

## Estudo da aplicação de filtros de detecção de bordas na identificação da frente termal da Corrente do Brasil

Fabian Gualda Dias<sup>1</sup>  
Helena Cachanhuk Soares<sup>1</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{fabidias, helenacs}@dsr.inpe.br  
lelia@dpi.inpe.br

**Abstract:** Oceanic thermal fronts are characterized for intense horizontal gradients of temperature. The identification of those fronts using digital image processing techniques is possible once they are represented as edges separating two regions of different digital number. Five edge detection methods were applied to trace the position of the surface inshore thermal front of the Brazil Current in the Southeast Brazilian coast. A Sea Surface Temperature (SST) image derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) was used for this purpose. The results were compared to the front position drawn manually by a trained operator. Prewitt and Sobel methods had similar intermediate results while Roberts showed to be very sensitive to noise. Canny method had the better results which were very coherent with the front position expected.

**Palavras-chave:** remote sensing, thermal front, edge detector, sensoriamento remoto, frente térmica, detector de bordas.

### 1. Introdução

Uma frente oceânica pode ser definida como uma região de fronteira entre massas de água de propriedades distintas (Beer, 1983). Sendo assim, as frentes são caracterizadas por intensos gradientes horizontais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), salinidade, propriedades biológicas e químicas (Hopkins et al., 2010).

A identificação das frentes oceânicas é de grande importância para aplicações como a pesca, pois estas áreas afetam de forma complexa a dinâmica das populações marinhas (Olson et al. 1994). Estas frentes oceânicas podem ser identificadas por meio de técnicas de processamento digital de imagem, uma vez que podem ser tratadas como bordas que são pontos na imagem com níveis de cinza muito diferentes. A maioria das técnicas de detecção de bordas utiliza um operador derivativo local de primeira ou segunda ordem, juntamente com alguma técnica de regularização para reduzir os efeitos de ruído (Boaventura e Gonzaga, 2007).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é testar diferentes filtros passa-altas para detectar bordas em uma imagem TSM da costa brasileira e avaliar os resultados de acordo com um mapeamento visual da frente da Corrente do Brasil (CB).

### 2. Materiais e Métodos

A região de estudo adotada está localizada entre 20-30°S e 50-30°W na costa oeste do atlântico sul abrangendo uma área equivalente a  $15 \times 10^4$  Km<sup>2</sup> (Lorenzetti et al., 2009). Nessa área são encontradas feições oceânicas importantes, como a Plataforma Continental Sudeste, a CB que bordejia a costa brasileira e carrega águas quentes e salinas provenientes da região tropical em direção ao sul, além da intensa ressurgência em Cabo Frio (RJ). Devido ao contraste entre as águas quentes associadas à CB e as águas mais frias sobre a plataforma forma-se a frente termal associada à quebra de plataforma nesta região. Ao longo desta frente o contraste de temperatura entre as águas costeiras e a CB tende a variar de 1 a 3 °C em poucos quilômetros (Lorenzetti et al., 2009).

Neste trabalho foi utilizada uma imagem adquirida pelo radiômetro multiespectral *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo dos satélites da série TIROS-N da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Este radiômetro utiliza as informações de bandas centradas nos comprimentos de onda de 3,7  $\mu\text{m}$ , 10,8  $\mu\text{m}$  e 12  $\mu\text{m}$  para a estimativa de TSM (Souza et al. 2005). A imagem foi obtida através da base de dados Pathfinder versão 5, disponível no endereço <http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/> (NOAA, 2007). Esta imagem é um produto *All-pixel SST*, o qual possui 4 km de resolução espacial e corresponde a uma composição mensal de junho de 1996. Tal produto é ideal para visualização de fenômenos de mesoescala pois não interpola os pixels (NOAA, 2010). A escolha desta imagem foi devida à presença visível de frentes térmicas e à baixa contaminação por nuvens.

Antes da aplicação dos filtros, as imagens foram recortadas no limite da área de interesse e os valores digitais foram convertidos para valores de TSM através do aplicativo MATLAB. Os filtros de detecção de bordas, utilizados neste trabalho, também estão implementados nesse aplicativo. Uma breve revisão dos filtros utilizados no trabalho é dada a seguir.

