

1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U: 551.465.5(816.5)</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>CORRENTES COSTEIRAS: LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL</i>			interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1841-RPE/201</i>	6. Data <i>Agosto, 1980</i>	7. Revisado por <i>Takaki</i> <i>Luis Toshio Takaki</i>	
8. Título e Sub-Título <i>CORRENTES COSTEIRAS: ESTUDO DE UM MODELO APLICADO AO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL (Lat. 29°S 35°S)</i>		9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DSR/GRM</i>	Código <i>30.313</i>	11. Nº de cópias <i>11</i>	
12. Autoria <i>Claudio Solano Pereira</i> <i>Luiz Bruner de Miranda</i>		14. Nº de páginas <i>14</i>	
13. Assinatura Responsável <i>[Signature]</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Um modelo analítico desenvolvido para determinar correntes costeiras (Bishop, 1975) é aplicado ao litoral do Rio Grande do Sul (Lat. 29°S a Lat. 35°S). O modelo descreve correntes costeiras em estado estacionário, livre das influências da maré. O equilíbrio do momentum considerado é estacionário, não-acelerado, e hidrostático. Gradientes de pressão ao longo da costa são desprezados, enquanto o parâmetro de Coriolis, f, e o coeficiente de troca de momentum vertical, k, são considerados constantes. A densidade da água, $\bar{\rho}$, é considerada constante em uma coluna vertical, mas pode variar, a uma taxa constante, na direção perpendicular à costa. Com condições de contorno apropriadas, obtém-se uma única relação entre a tensão de cisalhamento do vento, o gradiente de densidade de média perpendicular à costa, e a velocidade do fluido.</i>			
17. Observações <i>Artigo apresentado na 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, de 06 a 12 de julho de 1980 - Rio de Janeiro - RJ.</i>			

ÍNDICE

ABSTRACT	<i>iii</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. FORMULAÇÃO DO MODELO ESTACIONÁRIO	1
3. RESULTADOS	5
4. CONCLUSÕES	9
5. REFERÊNCIAS	10

ABSTRACT

An analytical model developed to determine coastal currents (Bishop, 1975) is applied to the coast of Rio Grande do Sul (lat. 29°S to lat. 35°S). The model describes the stationary state non-tidal coastal currents. The momentum balance considered is stationary, non-accelerated, and hydrostatic. Longshore pressure gradients are neglected, while the Coriolis parameter, f , and the vertical momentum exchange coefficient, k , are assumed constant. The water mean density, $\bar{\rho}$, is taken constant in a vertical column but it is allowed to change at a constant rate in the cross-shelf direction. With appropriate boundary conditions, we obtain a single relationship between the wind stress, the cross-shelf mean density gradient and the fluid velocity.

LISTA DE FIGURAS

1. Sistema de coordenadas associadas ao modelo estacionário	2
2. A região investigada: localização esquemática das correntes do Brasil (CB) e das Malvinas (CM).....	5
3. (a) - Configuração de isopicnais; (b) - Representação esquemática de correntes geostrofica superficial.....	6
4. Célula de circulação superficial	7
5. Representação esquemática da circulação costeira superficial para o verão	8
6. Representação esquemática de circulação costeira superficial para o inverno. Vento predominante a SW	9

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da convergência subtropical no Atlântico Sul, onde ocorre o encontro da corrente das Malvinas e da corrente do Brasil, é importante do ponto de vista físico e biológico. Os aspectos biológicos são abordados por Boltovskoy (1959), (1965) e não serão revistos no presente artigo. Da interação desses dois grandes sistemas de circulação, juntamente com a influência das águas advindas do estuário do Prata bem como das águas de origem continental (Foz do Rio Grande), dar-se-á um complicado sistema de circulação próximo à costa do Rio Grande do Sul.

Os autores estão interessados na descrição física desta circulação costeira, induzida por ventos superficiais, e por gradientes de densidade. Para tanto, far-se-á uso de um modelo teórico simples (Bishop, 1975) que, devido à suposição de estacionaridade do processo e a não consideração dos termos não lineares, consegue-se integrar analiticamente as equações de movimento.

2. FORMULAÇÃO DO MODELO ESTACIONÁRIO

O sistema de coordenadas apropriado é um sistema cartesiano, com o eixo x positivo na direção da borda da plataforma continental (com $x = 0$ na isóbata de 10 m); o eixo z é orientado positivamente para cima resultando o eixo y paralelo à linha da costa (Figura 1).

