

ANÁLISE DA VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS FRENTES TÉRMICAS DE QUEBRA DE PLATAFORMA E FEIÇÕES ASSOCIADAS NO OCEANO ATLÂNTICO SUL-OCIDENTAL ENTRE 25°S E 37°S

JOÃO FRANCISCO ILLA FONT ZANELLA¹
GLAUBER ACUNHA GONÇALVES
OSMAR MÖLLER JÚNIOR

FURG— Fundação Universidade do Rio Grande
Caixa Postal 474, 96201-900 Rio Grande, RS, Brasil
zanella@calvin.ocfis.furg.br

Abstract. Oceanic fronts are defined as interface regions between water masses with different properties. Averaged seasonal images of temperature gradients obtained through the SST/AVHRR images, were used in order to analyze the temporal and spatial changes of the fronts formed in the shelf break. The fronts were located considering their position relative to the 200m isobath, and SST gradients were calculated. In the averaged images for winter and autumn months, the occurrence of fronts is evident beyond the 30°S, possibly due to a difference of temperature between the internal boundary of Brazil Current and the northward current on the shelf. The spring and summer months are characterized by the absence of the fronts northward of 30°S, and less intense fronts. The fronts occurred generally parallel to the shelf break, with some exceptions related to the front meandering.

Keywords: oceanic fronts, Brazil Current.

1. Introdução

O avanço da tecnologia espacial possibilitou o monitoramento das variações espaço-temporais da Temperatura Superficial do Mar (TSM) em extensas áreas de maneira quasi-sinóptica, a partir do lançamento de satélites com sensores radiométricos na década de 60. Tais sensores operam nas faixas do visível, infravermelho próximo e termal, possibilitando a detecção de feições térmicas presentes nos oceanos. Neste estudo, foi utilizado o sensor passivo AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration),

A TSM é um parâmetro fundamental para uma variedade de processos biológicos, químicos e físicos, além de ser um importante indicador feições oceanográficas, entre elas, as frentes térmicas. As frentes oceânicas superficiais são frequentemente definidas como áreas que apresentam fortes gradientes horizontais nas propriedades da água do mar (temperatura, salinidade, densidade e cor do oceano). Estas regiões apresentam uma grande abundância biológica devido à produtividade local (*Fournier et al., 1979*) ou por acúmulo mecânico devido a processos físicos em conjunto com padrões diários de (*Olson & Backus, 1985*). Existem diferentes tipos de frentes, tais como, frentes na quebra da plataforma, frentes de ressurgência e

¹ Apoio da FAPERGS, este estudo é parte de uma monografia de graduação.

frentes devido a plumas de rios. Estes dois últimos tipos de frentes são, geralmente feições localizadas, enquanto que as frentes formadas na quebra de plataforma podem se estender por longas distâncias. Neste estudo, particularmente, será enfocada a Frente de Quebra de Plataforma (FQP), formada pela diferença existente entre as águas da plataforma e do talude continentais na região do Atlântico Sul Ocidental, compreendida entre 25° e 37°S.

Conseqüentemente, no Atlântico Sul Ocidental, a localização média da FQP está associada à isóbata de 200 m, correspondendo à interface entre as águas mais frias e menos halinas da plataforma e as águas quentes e halinas da Corrente do Brasil (CB) da região oceânica adjacente.

A posição exata da FQP pode variar tanto espacial como temporalmente. Segundo *Garfield (1990)*, que ao analisar 3 anos de imagens de satélite a partir de 1982, realizou uma estatística da posição da frente oceânica formada entre o limite interno da CB e as águas da plataforma, em relação a isóbata de 200 m verificando que entre 20° e 32°S, a posição média da frente permanece intimamente associada à quebra de plataforma.

Trabalhos utilizando dados da estrutura térmica superficial dos oceanos buscam detectar áreas mais favoráveis à pesca, pois certas espécies de peixes (e. g. tunídeos) tem sua distribuição espaço-temporal vinculada à dinâmica de feições térmicas (*Andrade et al., 1993*). Também do ponto de vista ecológico as frentes são importantes, pois são processos que podem resultar na concentração de substâncias dissolvidas e em suspensão, além de matéria floclada.

Este trabalho tem como objetivo principal, determinar variações espaço-temporais e da intensidade da FQP, desenvolvendo uma metodologia para um estudo desta natureza, e secundariamente descrever feições como vórtices e meandros, associadas à FQP.

2. Material e Métodos

Após serem capturadas pela antena, as ‘imagens brutas’, foram importadas para o software ERDAS IMAGINE², possibilitando seu processamento através do uso de artifícios gráficos e digitais, para uma melhor visualização e interpretação dos dados coletados. Dentre os 5 canais obtidos pelo sensor AVHRR, são selecionados os canais 2 do infra-vermelho próximo calibrado para albedo, o canal 4 da porção termal calibrado para temperatura de brilho e a TSM (Temperatura Superficial do Mar - composição dos canais 4 e 5 (imagens diurnas) ou 3, 4 e 5 (imagens noturnas). Os canais 4 e TSM são úteis para detectar os valores dos gradientes térmicos que determinarão os limites da estrutura frontal e o canal 2 para identificar nuvens.

Geo-referência e reamostragem

Além dos pontos de controle orbitais, obtidos a partir da posição do satélite, vinte pontos de controle em terra foram acrescentados às imagens, plotados com base em cartas náuticas para refinamento da geo-referência, eliminando distorções decorrentes da trajetória orbital. As imagens passaram por um processo de reamostragem por convolução cúbica com resolução espacial de 2200 X 2200 m e geo-referência para a projeção geográfica lat/long, utilizando-se o geóide/datum *WGS 84* indicado pelo próprio software como a mais recente atualização para uso global.

