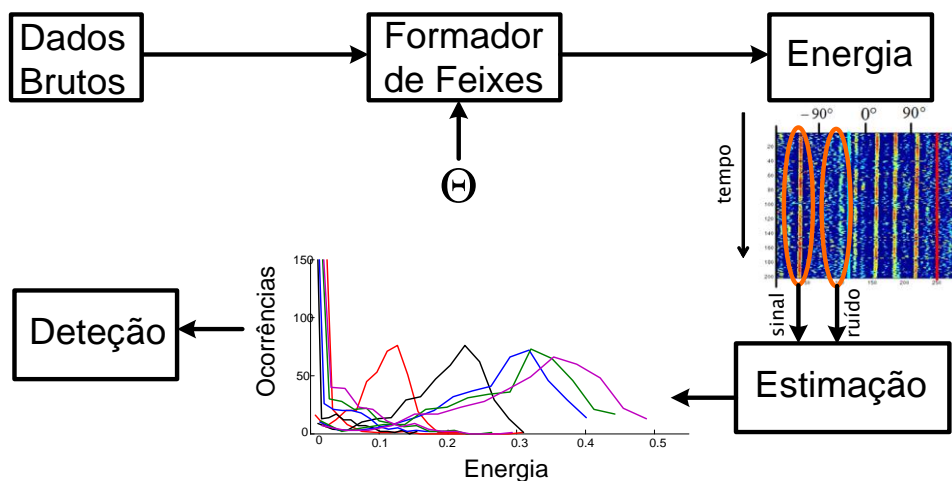


Figura 3 – Diagrama do estudo desenvolvido

A partir dos dados dos sensores do arranjo, é realizada a formação dos feixes, dependente do número de staves que compõem a seção (Θ) na direção θ , e obtém-se o valor de energia para cada feixe formado ($E(t, \theta | \Theta)$). Esta energia é visualizada em um gráfico *waterfall*, que indica a intensidade de energia em cada direção e ao longo do tempo.

Com o intuito de se obter o melhor valor de Θ , uma variação dos possíveis valores foi feita e uma análise da relação sinal-ruído (SNR) foi realizada.

Para cada valor de Θ obtêm-se os seguintes parâmetros:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$



$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \quad (2)$$

Onde μ_x e σ_x^2 são a média e a variância da variável aleatória x , respectivamente. Outro parâmetro que foi obtido é a Moda, que pode ser definida como a estimativa do valor mais provável de uma distribuição de probabilidade.

2.3.2. Detecção

No contexto desse trabalho, foram analisados a curva ROC (Receiver Operating Characteristic) e o índice SP (soma-produto). A curva ROC mostra como as probabilidades de detecção e falso alarme (respectivamente PD e PFA) variam com o patamar de decisão.

O SP é utilizado como parâmetro para escolher o patamar de decisão ótimo. Variando-se o patamar de decisão em toda sua faixa de excursão, calculam-se os valores do SP correspondentes. O SP máximo indica um patamar que apresenta alta eficiência para todas as classes [4].

O índice SP para duas classes é definido por [5]:

$$SP = \sqrt{\left(\frac{S+E}{2}\right)} \sqrt{S \cdot E} = \sqrt{\left(\frac{S+(1-FA)}{2}\right)} \sqrt{S \cdot (1-FA)} \quad (4)$$

Onde S, E e FA são a sensibilidade, especificidade e taxa de falso alarme, respectivamente.

