

## Mapeamento de correntes superficiais oceânicas da Bacia de Campos partir do sistema CODAR SeaSonde® – Testes de desempenho do sistema e resultados preliminares

Manuela Quintanilha Tiengo Rahy<sup>1</sup>  
Carlos Leandro da Silva Junior<sup>1</sup>  
Henrique Fernandes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ambipetro 26 Consultoria em Meio Ambiente e Petróleo LTDA  
Av Rio Branco 181, sala 1503 – 20040-007 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
manuela.rahy@ambipetro.com.br  
carlos.leandro@ambipetro.com.br

<sup>2</sup> PETROBRAS/ENGENHARIA/IEEPT/EEPTM/EDI  
Av Almirante Barroso 81, 11º andar - 20031-004 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
henriquef@petrobras.com.br

**Abstract.** The SeaSonde® is a High Frequency (HF) Radar, developed and manufactured by the Company CODAR Ocean Sensors, in order to track sea surface currents with high spatial and temporal resolution. Although SeaSonde is widely used around the world, the first SeaSonde of South Hemisphere was bought by PETROBRAS to monitor the currents at Campos Basin. PETROBRAS has chosen the Long Range configuration because of the higher range of coverage of this model. The SeaSonde® uses two remote sites, each one having two compact antennas (one transmitter and one receiver). To find out the best locations to place the remote sites, some tests had to be done at all the locations available. The locations that were pointed out as possible good due their open view to the ocean were Búzios, Cabo Frio, Casimiro de Abreu and Campos dos Goytacazes. The system was mounted at each location and measured radial data for a few hours. It was also measured the azimuth of the receptive antenna and the irradiation pattern of the antennas at each location. The high quality of the data obtained at Foguete Beach (at Cabo Frio) and São Tomé Lighthouse (at Campos dos Goytacazes) proved that those are the best locations to place the remote sites.

**Palavras-chave:** CODAR, HF Radar, correntes superficiais, Bacia de Campos, oceanografia.

## 1. Introdução

O avanço na tecnologia para extração de petróleo/gás sob grandes lâminas d'água e as novas descobertas de campos promissores localizados no oceano vem se refletindo em um aumento no número de unidades marítimas atuando na Bacia de Campos (BC). Visando aumentar a segurança operacional de suas atividades em alto mar, a PETROBRAS iniciou o monitoramento das condições meteo-oceanográficas da região a partir da instalação de instrumentos oceanográficos em suas plataformas de produção e fundeios posicionados estrategicamente ao longo da BC, para medidas de dados *insitu*, e imagens de satélite de alta resolução para o reconhecimento dos padrões de temperatura da superfície do mar (TSM). Com exceção das imagens termais do AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), os equipamentos instalados, apesar de medirem correntes ao longo da coluna d'água, forneciam somente uma informação pontual dos parâmetros em questão, o que estimulou a busca por uma nova tecnologia que permitisse uma visualização integrada e de meso-escala das correntes de superfície. Esperava-se assim, obter informações qualitativas e quantitativas dos principais fenômenos oceanográficos de superfície, a partir da transmissão dos dados em tempo-real, para que estes pudessem ser utilizados em tomadas de decisão operacional. Foi com este objetivo que a PETROBRAS adquiriu o primeiro sistema CODAR (*Coastal Ocean Dynamics Applications Radar*) SeaSonde® do Hemisfério Sul e confiou sua instalação, operação e manutenção à empresa AMBIPETRO.

O CODAR é um radar de alta frequência que mapeia remotamente correntes superficiais de uma região em tempo real. Apesar de pouco conhecido no Brasil, o CODAR vem sendo amplamente utilizado pela comunidade oceanográfica mundo afora e é componente fundamental de grandes projetos de monitoramento oceanográfico internacionais (Schofield 2005, Terril et al 2007, Kohut et al 2008). O principal produto gerado pelo CODAR são mapas de correntes superficiais, os quais possuem uma vasta aplicação tanto científica quanto operacional, tais como: estudos de dinâmica dos oceanos (Kohut 2002, Silva Jr. et al 2008); suporte às operações de busca e resgate no mar (Ullman et al 2006); validação de modelos de circulação oceânica; assimilação em modelos de deriva de óleo e utilização direta dos dados em ações de contingência (Long 2007).