² ERDAS Project Number 95352 – L5 NTU

Seleção das imagens

Foram selecionadas todas as imagens que apresentaram menos de $\frac{3}{4}$ de cobertura de nuvens, num total de 63. Por problemas técnicos, durante os meses de maio, junho e julho de 1996 e parte de janeiro e fevereiro da 1997, a antena esteve fora de operação, não havendo dados nestes períodos. As imagens foram ainda reduzidas à área de interesse do trabalho no tamanho 512 X 512 *pixels* (os subsets), compreendendo as latitudes aproximadas de 26°S e 36°S e as longitudes aproximadas de 45° W e 55° W.

Obtenção de imagens de gradiente

Um operador de gradiente matricial convolucional e direcional *Sobel* foi aplicado às imagens de TSM, com feições suavizadas por um filtro média - passa baixas, nas direções horizontal (E-O) e vertical (S-N) a fim de determinar os valores médios da variação da temperatura na vizinhança de cada ponto da imagem. A obtenção de imagens de gradiente possibilita a detecção das zonas de máximo gradiente no oceano, permitindo a análise qualitativa dos mesmos.

Mascaramento e linhas isobatimétricas

Através das imagens da banda 2, foram selecionadas visualmente as fronteiras entre nuvem e água, a área correspondente a nuvens foi demarcada e sobreposta as imagens de gradiente, e eliminada (nesta área os pixels passam a assumir valores nulos). Para o mascaramento dos contornos terrestres foi utilizado o mesmo artifício, utilizando a demarcação de uma linha de costa importada de um atlas digital, que também forneceu um arquivo com as linhas batimétricas de 100 m, 200 m e 2000 m.

Obtenção das imagens médias-sazonais

O modelo desenvolvido no ambiente computacional ERDAS IMAGINE[®] sobrepõe as imagens de gradiente selecionadas, identifica o mesmo pixel em cada imagem, e executa a média aritmética dos valores de gradiente maiores que zero, não computando as áreas cobertas por nuvens, previamente eliminadas.

Determinação das frentes térmicas

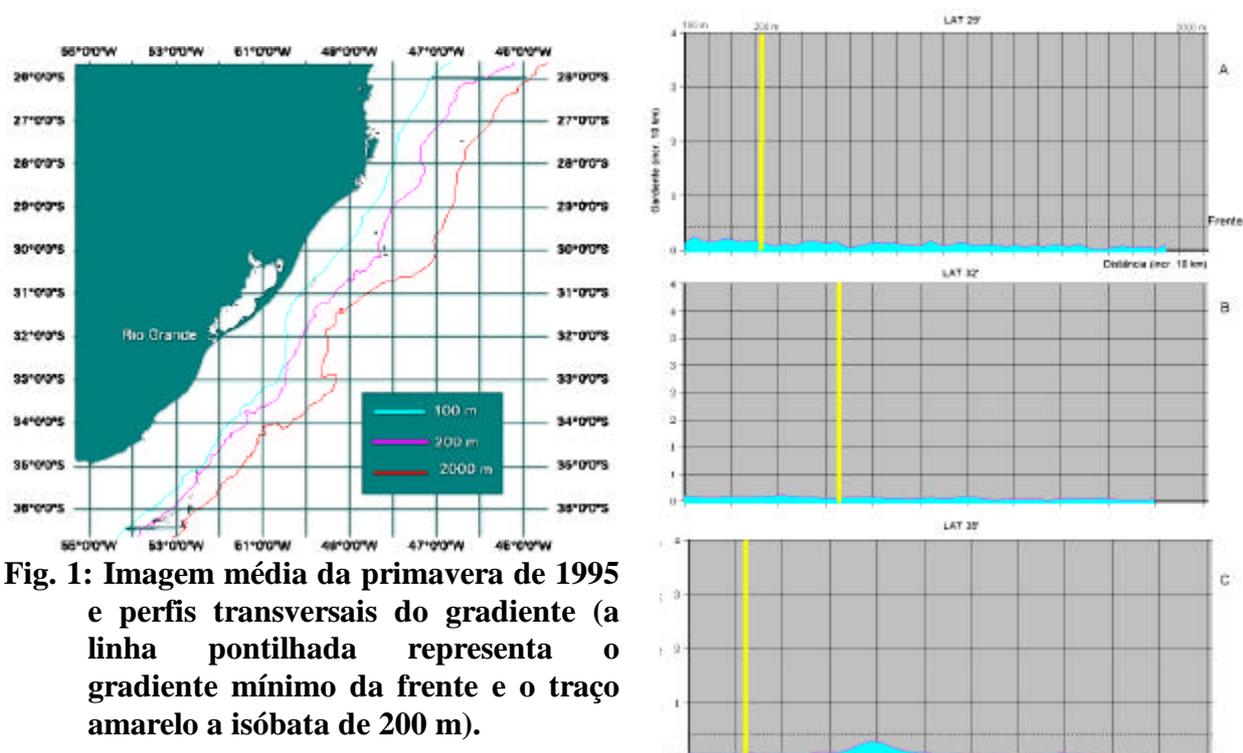
As frentes térmicas são zonas estreitas e compridas no oceano com um alto gradiente transversal de temperatura, que deve ser igual ou superior a duas ordens de grandeza do gradiente médio horizontal para dada região determinado por condições climáticas (*Fedorov, 1983*). O gradiente médio climático de temperatura na direção meridional em extensas áreas de regiões temperadas e tropicais - G_m varia entre 2×10^{-3} a 4×10^{-3} °C/km. Assim, assume-se valor de $0,2^0$ C/km como limite mínimo para identificação das frentes (*Fedorov, 1983*). Observações anteriores na região da Convergência Subtropical revelam valores do gradiente médio horizontal ao longo da zona frontal - G_{zf} , entre 0.022 e 0.029° C/km (*Godói, 1983*), confirmando, dentro do critério proposto por *Fedorov* o valor utilizado como limite mínimo para caracterização da frente térmica na região de estudo. A posição das frentes em relação à isóbata de 200 metros foi determinada através de três perfis transversais nas latitudes 29°, 32° e 35°S em cada imagem-média.

