

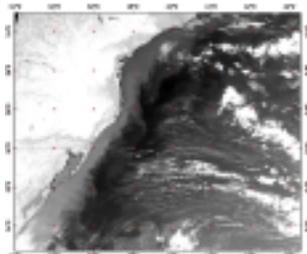
Resumo: Neste trabalho aplica-se a técnica de Máxima Correlação Cruzada (MCC) em pares de imagens AVHRR/NOAA defasadas de aproximadamente 12 horas, para determinar o campo de velocidade superficial advectiva. O campo vetorial originalmente gerado passa por filtragens sucessivas que buscam remover os vetores espúrios.

Introdução

Estimativas de correntes oceânicas superficiais podem ser obtidas por meio dos dados adquiridos pelos sensores orbitais a bordo de satélites, por exemplo: AVHRR/NOAA e Topex-Poseidon. Os dados obtidos pelo satélite AVHRR/NOAA possuem resolução temporal da ordem de duas ou mais passagens por dia, se considerarmos o conjunto de satélites NOAA em órbita, e resolução espacial de aproximadamente 1 Km. A partir de um par de imagens AVHRR é possível, por meio do rastreamento das feições termais, estimar o campo vetorial de corrente oceânica superficial, com alta resolução espacial.

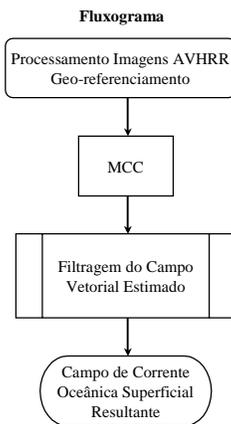
Material

O presente trabalho utilizou 1 par de imagem AVHRR/NOAA referente ao dia 17/11/00. O sensor AVHRR é um radiômetro de cinco canais que possui um ângulo de visada de 54,4° para cada lado do nadir, com uma cobertura total de varredura no terreno de aproximadamente 2700Km. O ângulo médio de visada instantâneo é de 1,4 mrad, conferindo uma resolução espacial no terreno da ordem de 1,1x1,1 Km no nadir de 2,4x6,9 Km para ângulos máximos de varredura (Frulla et al., 1995). Os cinco canais do sensor são distribuídos do visível ao infravermelho termal. O canal 4 foi utilizado para aplicar a técnica MCC.



Canal 4 da imagem AVHRR/NOAA

Metodologia

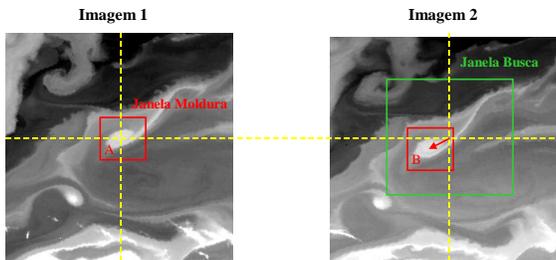


Processamento Imagens

Inicialmente fez-se a correção geométrica das imagens AVHRR/NOAA pelo processo de ajuste polinomial dos seus pontos de controle orbitais, objetivando a maior acurácia possível. Este processo é realizado com a finalidade de regularizar o tamanho dos pixels, eliminando as distorções decorrentes da geometria de aquisição da imagem. A imagem é reamostrada com resolução espacial de 1100 x 1100 metros e geo-referenciada num mapa de projeção geográfica, em termos de latitude e longitude.

MCC

A técnica consiste, essencialmente, na identificação da máxima correlação cruzada entre matrizes que definem sub-áreas de um par de imagens sequenciais. Da primeira imagem extraí-se a sub-área que define a janela de moldura, cujo tamanho pode variar de acordo com a área de estudo. Na segunda imagem, uma sub-área mais ampla é selecionada e definida como janela de busca, cujo ponto central inicial coincide com o da janela de moldura. A correlação máxima encontrada a partir do deslocamento da janela moldura sobre a janela de busca, define o vetor velocidade da corrente oceânica superficial, Emery et al. (1986), Domingues et al. (2000).



Vetor deslocamento da feição termal

O tamanho da janela de moldura e busca utilizados foram de 30 e 100 pixels, respectivamente.

O Coeficiente de correlação cruzada é obtido como a seguir:

$$r = \frac{1}{\sigma_A \sigma_B} \sum \{ [A - A_m] [B - B_m] \}$$

r - correlação cruzada.

σ_A e σ_B - desvio padrão para as matrizes A e B, respectivamente.

A e B - janelas de moldura extraídas das imagens 1 e 2, respect.

A_m e B_m - valores médios para cada matriz.

O deslocamento relativo (p, q) entre a janela de moldura e de busca, na imagem 2, para o qual a correlação é máxima, determina o vetor de velocidade advectiva:

$$c = [(p_{max} \Delta x)^2 + (q_{max} \Delta x)^2]^{1/2} / \Delta T$$

c - velocidade.

Δx - resolução espacial do pixel.

p_{max} e q_{max} - deslocamentos espaciais onde a correlação foi máxima.

ΔT - intervalo de tempo entre as imagens.

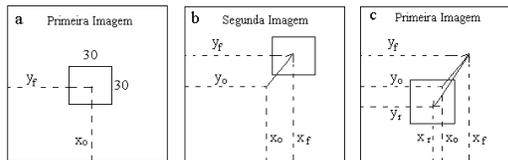
A direção do movimento, θ , é dada por: $\theta = \arctan (q_{max} / p_{max})$

Filtragem do Campo Vetorial Estimado

Foram aplicados três filtros que, uma vez combinados, removem a maioria dos vetores espúrios do campo vetorial de corrente oceânica superficial, estimado pela técnica MCC a partir de pares de imagens AVHRR/NOAA. Os filtros sucessivamente aplicados foram: filtragem do **vetor recíproco**; do **vetor mediana**; do **vetor média**.