O sistema é composto por duas estações remotas, cada qual contendo pelo menos uma antena transmissora e uma antena receptora, e uma estação central de controle e processamento dos dados. As estações remotas precisam ser instaladas na costa e um dos principais pré-requisitos é a visada livre para o oceano. A escolha do melhor local para instalação das estações remotas é delicado e requer a realização de testes específicos para determinar o ponto ideal. O presente trabalho apresenta os resultados dos testes de desempenho realizados para determinar o local de instalação das estações remotas CODAR para mapeamento das correntes superficiais da Bacia de Campos.

## 2. Princípio de funcionamento do sistema CODAR SeaSonde®

As estações remotas costeiras têm a função de obter a componente radial das correntes superficiais do oceano. Depois de obtidas as componentes radiais, a estação central utiliza esses dados para calcular os vetores de correntes totais. A antena transmissora instalada nas estações remotas emite um sinal que reflete na água e retorna ao respectivo receptor. A

quantidade de energia que chega ao receptor é proporcional à rugosidade da superfície do mar (retro-espalhamento). Devido ao fenômeno conhecido como Ressonância de Bragg, são observados picos no sinal recebido pela antena receptora. Este fenômeno ocorre quando há uma interação entre o sinal e ondas capilares cujo comprimento de onda é a metade do comprimento de onda do sinal transmitido. Tal interação resulta em ressonância e em conseqüentes picos de intensidade no sinal de retorno. Dependendo do modelo de SeaSonde® utilizado, o sinal pode ser transmitido nas bandas de frequências de 5, 13, 25 e 48 MHz.

O sinal refletido pelas ondas capilares possui uma frequência que difere do sinal transmitido devido ao efeito Doppler, associado à velocidade de propagação das ondas capilares. Porém, a partir da análise do espectro Doppler, nota-se que os desvios observados no espectro são diferentes daqueles calculados utilizando-se a teoria linear de ondas. Isto ocorre devido à presença das correntes superficiais.

Os dados da componente radial de cada célula de resolução são armazenados em coordenadas polares, ou seja, cada valor medido está associado a uma distância e a um ângulo em relação ao radar. A distância é calculada a partir do tempo entre a emissão do sinal e a recepção do mesmo. Para a obtenção do ângulo, são utilizadas 3 antenas compactas. A partir dos padrões angulares conhecidos de cada uma e de um complexo algoritmo de posicionamento, chamado MUSIC (Multiple Signal Classification), o ângulo é calculado.

Os arquivos de dados obtidos por cada estação remota são enviados para um computador central, onde são combinados para produzir os vetores de corrente total sobre a área de interseção dos dois radares.

### **3. Metodologia**

O sistema utilizado no presente trabalho foi um CODAR SeaSonde® do modelo Long Range que opera em uma frequência de 4,7MHz. Composto por duas estações remotas, o sistema deveria ser instalado de modo que fosse capaz de produzir mapas de correntes superficiais na região onde estão localizadas as principais plataformas de produção de petróleo da PETROBRAS na Bacia de Campos.

Existe uma significativa relação entre o desempenho do sistema e a escolha do local de instalação das estações remotas. As antenas de transmissão (Figura 1a) e recepção (Figura 1b) são do tipo *whip* e precisam ficar distantes cerca de 60 metros (um comprimento de onda) a fim de evitar interferências eletromagnéticas mútuas. A potência média irradiada pelo sistema é de 40 watts e o acoplamento do sinal, polarizado verticalmente, com a água do mar (condutora elétrica) possibilita uma propagação capaz de acompanhar a curvatura da terra e, dessa forma, coletar dados da superfície do mar a distâncias que atingem mais de 200 km, muito além do horizonte de visada direta. A localização das antenas deve permitir uma boa visualização da área de interesse e devem estar localizadas até 150 m da linha média da água. Estruturas elevadas localizadas atrás da antena devem estar no mínimo a 50 m de distância. As antenas são conectadas por cabo (máximo de 200 m) ao chassi transmissor e receptor do radar, que estão ligados a um computador especialmente configurado. Além disso, as estações remotas precisam ser instaladas de modo que a interseção dos sinais emitidos seja próxima de 90°.