### 2.1 Filtros Roberts, Sobel e Prewitt

O filtro de Roberts é o mais antigo e simples algoritmo de detecção de bordas. Utiliza um par de matrizes 2x2 deslocados em 90° para encontrar as mudanças nas direções x e y. Estas máscaras são desenhadas para ter resposta máxima com bordas orientadas em 45°. O filtro de Roberts é de fácil implementação e de cálculo rápido. Devido ao pequeno tamanho da máscara, entretanto, as respostas são muito sensíveis a ruídos (Seara, 1998). A Figura 1 apresenta as máscaras dos operadores Roberts, Sobel e Prewitt.

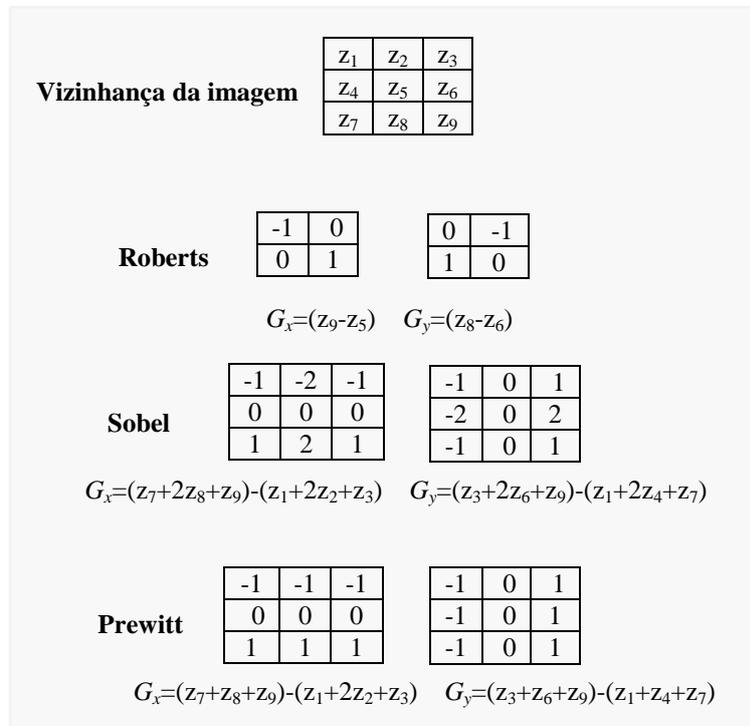


Figura 1. Máscaras detectoras de bordas e derivadas de primeira ordem associadas.  
 Fonte: Gonzalez et al. (2004)

O filtro Sobel utiliza duas máscaras deslocadas em  $90^\circ$  para encontrar os gradientes vertical e horizontal das bordas. A formulação matemática para encontrar o gradiente e o ângulo são as mesmas do operador de Roberts, entretanto, o operador Sobel é muito menos sensível ao ruído devido às máscaras serem de  $3 \times 3$  ao invés de  $2 \times 2$  (Seara, 1998).

O filtro Prewitt utiliza duas máscaras  $3 \times 3$  que são convoluídas com a imagem original para calcular as derivadas nas direções vertical e horizontal. O detector de bordas Prewitt é muito apropriado para estimar a magnitude e orientação das bordas. De acordo com Gonzalez et al. (2004) esse operador é mais simples de ser implementado que o Sobel, mas apresenta mais ruídos.

## 2.2 Canny

No operador Canny a imagem é suavizada com as derivadas de primeira ordem do filtro Gaussiano na direção do gradiente local seguido pela detecção de bordas por dois limiares (Boaventura e Gonzaga, 2007). As bordas fracas são incluídas na imagem de saída apenas se estas estão conectadas às bordas fortes. Desta forma, este processo é menos suscetível a ruídos e mais coerente com as bordas fracas além de fragmentar menos tais bordas. A convolução é relativamente simples de ser aplicada, mas é cara computacionalmente (Seara, 1998). Wall et al. (2008) encontraram bons resultados ao empregar esse operador para a identificação de frentes associados a gradientes de clorofila.

## 2.3 Laplacian of a Gaussian (LoG)

O filtro Laplaciano é uma medida isotrópica bidimensional da derivada de segunda ordem de uma imagem. O Laplaciano de uma imagem realça regiões de rápida variação de intensidade e assim é usado para detecção de bordas. Como este operador é muito sensível a ruídos é comum aplicar primeiramente um filtro de suavização Gaussiano. Para um processamento mais rápido geralmente o filtro Laplaciano está associado ao filtro Gaussiano através de uma operação de convolução, gerando um filtro híbrido chamado Laplaciano do Gaussiano. Após a filtragem, o operador procura por valores que cruzam o zero e estão associados à ocorrência de bordas (Fisher et al. 2003).