3. Resultados e discussão

Através da análise visual das imagens e da interpretação dos gráficos de gradiente de temperatura, foram obtidos os seguintes resultados:

Primavera de 1995

Não foram observados gradientes maiores que $0,2^{\circ}\text{C} / \text{km}$, com exceção de duas pequenas áreas próximas a latitude de 30°S junto a isóbata de 200 m e uma mais ao sul, próximo aos limites da área de estudo, possivelmente influenciada pela CBM (figura 1). Foi registrado no perfil da latitude 35°S (figura 1.a) um pequeno gradiente a 28 km após a isóbata de 200 m.



Primavera de 1996

Rumo ao sul, até aproximadamente a latitude 31°S a situação é semelhante a da primavera do ano anterior, sem demarcados gradientes. A partir dessa latitude foi registrada a ocorrência de frentes térmicas, sendo a primeira, exatamente sobre a isóbata dos 200 m na altitude $31^{\circ}30'\text{S}$ (figura 2).

Na latitude 32°S foi identificada uma frente com gradiente de $0,2^{\circ}\text{C} / \text{km}$ a 13 km da isóbata de 200 m (figura 2.b). Ainda em direção ao sul observou-se uma extensa zona frontal a partir de 33°S até aproximadamente 35°S (figura 2). Nesta latitude um perfil transversal revelou a presença de duas zonas frontais, distantes 15 km e 48 km da isóbata de 200 m respectivamente, com gradiente de aproximadamente $0,2^{\circ}\text{C} / \text{km}$ (figura 2.c).

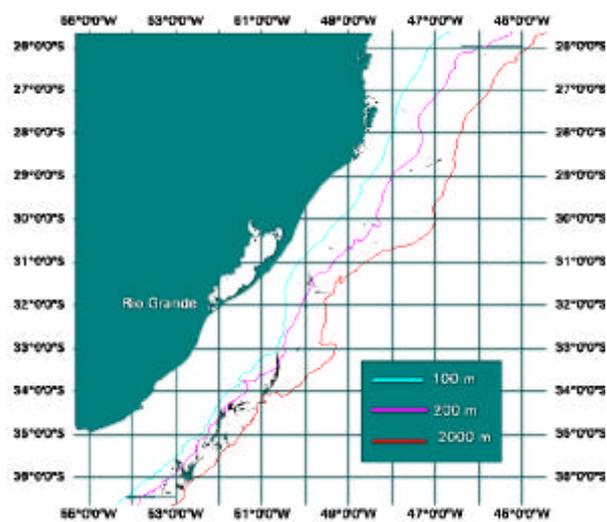
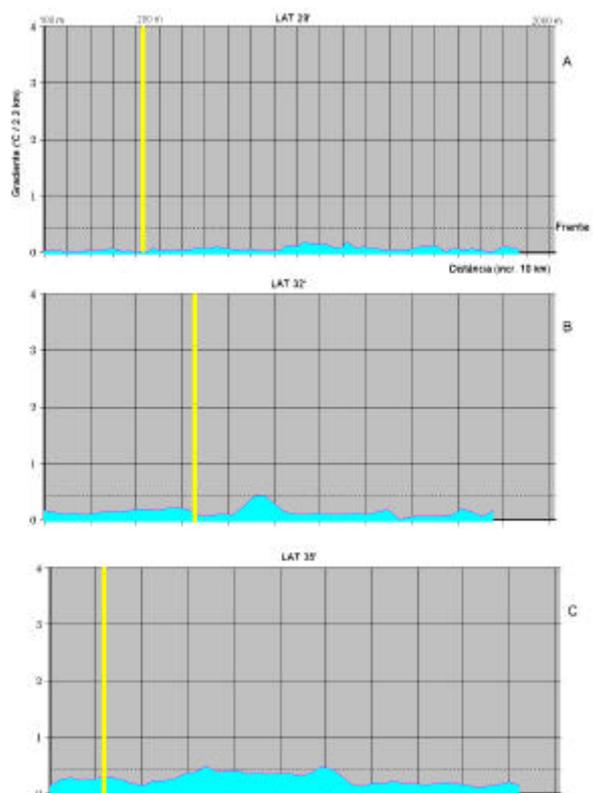


Fig. 2: Imagem média do inverno de 1996 e perfis transversais.



Verão de 1996

Esta estação do ano apresentou os mais baixos gradientes térmicos. Foi identificada uma frente na latitude 37°S, muito provavelmente decorrente da CBM naquela região (figura 3). Nas latitudes 29°S, 32°S e 35°S nenhuma frente térmica foi observada (figura 3.a, b, c).