Os testes de performance para a determinação correta do local de instalação do sistema foram realizados no período que se estende de 13 a 21 de setembro de 2006. A fim de obedecer aos pré-requisitos de ter um campo de visada direto para Bacia de Campos e manter uma interseção de 90° entre as áreas de cobertura dos radares, os seguintes locais foram escolhidos

como potenciais para localização das estações remotas: Farol de São Tomé (Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro), Elevado de João Fernandez (Búzios - Rio de Janeiro), Barra de São João (Casimiro de Abreu - Rio de Janeiro) e Praia do Foguete (Cabo Frio - Rio de Janeiro).

Os testes consistiram em: definir o azimute da antena de recepção (com a utilização de bússola e GPS) e medir o padrão de irradiação das antenas (com a utilização de transponder e GPS instalado em uma pequena embarcação). Esses procedimentos são importantes para a configuração do sistema e para o correto processamento dos dados coletados a fim de que se obtenham valores corretos da corrente oceânica medida.

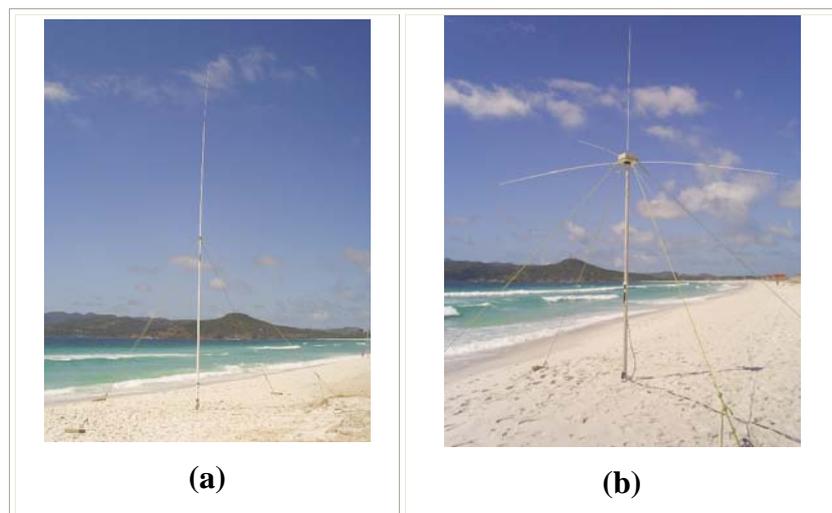


Figura 1 – (a) Antena transmissora do sistema CODAR SeaSonde®. (b) Antena receptora do sistema CODAR SeaSonde®.

#### 4. Resultados e Discussão

As estações realizadas em Farol de São Tomé, Praia do Foguete e Barra de São João apresentaram uma boa performance. A estação de Búzios foi rejeitada, pois interferências eletromagnéticas e o relevo local prejudicaram a qualidade dos dados (Figura 4).

Durante os testes nos locais escolhidos, por algumas horas o sistema processou dados coletados durante 17 minutos de aquisição para o cálculo do espectro do sinal (Figura 2). Ao final do processamento, cada estação remota gera um mapa de componentes radiais de corrente. Dados coletado por um transponder foram utilizado para corrigir os mapas em questão. O padrão de irradiação do sistema nas estações em que foi realizada medição com o transponder está apresentado na Figura 3. O padrão ideal seria composto por círculos.

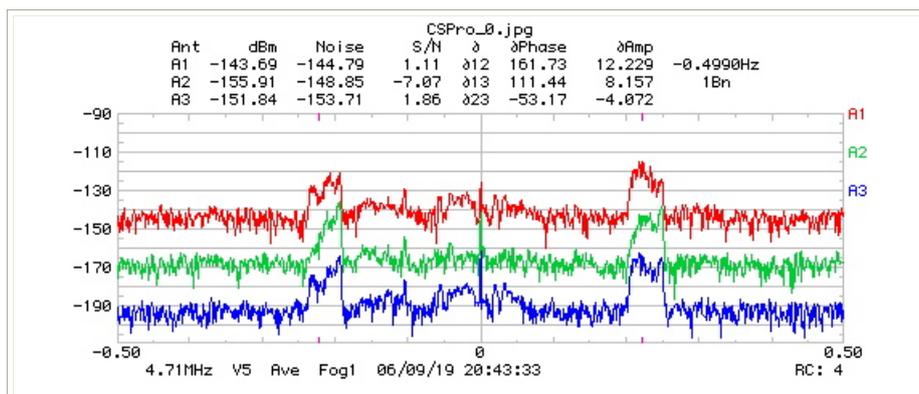


Figura 2 - Exemplo de espectro de frequência coletado durante os testes preliminares.