3. Dados Utilizados

Os dados utilizados foram gravados do Arranjo Circular de Hidrofones (CHA) de um submarino classe Tupi da Marinha do Brasil. Os dados são especificados de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 - Especificações

F_s	25600Hz
N - Número de <i>Staves</i>	96
Variação dos valores de Θ	[16 24 28 30 32 34 36 40]
Tempo para o conjunto de treinamento	16 s
Tempo para o conjunto de teste	84 s
Janelamento para obter energia	1024 amostras/janela
Frequência filtragem	2028 a 4056Hz
Bins - direção	288 bins (96x3) Interpolado em 3



4. Resultados

Para cada valor de Θ pode-se observar o gráfico waterfall na Figura 4:

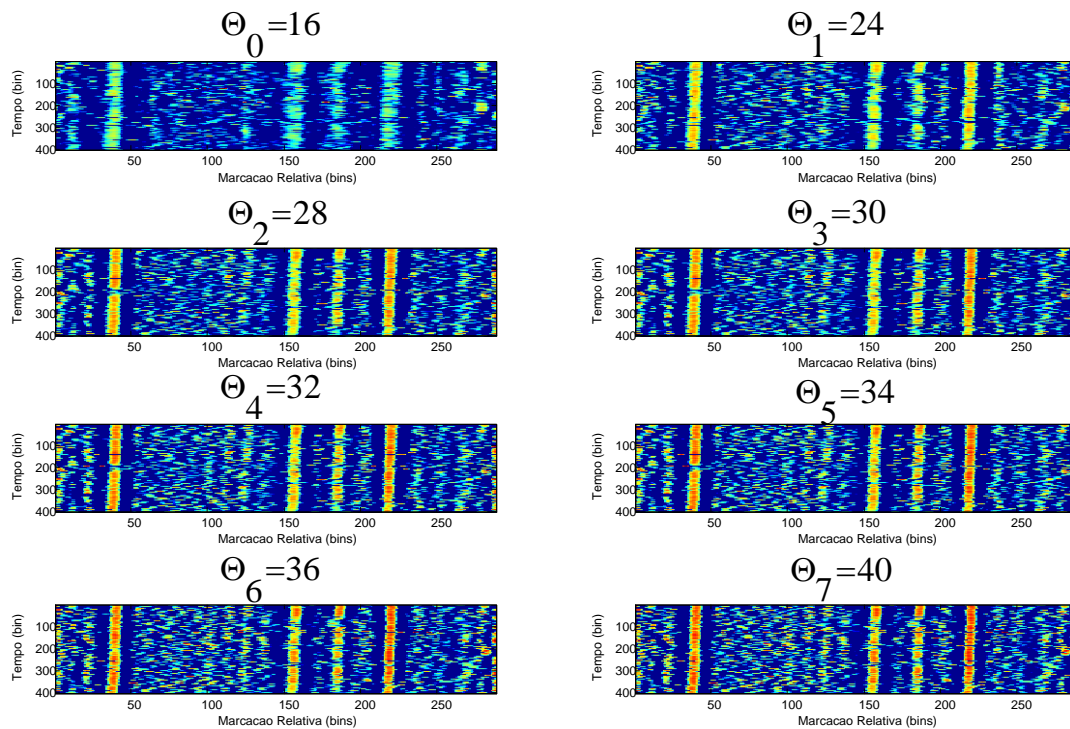


Figura 4 – Waterfall para cada Θ

No eixo da marcação, escolheu-se um bin (marcação) onde nota-se maior energia, indicando uma fonte. Para representação do ruído, foi selecionada uma faixa de bins que apresentou menor intensidade de energia e retirou-se o bin que tivesse maior média. A distribuição para o bin 39 e ruído, para cada seção, é apresentada na Figura 5.