O equilíbrio do momentum considerado é estacionário, não acelerado e hidrostático. Suponha-se que o movimento é inteiramente horizontal, não havendo divergência do campo de velocidade, e os termos de aceleração não lineares são nulos. O gradiente de pressão ao longo da costa e a fricção lateral serão desprezadas. As forças externas são a gravidade, e a força defletora devido à rotação da terra. Finalmente, a densidade da água é considerada constante em uma coluna vertical, $\bar{\rho}$, mas pode variar a uma taxa constante na direção x , enquanto o parâmetro de Coriolis, f , e o coeficiente turbulento de viscosidade, k , são considerados constantes.

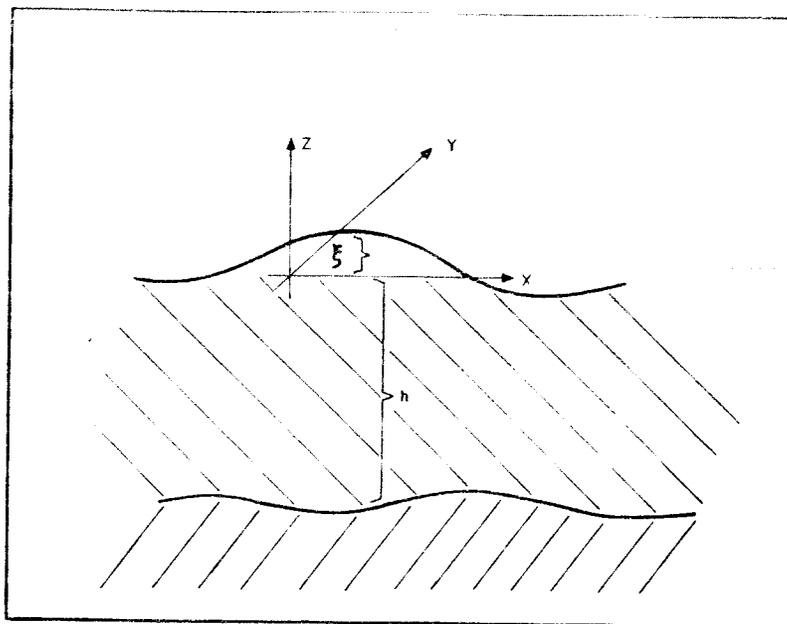


Fig.1- Sistema de coordenadas associadas ao modelo estacionário.

Conseqüentemente, as equações de movimento reduzem-se a:

$$\left. \begin{aligned}
 K \frac{d^2 u}{dz^2} - \bar{\rho} f v &= \frac{\partial p}{\partial x} \\
 K \frac{d^2 v}{dz^2} + \bar{\rho} f u &= 0 \\
 0 &= -g - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial p}{\partial z}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Estas equações lineares e estacionárias de movimento traduzem o equilíbrio entre a força de Coriolis, o gradiente de pressão, e as forças friccionais.

Como condições de contorno, assume-se que a tensão de cisalhamento do vento em $z = 0$ seja proporcional à variação da velocidade tangencial superficial.

$$\left[K \left(\frac{du}{dz} \right)_{z=0} = \zeta_x \quad \text{e} \quad K \left(\frac{dv}{dz} \right)_{z=0} = \zeta_y \right] ,$$

e que a velocidade do fluido seja nula em $z = -h$.

Levando-se em consideração as condições de contorno acima, e desprezando-se a componente vertical da velocidade, bem como a entrada de massa em $x = 0$, pode-se integrar as equações (1), obtendo-se

$$\frac{d\xi}{dx} = \frac{\frac{\zeta_x}{\rho f} \operatorname{sen} \theta \operatorname{senh} \theta}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{K}{2 \bar{\rho} f^3}} g (\operatorname{senh} 2 \theta - \operatorname{sen} 2 \theta)}$$

$$- \frac{\left[\frac{\zeta_y}{\bar{\rho} f} - \frac{g K}{\bar{\rho}^2 f^2} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] (\operatorname{senh}^2 \theta + \cos^2 \theta - \cos \theta \operatorname{cosh} \theta)}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{K}{2 \bar{\rho} f^3}} g (\operatorname{senh} 2 \theta - \operatorname{sen} 2 \theta)}$$