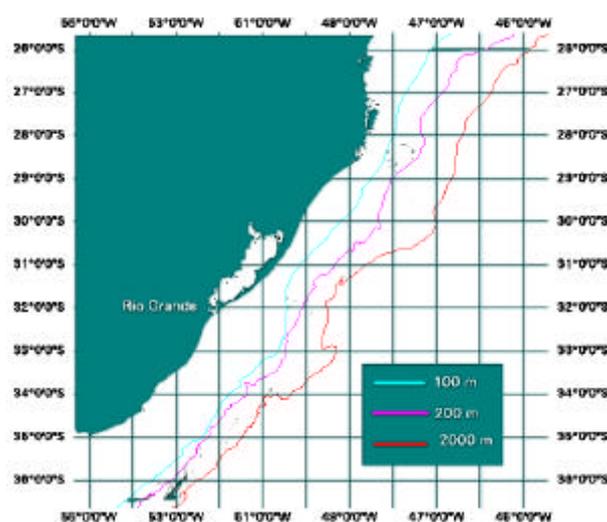
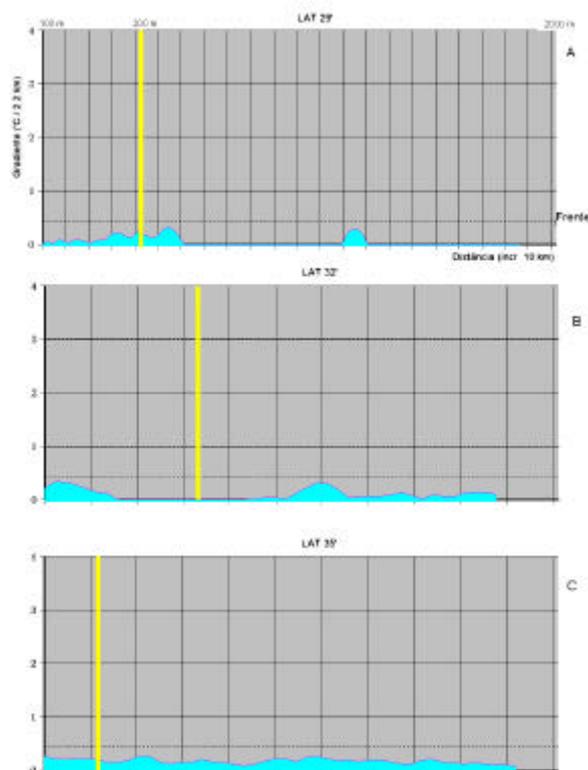


Fig. 3: Imagem média do verão de 1996 e perfis transversais.



Verão de 1997

Não foi registrada a ocorrência gradientes térmicos entre 29°S e 31°S (figura 4).

O pequeno número de imagens pode ter sido a causa da ausência de registro da frentes ao sul de 30°S. Os perfis nas latitudes 29°S e 32°S revelam os baixos gradientes nesta época, em torno de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (figura 4.a, b).

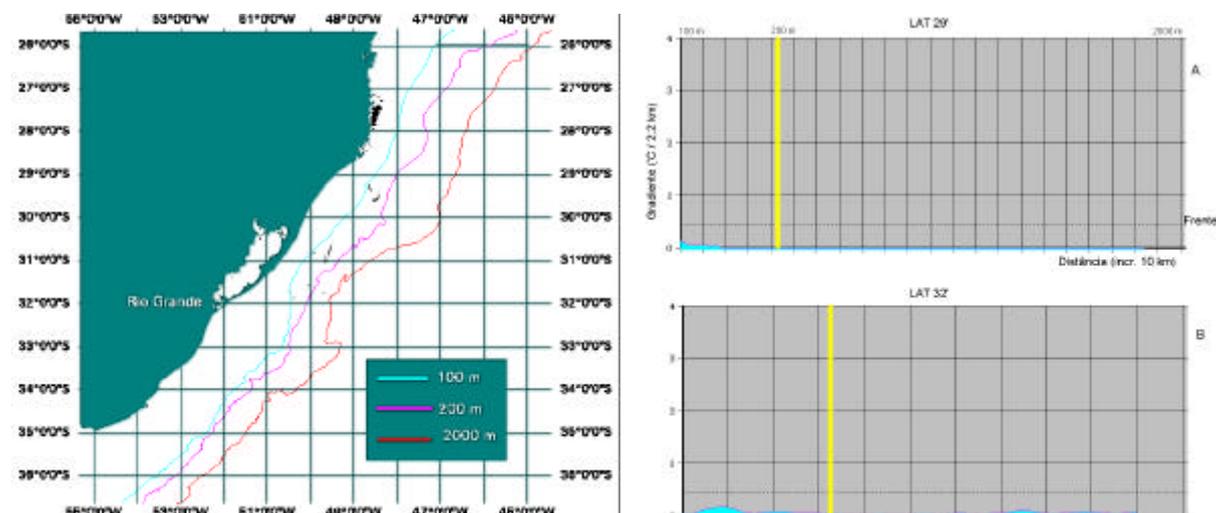


Fig. 4: Imagem média do verão de 1997 e perfis transversais.