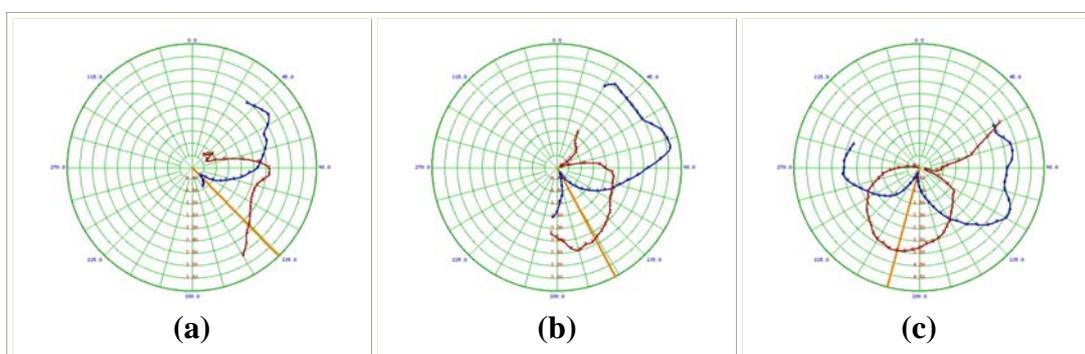


Figura 3 – Padrão de irradiação do sistema nas estações: (a) Praia do Foguete (b) Barra de São João (c) Farol de São Tomé.

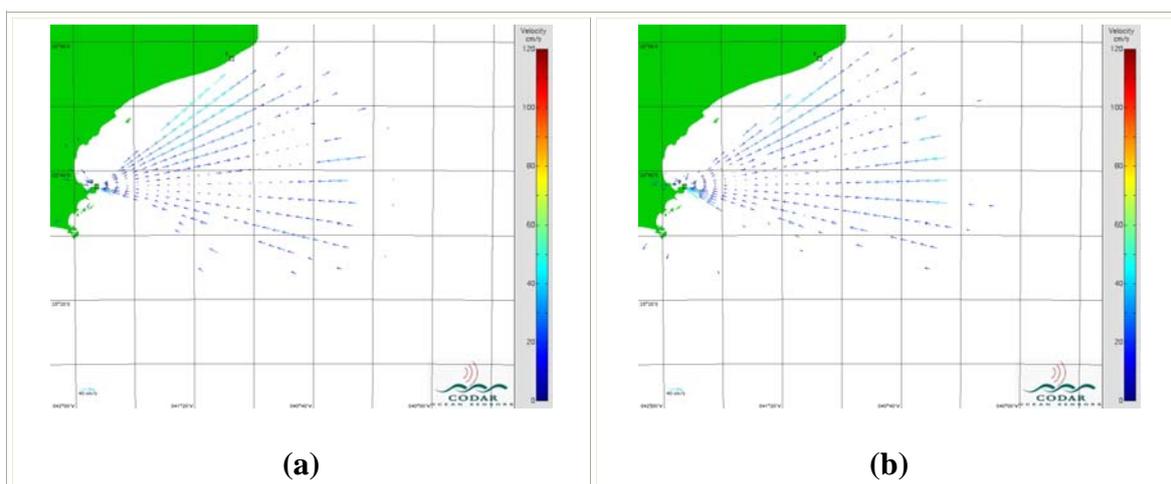


Figura 4 - Mapas radiais da estação de Búzios antes (a) e após (b) a correção do padrão de irradiação do sistema.