$$- \frac{h}{\bar{\rho}} \frac{d\bar{\rho}}{dx}$$

$$\text{com } \theta = \sqrt{\frac{\bar{\rho} f}{2 K}} h$$

$\left(\frac{d\xi}{dx} \right)$ - inclinação da superfície do mar, em função das componentes da tensão superficial e do campo de densidade)

$$\begin{aligned}
 u = & \left[\frac{\sqrt{2}}{4} \frac{(\zeta_x - \zeta_y)}{a K} + \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{g}{a \bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\sinh 2\theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta} \\
 & + \left[\frac{\sqrt{2}}{4} \frac{(\zeta_x + \zeta_y)}{a K} - \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{g}{a \bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\sin 2\theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta} \\
 & - \left[\frac{g}{f} \frac{d\xi}{dx} + \frac{gh}{\bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\sin \theta \cdot \sinh \theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta}
 \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned}
 v = & \left[\frac{\sqrt{2}}{4} \frac{(\zeta_x + \zeta_y)}{a K} - \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{g}{a \bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\sinh 2\theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta} \\
 & + \left[\frac{\sqrt{2}}{4} \frac{(\zeta_y - \zeta_x)}{a K} - \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{g}{a \bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\sin 2\theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta} \\
 & + \left[\frac{g}{f} \frac{d\xi}{dx} + \frac{gh}{\bar{\rho} f} \frac{d\bar{\rho}}{dx} \right] \frac{\cosh \theta \cdot \cosh \theta}{\sinh^2 \theta + \cos^2 \theta} \\
 & - \frac{g}{f} \frac{d\xi}{dx}
 \end{aligned}$$

com $a = \sqrt{\frac{\bar{\rho} f}{K}}$

(u, v - componentes horizontais do vetor de velocidade da corrente su perficial).

O presente modelo apresenta as componentes de velocidade perpendicular à costa (u) e ao longo da costa (v), a partir da tensão de cisalhamento média sazonal e do campo de densidade como parâmetros de en trada.

3. RESULTADOS

A região utilizada para a aplicação deste modelo estacionário de corrente limita-se com as latitudes 29°S e 35°S e ocupa uma área de aproximadamente 105.000 km^2 . A linha da costa desta região está orientada aproximadamente na direção NNE - SSW. A largura de sua plataforma continental varia entre 60 e 90 milhas-náuticas com a região mais estreita situada a 31°S . A plataforma continental do Rio Grande do Sul é uma região na qual interagem águas de diferentes características. Essas águas se originam de fora da região em estudo, e são para lá transportadas pela Corrente do Brasil e por um ramo costeiro da corrente das Malvinas. Deve-se também levar em conta a contribuição das águas de origem continental que fluem diretamente para a região costeira, principalmente através da Barra do Rio Grande (Figura 2).

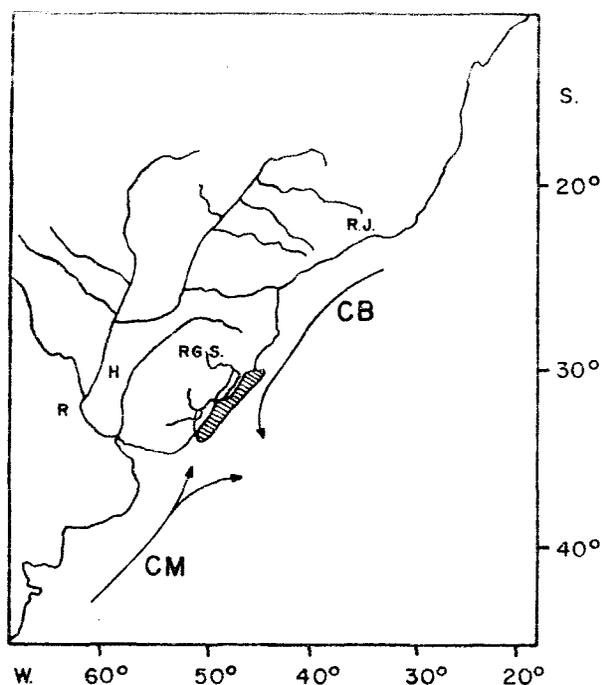


Fig. 2 - A região investigada: localizada esquemática das correntes do Brasil (CB) e das Malvinas (CM).