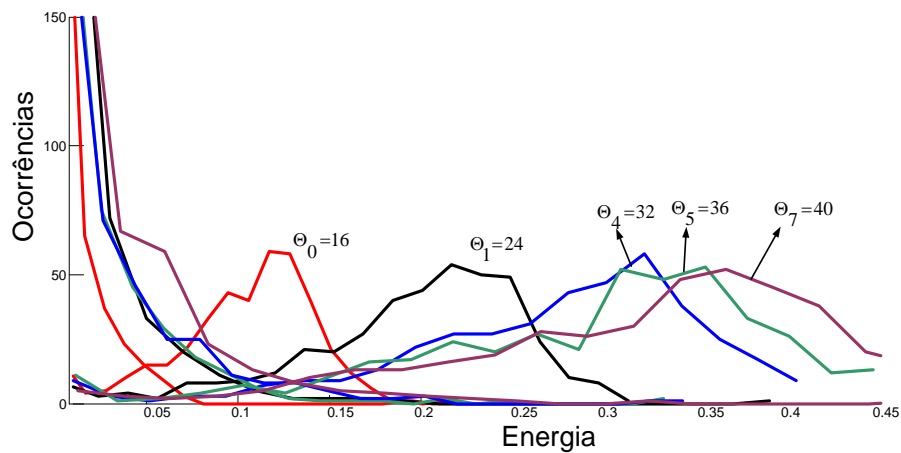


Figura 5 – Distribuição para cada seção



Verificando a SNR para cada uma dessas distribuições, obteve-se a Figura 6.

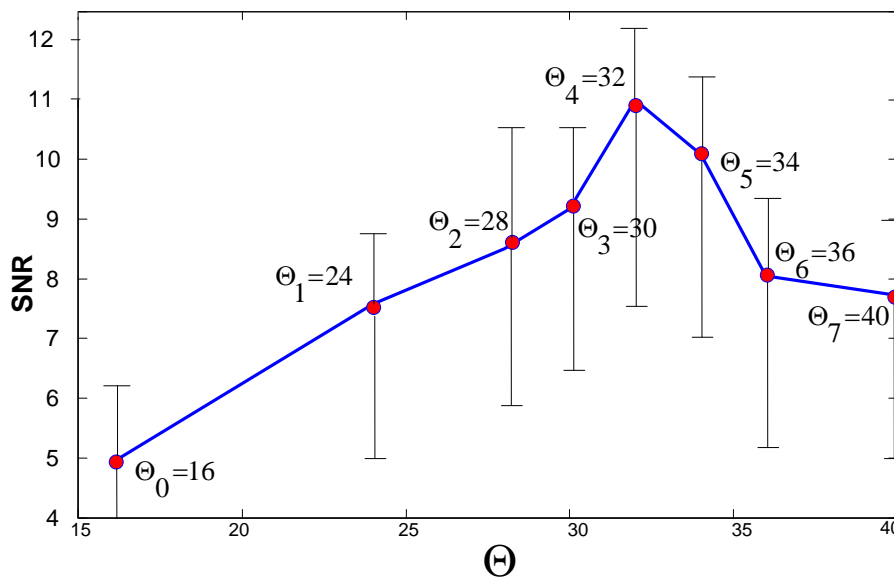


Figura 6 – SNR para cada seção

A incerteza de SNR para Θ_4 é dado por:

$$\left(\frac{\sigma_{SNR}}{SNR}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{Sinal}}{Sinal}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{ruído}}{Ruído}\right)^2 \quad (5)$$

Assim tem-se $SNR=11,3234[+1,2-3,7861]$. Apesar de não poder garantir, devido à incerteza, escolheu-se como melhor estimador Θ_4 .

Para Θ_4 nota-se a distribuição na Figura 8.

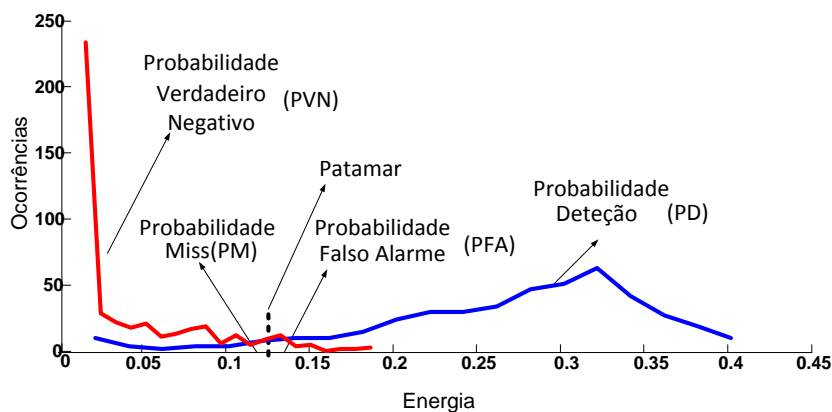


Figura 7 – Distribuição para Θ_4

Percorrendo o patamar por toda a distribuição obtêm-se as curvas ROC e SP apresentadas na Figura 8. Nota-se que o patamar ótimo, definido pelo SP, está em 0,1359 de energia.