As Figuras 5 a 7 são exemplos de mapas de componentes radiais de correntes coletados nas estações Praia do Foguete, Barra de São João e Farol de São Tomé, respectivamente, apresentando à esquerda os dados antes da correção do padrão de irradiação do sistema e à direita, os dados corrigidos.

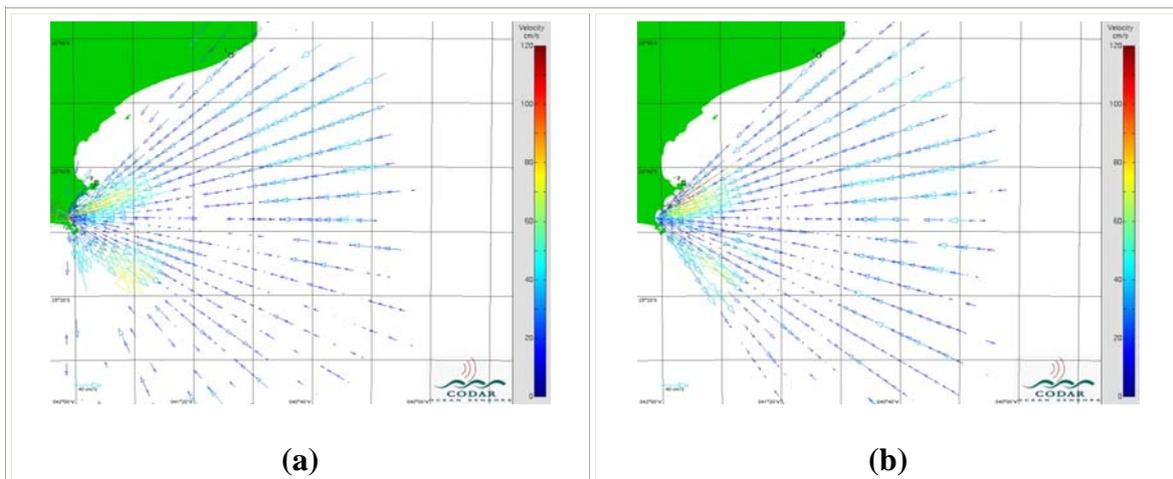


Figura 5 - Mapas radiais da estação da Praia do Foguete antes (a) e após (b) a correção do padrão de irradiação do sistema.

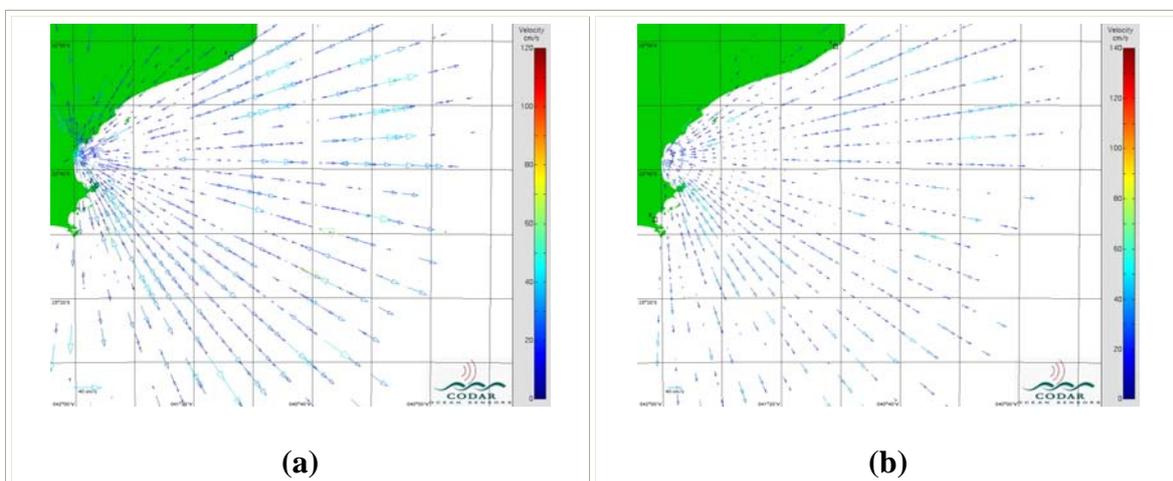


Figura 6 - Mapas radiais da estação de Barra de São João antes (a) e após (b) a correção do padrão de irradiação do sistema.