Outono de 1996

Os meses de outono de 1996 caracterizaram-se por altos gradientes térmicos, uma frente praticamente contínua que se estende de 31°S a 37°S. Duas zonas frontais em forma de arco, justapostas, separadas aproximadamente 15 km uma da outra, entre as isóbatas de 200 m e 2000 m (figura 5) sugerem a presença de um meandro. Na latitude 29°S observou-se uma zona frontal junto a isóbata de 100m (figura 5.a), enquanto que duas frentes foram observadas na latitude 32°S no entorno da isóbata de 200m, e três frentes, uma com mais de 20km de largura e $0,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

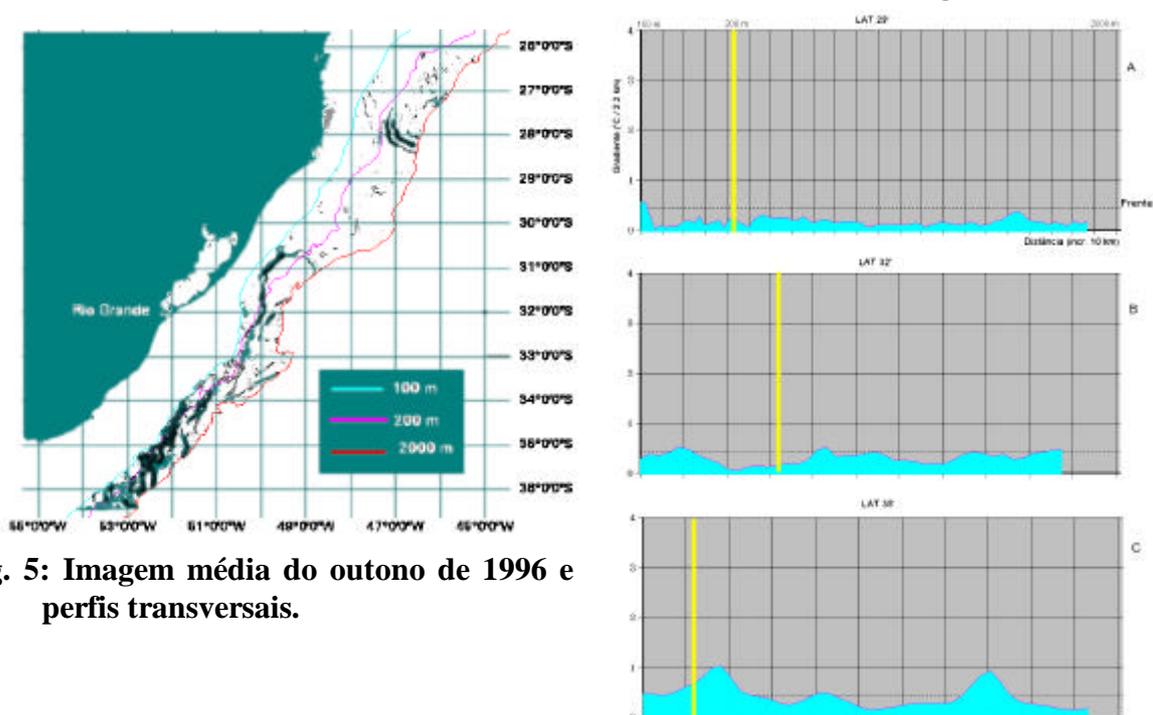


Fig. 5: Imagem média do outono de 1996 e perfis transversais.

Outono de 1997

Uma extensa frente foi observada entre as latitudes 31°S e 37°S, semelhante a encontrada no outono do ano anterior, menos intensa e descontínua. Também um meandro entre as latitudes 27°S e 28°S semelhante ao descrito ano anterior (figura 6). Na latitude 29°S observou-se duas frentes, uma distante 26 km em direção a costa, da isóbata de 200 m, e a outra, a 9 km da isóbata, mais ao largo (figura 6.a). Na latitude 32°S foi registrada uma frente térmica associada a isóbata de 200 m, estendendo-se por mais de 100 km em direção ao norte, apresentando meandramento (figura 6.b). Já na latitude 35°S ocorreu uma zona de alto gradiente térmico (0,7° C / km) junto a isóbata de 100 m, distante 11 km da isóbata de 200 m (figura 6.c).