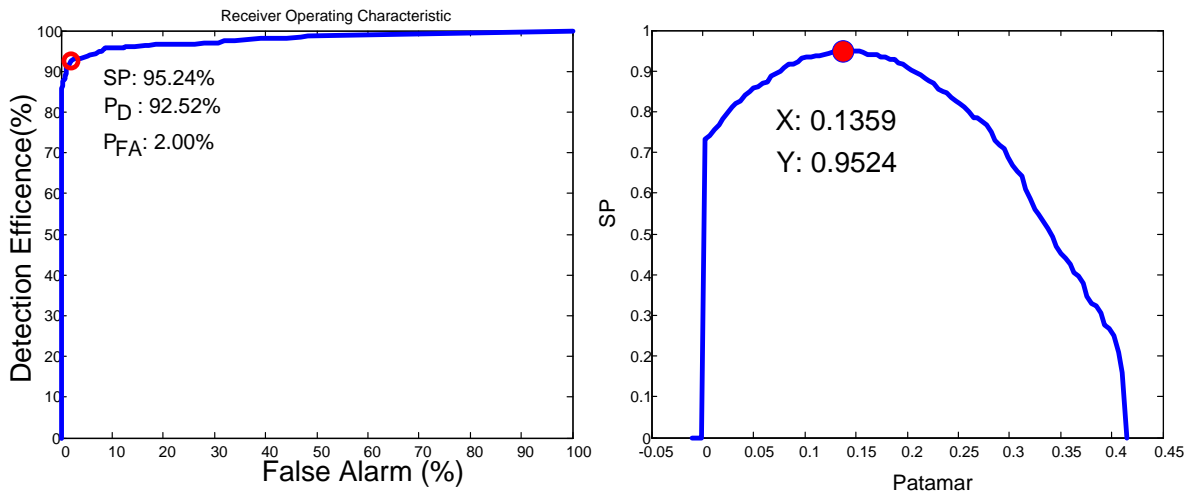


Figura 8 – Curva ROC e SP

O conjunto de teste é a gravação do sinal até 96 segundos. Este conjunto é mostrado na Figura 9.

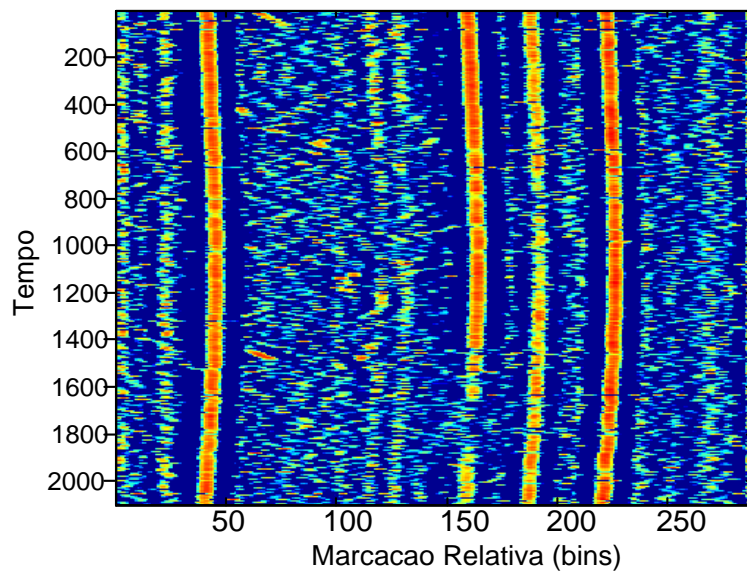


Figura 9 – conjunto de teste

Para o patamar escolhido foi observado o comportamento das distribuições suas P_D e P_{FA} .