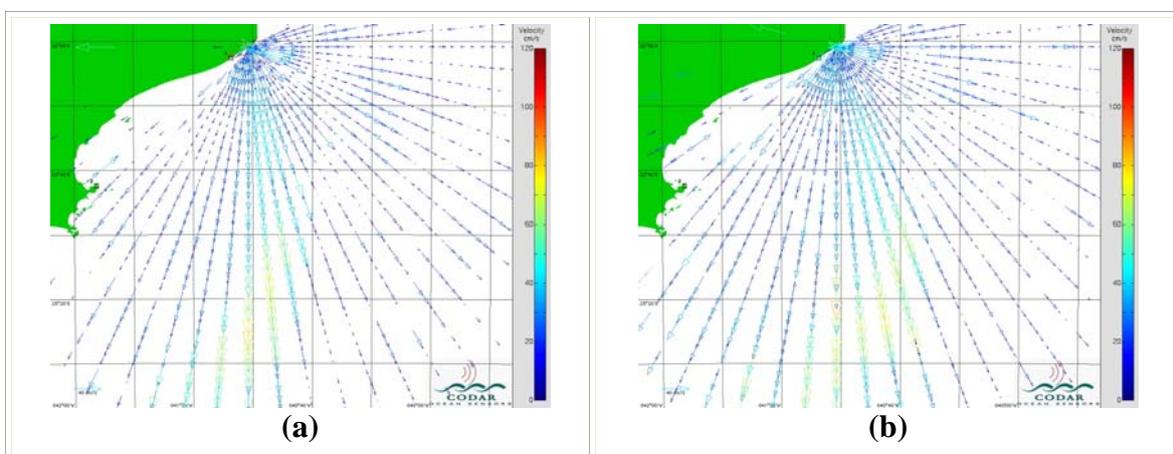


Figura 7 - Mapas radiais da estação de Farol de São Tomé antes (a) e após (b) a correção do padrão de irradiação do sistema.

Como pode ser observado nas figuras anteriores, as estações que mostraram melhor desempenho foram Farol de São Tomé e a Praia do Foguete. Para visualizar a cobertura final do sistema CODAR SeaSonde® obtida na Baía de Campos, as informações de correntes radiais das estações escolhidas foram cruzadas e foi feita uma simulação de aquisição simultânea por meio da alteração da hora no arquivo bruto de dados e do envio dos dados das duas estações (já com o mesmo horário) para a confecção de mapa total de correntes oceânicas (Figura 8).

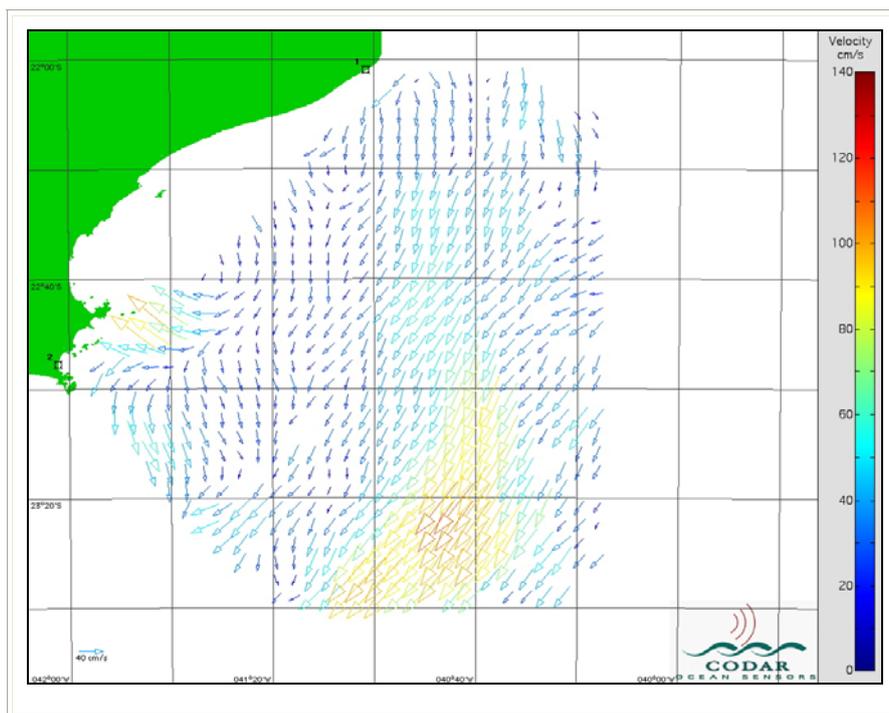


Figura 8 - Mapa total de correntes superficiais simulado com as estações da Praia do Foguete e de Farol de São Tomé.