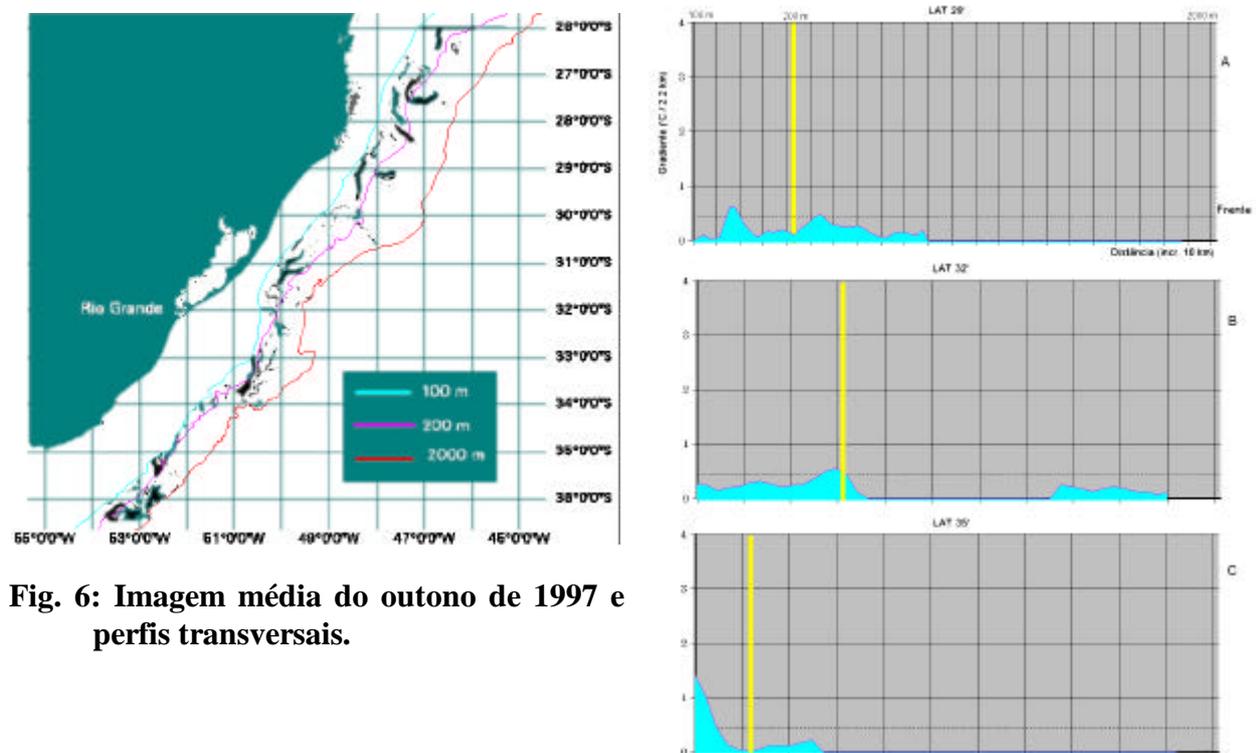


Fig. 6: Imagem média do outono de 1997 e perfis transversais.

Inverno de 1996

O perfil da latitude 29°S foi substituído pelo da latitude 26°30'S devido ao pequeno número de imagens disponíveis. Nesta latitude são registradas três frentes posicionada a próximas a isóbata de 200m, com valores médios de 0,3° C / km. Na latitude 32°S foi registradas uma zona frontal sobre a isobatimétrica de 2000 m apresentando gradientes em torno de 0,4°C/km (figura 7.b). Junto a isóbata de 100 m, os gradientes atingem 1,5° C, no perfil da latitude 35°S (figura 7.c). Neste mesmo perfil observa-se uma extensa zona frontal de aproximadamente 30 km de largura mais ao largo. Tal situação pode estar representando flutuações temporais de uma mesma frente térmica.

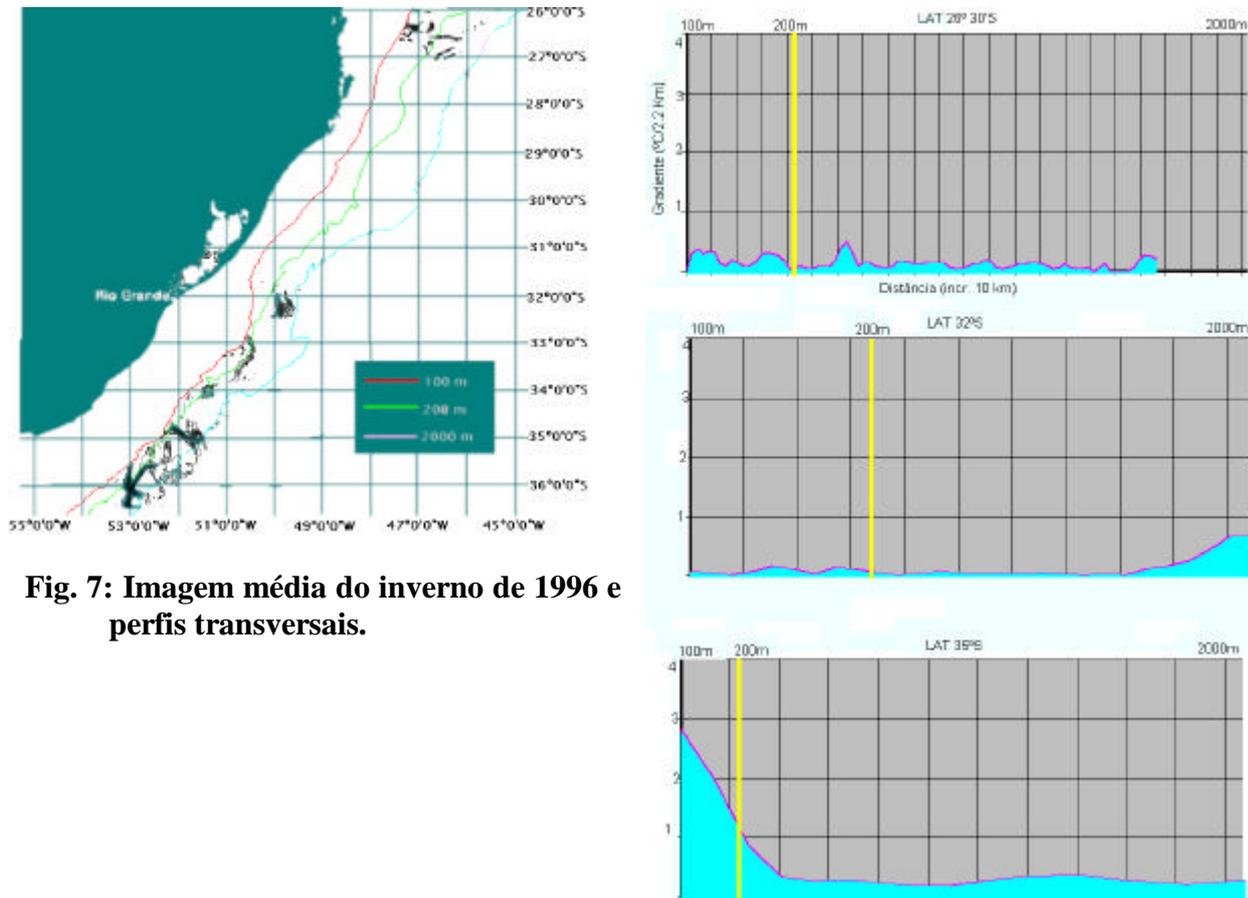


Fig. 7: Imagem média do inverno de 1996 e perfis transversais.