Vetor Recíproco

A filtragem recíproca faz com que o método MCC caminhe também no sentido inverso, ou seja, a janela pertencente à janela de busca extraída da segunda imagem para a qual a correlação cruzada foi máxima, deverá agora ser localizada na primeira imagem a fim de se verificar a reciprocidade.



O vetor recíproco somente será aceito caso satisfaça a seguinte condição: $|X_r - X_o| \leq 3$ e $|Y_r - Y_o| \leq 3$, onde X_o e Y_o são as coordenadas iniciais do primeiro vetor estimado e X_r e Y_r são as coordenadas finais do vetor recíproco (Barton, L.J.).

Vetor Mediana

1) Para cada vetor $\{ x_1, \dots, x_N \}$ pertencente ao campo vetorial gerado, contido na janela de filtragem, calcula-se e soma-se as distâncias em relação a todos os outros vetores presentes no janelamento.

$$S_i = \sum_{j=1}^N |x_i - x_j| \quad i = 1 \dots N$$

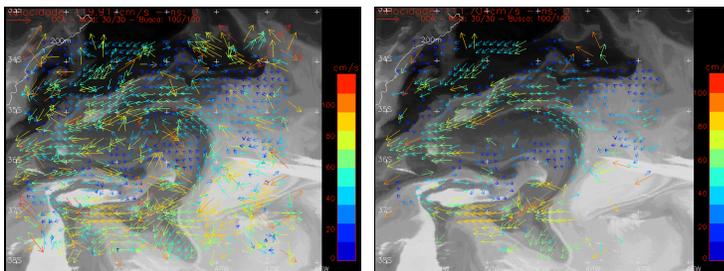
2) Encontra-se o S_i mínimo, S_{min} , tal que S_{min} pertence a $\{ S_1, \dots, S_N \}$.

3) O vetor mediano, x_{med} , é aquele que originou o menor somatório S_i (x_{min}), sendo que x_{min} pertence a $\{ x_1, \dots, x_N \}$, Simpson e Gobat (1994).

Vetor Média

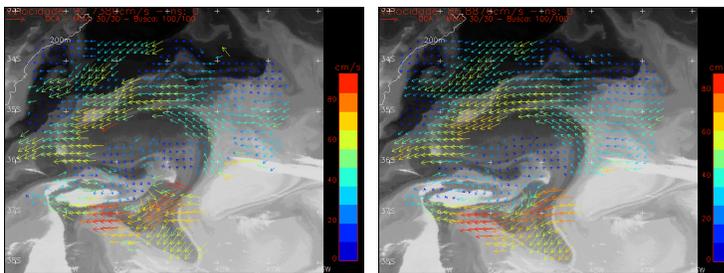
O filtro média gera como elemento de saída um vetor que é a média de todos os vetores presentes na janela de filtragem. Tem como finalidade suavizar o campo vetorial resultante das aplicações dos filtros recíproco e mediana.

Resultados



Campo vetorial bruto da corrente oceânica superficial estimado a partir da técnica MCC. Data da imagem: 17/11/00.

Campo vetorial resultante da aplicação da filtragem do **vetor recíproco** sobre o campo vetorial bruto.



Campo vetorial resultante da aplicação da filtragem do **vetor mediana** sobre o resultado da filtragem do vetor recíproco.

Campo vetorial resultante da aplicação da filtragem do **vetor média** sobre o resultado da filtragem do vetor mediana.

Conclusão

- O MCC é uma técnica rápida, econômica e extremamente útil para se estimar velocidades advectivas superficiais, principalmente em regiões onde as medidas diretas são escassas ou inexistentes.
- As filtragens recíproca e mediana removem os vetores espúrios sem inclusão de vetores que não tenham sido inicialmente gerados. Esse cuidado é imprescindível para que o campo resultante após a aplicação do filtro média sofra apenas suavização e possua basicamente as mesmas características dos vetores originalmente gerados.
- Estimativas de velocidades realizadas em regiões oceânicas da imagem na borda de nuvens ou entre o oceano e a costa, podem apresentar vetores que não representam o comportamento da dinâmica superficial daquelas áreas.
- Intervalos temporais acima de 24 horas, entre as imagens de um par, aumentam a probabilidade de se obter campos vetoriais incoerentes, quer em decorrência de uma ação mais efetiva dos mecanismos não advectivos (difusão, aquecimento ou resfriamento etc.), ou deslocamento das feições superficiais superior ao tamanho das janelas especificadas.
- A presença de nuvens é um dos fortes limitantes para aplicação do método.
- Movimentos rotacionais ou com deformação apreciável não são bem resolvidos pelo método MCC.

Referência Bibliográfica

Barton, L.J.; Ocean currents from successive satellite images: the reciprocal filtering technique (submetido).

Domingues, C.M.; Gonçalves, G.A.; Ghisolfi, R.D.; Garcia, C.A.E.; Advective surface velocities derived from sequential infrared images in the southwestern Atlantic ocean. Remote Sensing of Environment. v. 73, p. 218-226, 2000.

Emery, W.J.; Thomas, A.C.; Collins, M.J.; An Objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images. Journal of Geophysical Research. v. 91, p. 12865-12878, 1986.

Simpson, J.J.; Gobat, J.I.; Robust velocity estimates, stream functions, and simulated lagrangian drifters from sequential spacecraft data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 32, n.3, p.479-492, 1994.

Agradecimentos

Os autores agradecem o CNPq.