Embora os fenômenos meteorológicos e oceanográficos não exibam, exatamente, uma periodicidade sazonal, a análise da circulação é feita não em termos de ordem cronológica da realização das observações, mas, preferivelmente, em termos das estações do ano. Os dados utilizados estão referidos em Miranda (1971), e Miranda et al. (1973).

Inicialmente, para as estações verão e inverno, a idéia é "sobrepôr" movimentos a partir daquele que se pode chamar de primário, chegando-se, por fim, às correntes características para essas duas épocas do ano. Considere-se a inexistência de vento, o que implica no equilíbrio entre a força de Coriolis e a força referente ao gradiente de pressão que, no caso, é oriunda exclusivamente da estratificação de massa, desde que não haja variações na pressão atmosférica. Assim, dada uma configuração de isopicnais razoavelmente paralela à costa (Figura 3 (a)), haveria então um fluxo de água seguindo aproximadamente estas isopicnais, com o sentido S - N (Figura 3 (b)). Fazem parte desta corrente SW - NE águas provenientes do estuário do Prata, que apresentam, assim, a tendência natural de subir e banhar as costas do Rio Grande do Sul (Figuras 3 (a e b)).

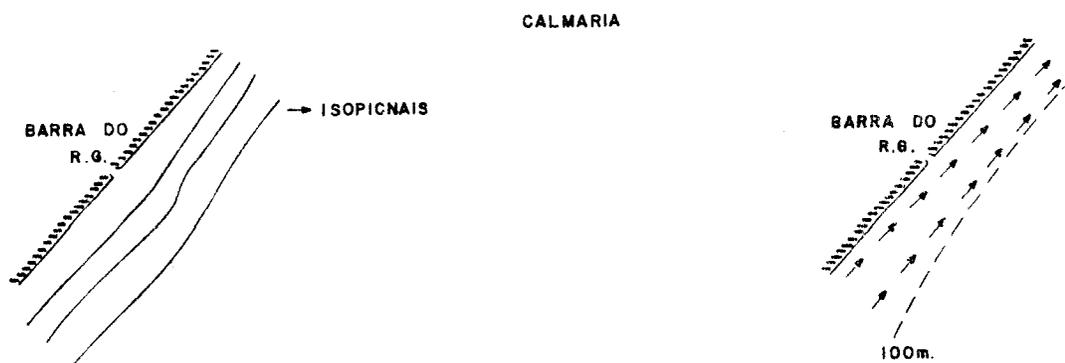


Fig. 3 - (a) - Configuração de isopicnais; (b) - Representação esquemática de correntes geostróficas superficiais.

O fato do vento NE estar sempre presente em qualquer época do ano é o ponto seguinte a ser usado na formação do movimento primário. Ao começar soprar um vento NE de baixa intensidade, o fluxo em águas rasas, aproximadamente 0-30 m, se orientará na direção do vento e ter-se-á, então, a formação da fundamental célula de circulação costeira superficial (Figura 4).

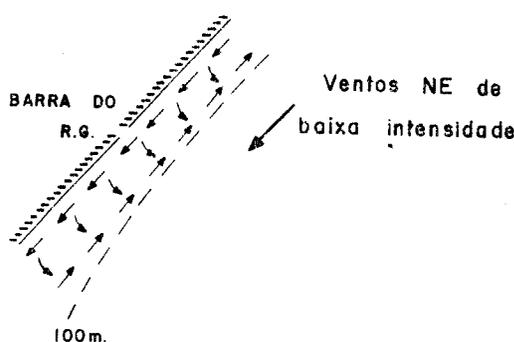


Fig. 4 - Célula de circulação superficial.

Observe-se que o termo célula é usado para expressar a idéia de que nem a corrente do Brasil, nem a das Malvinas, fazem parte integrante da circulação costeira superficial (até a isóbata de 100 m). Não se trata de excluir a influência dessas duas grandes correntes oceânicas sobre a circulação costeira, mas do fato de serem aceitas propriedades intrínsecas a mesma. Não se tem condições, entretanto, de delimitar esta célula devido, principalmente, à indisponibilidade de dados não pertinentes à região estabelecida, e à inerente limitação do modelo.