## 2.4 Limiarização para detecção de bordas

Para cada um dos filtros utilizados foi possível especificar um valor de limiar para representar a sensibilidade de cada operador. Para os detectores de Roberts, Sobel, Prewitt, e LoG todas as bordas mais fracas que este limiar foram descartadas. Para o operador Canny foram utilizados dois limiares, um alto e um baixo. Neste operador a detecção se inicia pelo limiar menos sensível e então o limiar de maior sensibilidade é utilizado para incluir as bordas fracas que estejam conectadas às fortes. Para escolha dos valores limiares mais adequados aos propósitos deste trabalho foi utilizado como ponto de partida um limiar selecionado de forma heurística e então este valor foi ajustado para cima ou para baixo para incluir mais ou menos os pixels de borda significativos. Os valores dos limiares definidos ( $t$ ) para cada filtro são mostrados nas legendas das figuras que ilustram os resultados.

Para a validação dos resultados a posição da frente térmica foi identificada visualmente e traçada manualmente na imagem por um intérprete.

### 3. Resultados e Discussões

A Figura 2b apresenta os contornos da frente térmica, associada a CB, traçados por um interprete treinado por meio da análise da imagem de TSM do mês de junho de 1996 (Figura 2.a) para a área de estudo. Na região intermediária da frente, associado ao meandramento da CB, existe a quase formação de um vórtice (centrado em aproximadamente 23°S, 44°W), que produziu uma interrupção da frente, dificultando a identificação do posicionamento da mesma.

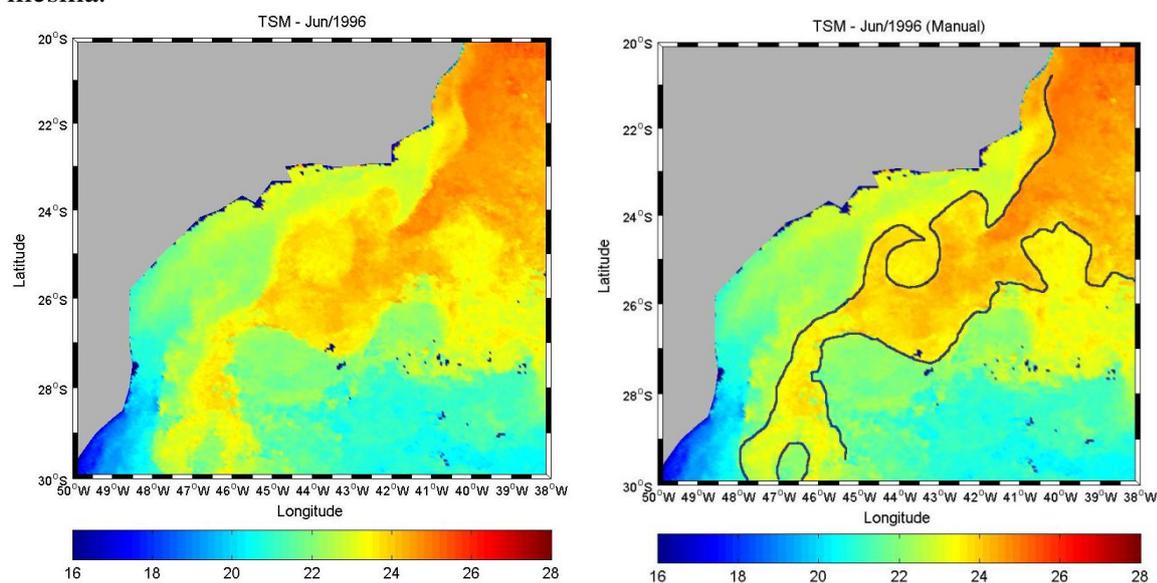


Figura 2. a) Imagem de TSM de junho de 1996. b) Contorno da frente definida visualmente por um operador treinado.