Inverno de 1997

No inverno os altos gradientes de temperatura podem estar associados a dois fenômenos diferentes. Partindo do norte para o sul, de 27°S até 32°S uma série de frentes foram identificadas (na maioria paralelas as linhas isobatimétricas) e pode-se supor que estejam relacionadas com a interface entre a CB e as águas da plataforma. Ao sul de 32°S encontrou-se um gradiente mais elevado e contínuo, também tendendo acompanhar as linhas isobatimétricas. Parece, no entanto, que esta frente extensa e bem demarcada tenha sido gerada pelo encontro das correntes do Brasil e das Malvinas, na região do Extremo Oeste da Convergência Subtropical (EOCS) (*Tseng, 1974*). Uma feição em forma de um semicírculo (possivelmente um meandro) foi registrada entre as latitudes 27°S e 28°S, tangencial a isóbata dos 200 m (figura 8). O perfil transversal na latitude 29°S apresenta duas zonas frontais, uma com menor gradiente e outra exatamente sobre a isóbata de 200 m, com gradiente de 0.6° C/km (figura 8.a). Na latitude 32°S uma frente se desenvolve cerca de 17 km da isóbata de 200 m em direção a costa (figura 8.b). Uma extensa área de elevado gradiente foi observada entre as latitudes 35°S e 37°S, ocupando praticamente toda a largura entre as isóbatas de 100 a 2000 m. Sua origem deve-se a grande diferença de temperatura entre as águas da CM e da CB, sendo encontrado nesta época valores de 8° C (CM) e de 19° C (CB) para as águas transportadas por estas correntes na região em questão. São observados seis

picos de gradientes dentro desta área, com valor máximo de $1,4^{\circ} \text{ C/km}$ (representando o maior gradiente encontrado para a região de estudo ao longo das estações estudadas (figura 8.c).

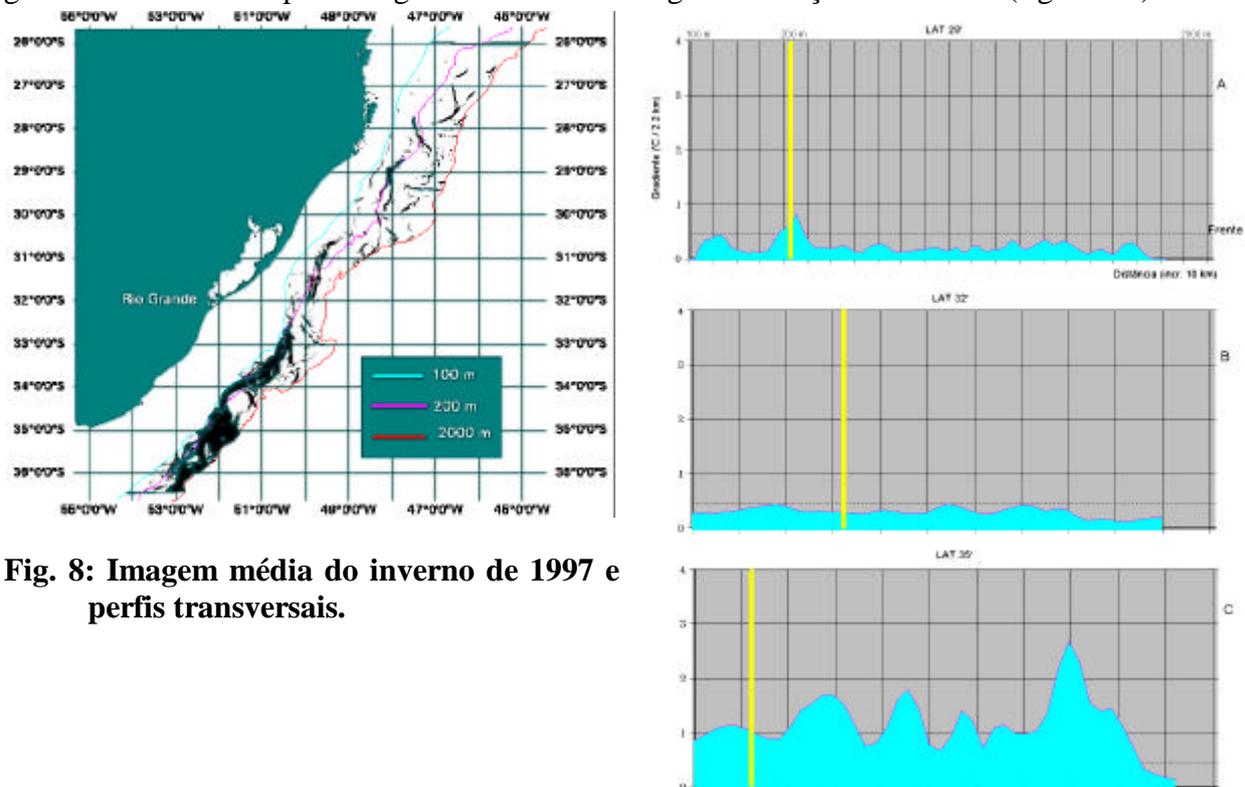


Fig. 8: Imagem média do inverno de 1997 e perfis transversais.