Então, a partir desse movimento primário, coloca-se a influência dos ventos predominantes. Assim, no verão, ventos NE e E de maior intensidade conseguiram "vencer" esta contra-corrente (SW - NE), e dispõem o fluxo de água aproximadamente paralelo à costa, no sentido NE - SW. Diz-se contra-corrente pois, nesta época, a corrente do Brasil se faz mais presente na circulação costeira com o fluxo dirigido para latitudes

mais altas. Sendo esta contra-corrente composta de águas advindas do estuário do Prata, provocaria a diminuição da densidade das águas na plataforma continental. Esquemáticamente, ter-se-ia (Figura 5).

a) Ventos NE(E) fracos (até 10 nós). b) Ventos NE(E) fortes (> 14 nós).



Fig. 5 - Representação esquemática da circulação costeira superficial para o verão.

No inverno, a predominância de ventos SW, somados aos efeitos do gradiente de densidade e da força de Coriolis, provocariam uma corrente intensificada no sentido SW - NE. As águas vindas do estuário do Prata correriam mais próximas à costa, facilitando a influência da corrente das Malvinas na circulação costeira provocando consequentemente, o aumento da densidade das águas na plataforma (Figura 6). Não se afasta, contudo, a possibilidade de se registrarem nesta época do ano, ventos NE de maior intensidade, implicando em uma corrente superficial no sentido aproximado NE - SW. Observe-se apenas que, em consequência da resistência da contracorrente (SW - NE), um vento NE equivalente em intensidade a um vento SW, geraria uma corrente de menor velocidade.

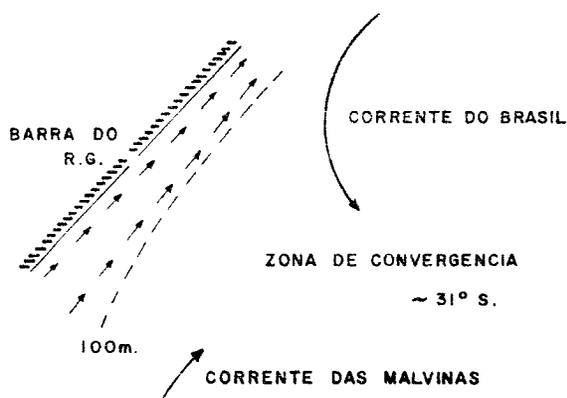


Fig. 6 - Representação esquemática de circulação costeira superficial para o inverno. Vento predominante a SW.

As configurações de isopícnais para as estações intermediárias do ano (outono, primavera) mostram uma estratificação horizontal de massa pequena, quando comparada àquela verificada nas estações extremas do ano (verão e inverno). Isto deve-se ao fato que, ao final de cada período, verão e inverno, depois da predominância mais prolongada de um certo tipo de circulação característica destas estações (maior influência da corrente do Brasil, em um caso, e das Malvinas em outro, respectivamente) haveria a tendência para homogeneização das águas na plataforma continental. A circulação costeira superficial será, portanto mais suscetível às variações das condições meteorológicas, sendo que as correntes existentes poderiam ser tratadas como correntes de deriva.

4. CONCLUSÕES

Em que pese a insuficiência de dados adequados disponíveis, bem como a simplicidade do modelo estacionário para correntes marítimas, é apresentado um quadro geral do sistema de circulação costeira superficial para esta região caracteristicamente complexa, no que se refere à ocorrência de fenômenos oceanográficos e meteorológicos. Evidentemente, tornam-se necessárias comparações com medidas diretas de corrente, a fim de verificar a validade das simplificações efetuadas.

5. REFERÊNCIAS

- BISHOP, J.M. *An analytical sea current model for coastal regions with application to the New York Bight*. Washington, D.C., U.S. Coastal Guard Technical Report, 1975. 27 p. (Oceanographic Unit Technical Report 75-2).
- BOLTOVSKOY, E. *La Corriente de Malvinas (un estudio en base la investigación de foraminíferos)*. Buenos Aires, Secretaria de Marina - Servicio de Hidrografia Naval - República Argentina, 1959. 96 p. (Publ. H. 1015).
- . *Datos nuevos con respecto a la ubicación de la zona de convergencia subtropical/subantártica en base al estudio de los foraminíferos planctónicos*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 37:146-155, 1965. Suplemento.
- MIRANDA, L.B. *Relatório sobre as condições oceanográficas na plataforma continental do Rio Grande do Sul*. São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico, 1971. 26 p.
- MIRANDA, L.B.; Luedemann, E.F.; MIYAO, S. *Relatório sobre a segunda pesquisa oceanográfica e pesquisa do Atlântico Sul entre Torres e Maldonado (Lat. 29°S - 35°S)*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1973. 82p.