## 5. Conclusões

Os testes de desempenho do sistema CODAR SeaSonde® Long Range apontaram as estações da Praia do Foguete e Farol de São Tomé, respectivamente como os melhores locais de instalação do sistema.

Os testes permitiram concluir que a cobertura obtida com o sistema instalado nessas estações costeiras é bastante satisfatória para o monitoramento de correntes oceânicas superficiais da Baía de Campos. Além disso, o alcance do sistema mostrou-se compatível com o anunciado pelo fabricante atingindo uma distância de 200 km da costa.

Por fim, os testes serviram para PETROBRAS definir os locais exatos para a obtenção das licenças de instalação e operação do sistema CODAR e como consequência a construção de toda infra-estrutura necessária ao monitoramento contínuo de correntes superficiais na Baía de Campos, além de estimular a empresa a estudar a viabilidade de instalação de outros sistemas semelhantes em outras bacias de produção de petróleo e gás no Brasil.

## Agradecimentos

À PETROBRAS por acreditar e financiar este projeto inovador garantido, mais uma vez, o compromisso da empresa com questões de Segurança, Meio Ambiente e Saúde – SMS. À equipe técnica da CODAR em particular ao Sr. Chad, que participou ativamente dos testes realizados aqui no Brasil e por fim, um agradecimento especial à empresa AMBIDADOS pela sua atuação expressiva na mobilização e operação dos testes com o sistema.

## Referências Bibliográficas

Kohut, J. **Spatial Current Structure Observed with a Calibrated HF Radar System: The Influence of Local Forcing, Stratification, and Topography on the Inner Shelf**. 2002. Ph.D. Dissertation submitted to Rutgers University. 2002.

Kohut, J.; Roarty, H.; Lichtenwalner, S.; Glenn, S.; Barrick, D.; Lipa, B.; Allen, A. The Mid-Atlantic Regional Coastal Ocean Observing System: Serving coast guard needs in the mid-atlantic bight. In: US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES, 2008. Artigos, p. 1-5, DOI: 10.1109/BALTIC.2008.4625502. Disponível em: < [http://www.codar.com/bib\\_00-04.htm#latestadditions](http://www.codar.com/bib_00-04.htm#latestadditions)> Acesso em: 10 nov. 2008.

Long, R.; Barrick, D. Surface Current Measurements During Safe Seas 2006: Comparison and Validation of Measurements from High-Frequency Radar and the Quick Release Estuarine Buoy. Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS'07 Conference, Vancouver: 2007. Disponível em: < [http://www.codar.com/bib\\_00-04.htm#latestadditions](http://www.codar.com/bib_00-04.htm#latestadditions)> Acesso em: 10 nov. 2008.

Schofield, O.; Kohut, J.; Glenn, S. The New Jersey Shelf Observing System. **Sea Technology**, v. 46, n.9, p.15-21, 2005.

Silva Jr, C. L.; Lomonaco, D. R.; Fernandez, H. C. A passagem de um sistema frontal e a mudança na circulação superficial a partir de dados de correntes medidos com radar de alta frequência e dados de vento de escaterômetro. In: III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza: 2008. CD-ROM.

Terrill, E.; Otero, M.; Hazard, L. Mapping Surface Currents Around U.S. Coasts. **Sea Technology**, v. 48, n. 9, p. 29-33, 2007.

Ullman, D. S.; O'Donnell, J.; Kohut, J.; Fake, T.; Allen, A. Trajectory prediction using HF radar surface currents: Monte Carlo simulations of prediction uncertainties. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, C12005, doi:10.1029/2006JC003715, 2006.