Observando os mapas de bordas gerados pelos diferentes filtros, foi notado um ruído na porção inferior direita da imagem, onde a frente começa a dissipar e existe a presença de algumas nuvens. Esta região se revelou crítica para todos os operadores aplicados. O vórtice discutido anteriormente apresenta baixo gradiente de temperatura e, provavelmente devido a isto, não pode ser identificado por nenhum operador. O operador Roberts (Figura 3.a) realça alguns trechos importantes da frente, entretanto, nota-se que a linha identificada pelo filtro não é contínua devido à maior sensibilidade que esse operador apresenta aos ruídos. Nota-se ainda que a parte norte inicial da frente não é completamente traçada. Em relação ao Roberts, o operador Sobel (Figura 3.b) apresenta maior continuidade da linha que seria associada à frente, uma vez que ocorre uma menor distorção associada aos ruídos. O resultado da aplicação do operador Prewitt (Figura 3.c) foi muito similar ao obtido pelo Sobel. Segundo Gonzalez et al. (2004), o filtro Prewitt apresenta melhores resultados em termos de ruídos quando comparado ao Sobel. Entretanto, isto não pode ser verificado com clareza neste experimento.

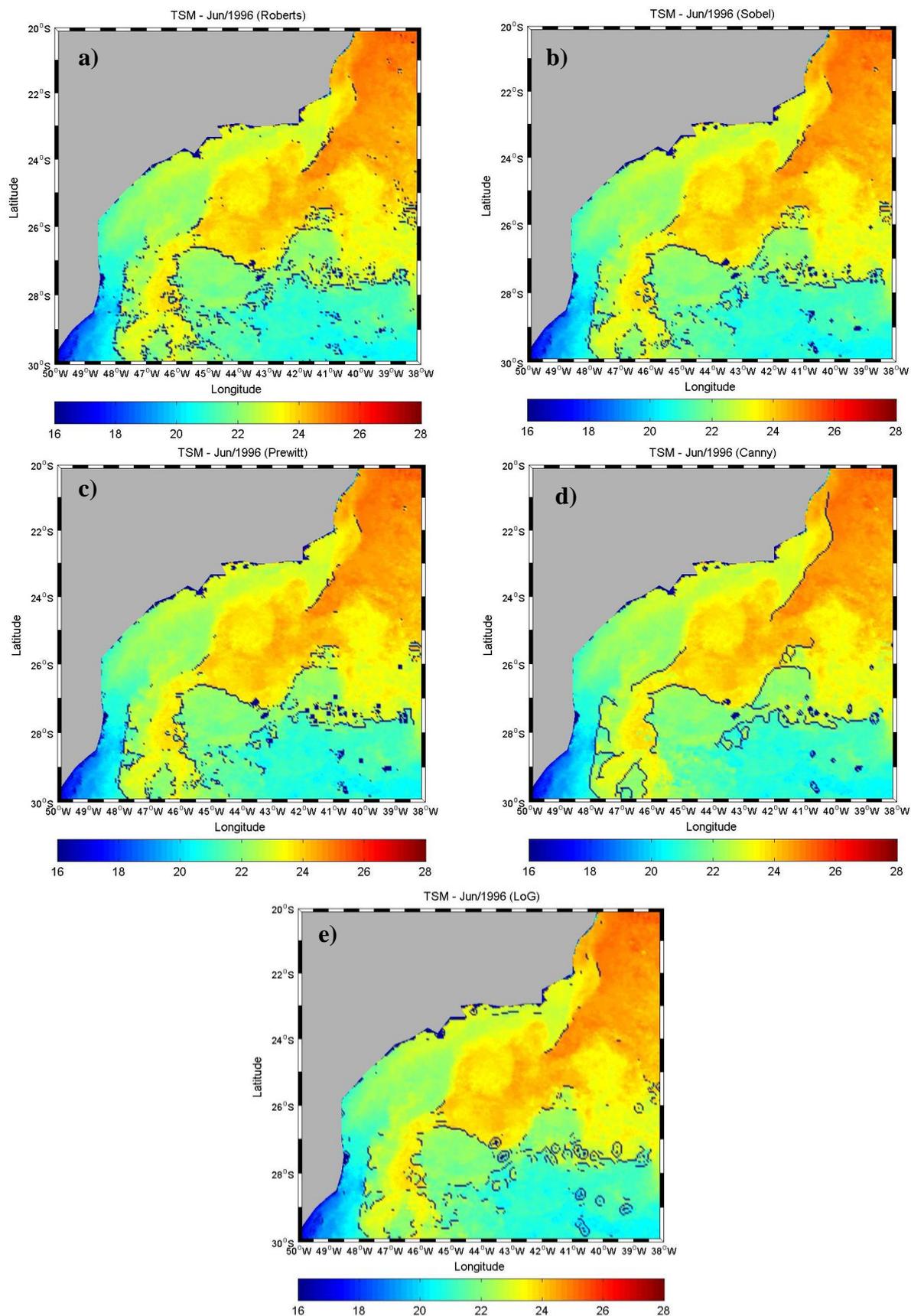


Figura 3. a) Filtro Sobel ( $t=0.4$ ). b) Filtro Roberts ( $t=0.4$ ). c) Filtro Prewitt ( $t=0.4$ ). d) Filtro Canny ( $t=0.01$  e  $t=0.05$ ). e) LoG ( $t=0.04$ ).

O melhor resultado foi obtido com o filtro de Canny (Figura 3.d), o qual identificou completamente a região inicial norte da frente. Este operador também mostrou-se bem menos suscetível aos ruídos e assim manteve um traçado contínuo. O filtro LoG (Figura 3.e) não apresentou bons resultados, uma vez que na parte sul da imagem os ruídos foram mais realçados. Isso pode ser atribuído a intensificação dos ruídos devido à diferenciação de segunda ordem associada ao Laplaciano.

#### 4. Conclusões

Este trabalho comparou os resultados da aplicação de diferentes filtros de detecção de bordas para identificar uma frente oceânica associada à Corrente do Brasil. O filtro Canny apresentou os melhores resultados, com menor interferência de ruídos e boa correspondência com o mapa de bordas traçado manualmente e tomado como referência. A porção intermediária da frente que sofreu alteração pelo processo de meandramento não foi identificada por nenhum dos filtros aplicados.