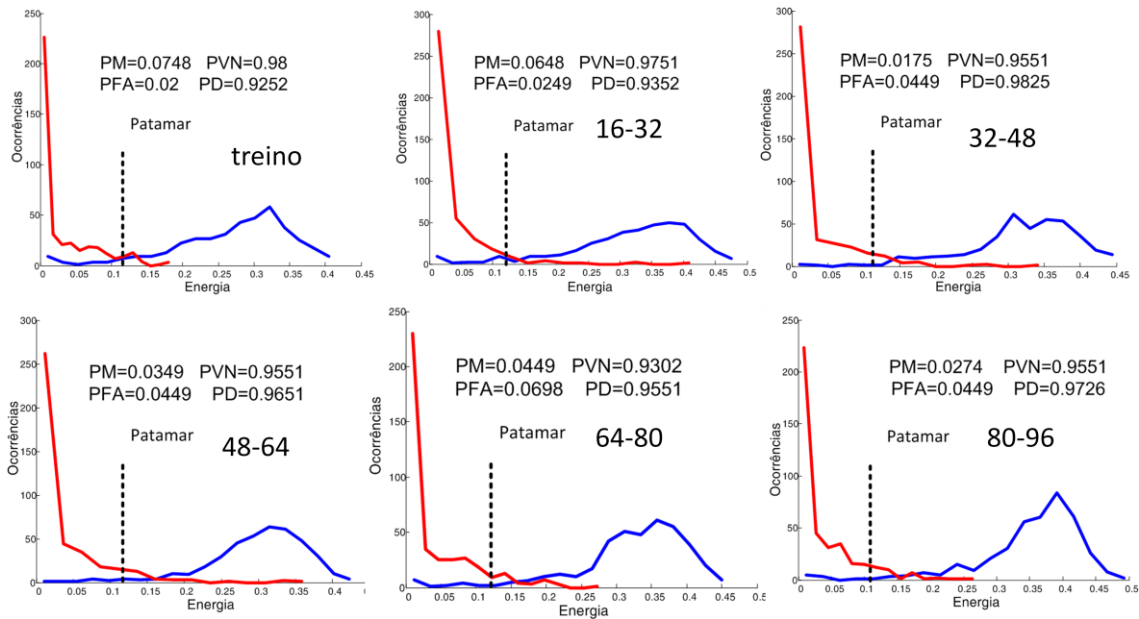


Figura 10 – Distribuições do sinal (bin 39) e ruído

Para a Figura 10 nota-se que para todo o conjunto de teste a PD se manteve acima de 90% e a PFA menor que 10%, assim, pelo fato do sinal estar bem discriminado, o detector de patamar conseguiu separar o sinal do ruído com as respectivas PD e PFA.

Escolhendo-se o bin 156 como sinal, obteve-se o resultado apresentado na Figura 11.