4. Conclusões

Basicamente em todas as imagens estudadas verificou-se ocorrência de Corrente do Brasil, água costeira (considerada neste estudo toda água junto a plataforma, que não exibiu as temperaturas características das correntes do Brasil e das Malvinas), Corrente das Malvinas e a zona de Convergência Subtropical, caracterizada pela região da Frente Oceânica Subtropical (Godói, 1983). Nas imagens-médias dos meses de outono e inverno verificou-se a ocorrência de frentes oceânicas acima da latitude 30°S , portanto além da extremidade norte da convergência Subtropical (Godói & Stevenson, 1984). Estas frentes ocorrem possivelmente pela diferença de temperatura entre o limite interno da Corrente do Brasil e a Água Costeira. Nestas imagens pode-se observar a presença de meandros associados normalmente a água quente da Corrente do Brasil, sendo que algumas feições semelhantes ocorrem nas mesmas épocas em anos diferentes, demonstrando talvez um ciclo anual, pelo menos em relação aos anos estudados.

É considerável a redução do gradiente térmico em direção às menores latitudes principalmente durante o verão e a primavera. Este comportamento pode estar indicando um padrão sazonal, no qual as frentes aparecem ou se intensificam além da latitude de 31°S durante o outono e o inverno.

Geralmente as frentes estiveram paralelas a quebra da plataforma, com algumas exceções, como por exemplo quando apresentaram um comportamento meandrante. Ao sul da latitude 29°S a frente térmica afasta-se da isóbata de 200 m em direção ao oceano e próximo da latitude 30°S cruza a isóbata posicionando-se mais próximo da costa nas proximidades da latitude 31°S . Esta

variabilidade na posição da frente também foi observada por *Garfield* (1990) e pode estar associada a curvatura acentuada no contorno batimétrico naquela região. Em direção ao sul a batimetria torna-se mais reta ao longo da margem continental e a instabilidade na posição da frente térmica desaparece, retornando a associação com a isóbata de 200 m. A similaridade entre as variabilidades nas regiões frontais e curvatura na batimetria, em ambas correntes (CB e CG) sugerem que a interação entre o limite interno das correntes com o contorno batimétrico seja determinante para a instabilidade das frentes nestas regiões.

A zona frontal localizada entre as latitudes 35°S e 37°S apresentou uma largura por volta de 60 km no inverno de 1996 e de mais de 100 km no inverno de 1997, com vários picos da gradiente, um estudo mais detalhado nesta região pode contribuir para o conhecimento dos fenômenos que mantêm os elevados gradientes na interface entre massas d'água.

Entre as latitudes 27° S e 28° S, nas proximidades da Ilha de Florianópolis, a ocorrência de um vórtice quente que permanece na região nos meses de outono nos dois anos deveria ser estudada mais detalhadamente. Outro fator que viabiliza o estudo dessas feições é sua comprovada relação com estoques pesqueiros de valor comercial.

Sob o aspecto econômico um fator que incentiva o estudo detalhado das frentes oceânicas é a necessidade de desenvolvimento de pescarias com auxílio científico no oceano aberto, em função da escassez do recurso pesqueiro nas zonas costeiras.

Bibliografia

- Andrade, H. A.; A L. Belém & C. A E. Garcia, 1993: Distribuição espaço-temporal de feições térmicas e pesca de bonito na região sudeste e sul do Brasil. Anais do VII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto.
- Fedorov, K.N., 1983: Lecture and Notes on Coastal and Estuarine Studies. The Physical Nature and Structure of Oceanic Fronts. Springer-Verlag. 333 págs.
- Fournier, R. O.; Van Det, M; Wilson, J. S. & Haergreaves, N. B., 1979: Influence of the shelf-break off Nova Scotia on phytoplankton standing stock in winter. J. Fish Res. Board Canada, vol. 36, pág. 1228-1237.
- Garfield, III. N., 1990: The Brazilian Currents at Subtropical Latitudes. PhD Theses. University of Rhode Island. United States of America. 122 págs.
- Godoi, S.S., 1983: Estudo das variações sazonais da Frente Oceânica Subtropical entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, utilizando dados oceanográficos e dados do satélite SMS-2. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Brasil. 328 págs.
- Godoi, S. S.; & Stevenson, M. R., 1984: Seasonal oscillations of the Subtropical Convergence between the Brazil and Malvinas Currents, using oceanographic and SMS-2 satellite data. XV Symposium of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro - RJ. Brazil.

- Maluf, S., 1985: Relatório final do subprojeto CARPE (modelo de cartas de pesca) referente ao bonito-listrado (*Katsuomus pelamis*) apresentado a Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM). INPE-3707 - RPE/495, 86 págs.
- Olson, D. B. & Backus, R. H., 1985: The concentrating of Organisms at Fronts: A cold-water Fish and a Warm-core Gulf Stream Ring. *J. Mar. Res.*, vol. 43, págs. 113-137.
- Olson, D. B.; G. Podestá; R. H. Evans; & O. B. Brown, 1988: Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents. *Deep-Sea Res.*, 35 (12), 1971-1990.
- Tseng, Y. C., 1974: Study of the surface boundary of the Brazil and Falkland Currents. *Proceedings of the Seminar on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries*, Vol. 2, São José dos Campos-Brazil, pp. 160-173.