#### 5. Referências Bibliográficas

Souza, R. B.; Lorenzetti, J. A.; Lucca, E. V. D. Estimativas da Temperatura da Superfície do Mar através de sensoriamento remoto no infravermelho. In: Souza, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap7, p. 102-116.

Beer, T. **Environmental Oceanography: An introduction to the Behaviour of Descriptive Physical Oceanography**. Pergamon: Oxford, 1983. 233 p.

Boaventura, I. A. G.; Gonzaga, A. Uma abordagem Fuzzy para Detecção de Bordas em Imagens Digitais. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC), XXX, 2007, Florianópolis. **Anais...** São Carlos, SP: SBMAC, 2007. Disponível em: <[www.sbmac.org.br/eventos/cnmac/xxx\\_cnmac/PDF/259.pdf](http://www.sbmac.org.br/eventos/cnmac/xxx_cnmac/PDF/259.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2010

Fisher, R.; Perkins, S.; Walker, A.; Wolfart, E. **Laplacian/Laplacian of Gaussian**. Hypermedia Image Processing Reference, 2003. Disponível em: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/log.htm>>. Acesso em: 22 set. 2010.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. C.; Eddins, S. L. **Digital Image Processing Using MATLAB**. Pearson Education, 2004. 609 p.

Hopkins, J.; Challenor, P.; Shaw, A. G. P. A New Statistical Modeling Approach to Ocean Front Detection from SST Satellite Images. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 27, n. 1, p. 173-191, 2010.

Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L.; Mello Filho, W. L.; Assireu, A. T. Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 17, p. 2061–2068, 2009.

NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration. **4 km Pathfinder Version 5.0 User Guide**. Disponível em: <<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/userguide.html>>. Acesso em: 24 set. 2010.

NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration. **Index of Pathfinder/Version5.0**. Disponível em:

< <http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/>> Acesso em: 24 set. 2010.

Olson, D. B., Hitchcock, G. L., Mariano, A. J., Ashjian, C. J., Peng, G., Nero, R. W.; Podestá, G. P. Life on the edge: Marine life and fronts. **Oceanography**, v. 7, p. 52–60, 1994.

Seara, D. M. Algoritmos para detecção de bordas. Florianópolis, 1998. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~visao/1998/seara/index.html>> Acesso em: 09 set. 2010.

Wall, C. C.; Muller-Karger, F. E.; Roffer, M. A.; Hu, C.; Yao, W.; Luther, M. E. Satellite remote sensing of surface oceanic fronts in coastal waters off west–central Florida. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 6, p. 2963–2976, 2008.