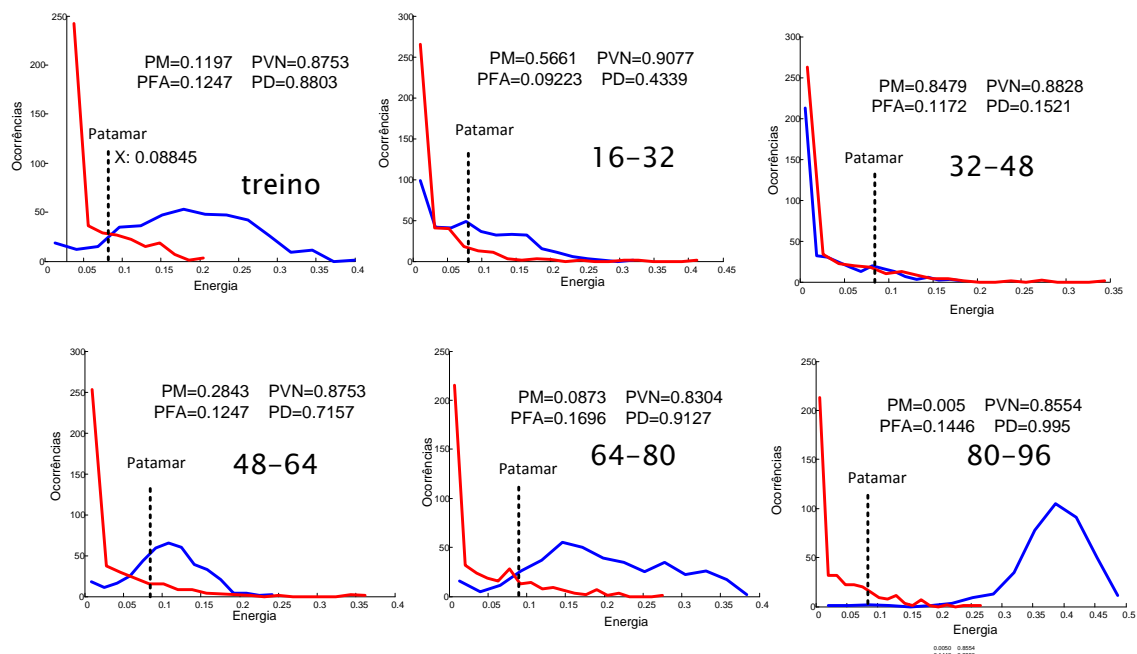


Figura 11 – Distribuição do sinal (bin 156) e ruído

Nota-se, na Figura 11, que o patamar escolhido, a partir de SP, é 0,08845. Observa-se que para os instantes de 16-32s e 32-48s, as PD são 43% e 15%,



isto ocorre pois o sinal tem baixa intensidade neste intervalo de tempo e não se distingue do ruído. Este intervalo pode ser observado na Figura 9.

5. Conclusão

Este estudo visou analisar estatisticamente os dados de energia de um arranjo cilíndrico de hidrofones presente no submarino. O pré-processamento dos dados foi feito possibilitando verificar as configurações dos sensores da forma desejada.

De acordo com estudos feitos em [2] e [3], para este arranjo de 96 staves utiliza-se 32 sensores. Neste estudo da energia, mostrou-se estatisticamente que não é possível afirmar, devido à incerteza, que 32 é o número ótimo de staves. No entanto, este número pode ser considerado uma boa opção.

Foi realizado um detector de patamar para um conjunto de teste onde pode-se verificar que é possível detectar, com PD acima de 90% e PFA abaixo de 10%. Em outro caso analisado notou-se a baixa PD quanto o sinal tem baixa intensidade sendo assim o detector de patamar inadequado.

6. Referências

- [1] Souza L. A. L., Princípios de Sonar, Documento IPqM-013-0177-ET/97, 29/DEZ/1997.
- [2] Rodrigues P. S. Márcio, “Estudo e Análise de Métodos Empregados em Array Cilíndrico Passivo para Determinação da Direção de Fontes Sonoras”, Dissertação Mestrado – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- [3] Felzky A. Marcelo, Uma Contribuição às Técnicas de Localização de Fontes Sonoras Através de um Sistema Sonar Passivo Utilizando Filtros Fracionários, Dissertação Mestrado – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- [4] Simas F. F. Eduardo, Análise Não-Linear de Componentes Independentes para uma Filtragem Online Baseada em Calorimetria de Alta Energia e com Fina Segmentação, Dissertação Doutorado – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- [5] Dos Anjos, A., Torres, R., Seixas, J., Neural triggering system operating on high resolution calorimetry information”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, v. 559, n. 1, pp. 134-138, 2006.