

## **Distinção Quantitativa de Feições Oceanográficas Observadas nas Imagens Termiais a partir do Operador de Fragmentação Assimétrica: indicações preliminares.**

ARCILAN TREVENZOLI ASSIREU<sup>1</sup>  
JOÃO ANTÔNIO LORENZZETTI<sup>2</sup>  
CARLOS EDUARDO SALLES ARAÚJO<sup>3</sup>  
REINALDO ROBERTO ROSA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IOUSP/INPE – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

<sup>2,3,4</sup>INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil  
arcilan, loren, salles@ltd.inpe.br  
rosa@lac.inpe.br

**Abstract** Remote Sensing offers conditions of obtaining large amounts of data. The high spatial resolution of the sensors makes it possible to detect fine structures. These facts indicate the necessity of developing techniques that represent quantitative measures of separation of the different detected features in the satellite products. In this paper we investigate the effectiveness of the Asymmetric Fragmentation Operator, developed by Rosa *et al.* (1999), for the quantitative characterization of oceanic features present in thermal AVHRR IR images. The first results obtained indicate some potential in distinguishing features according to their structural complexities. However, the algorithm presently used still is not robust enough to clearly separate thermal fronts from oceanic current meanders.

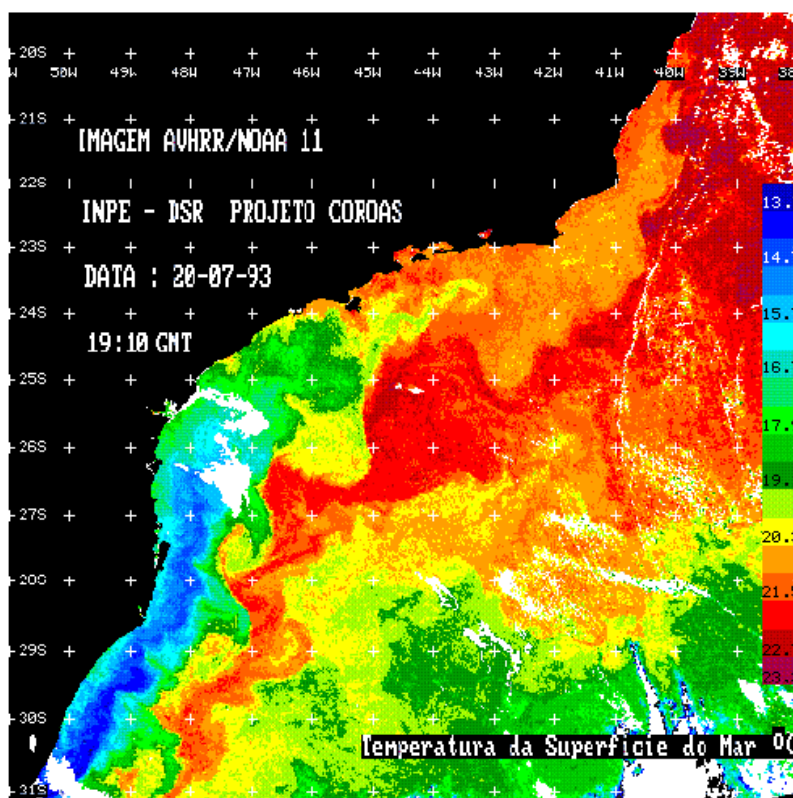
**Keywords:** Remote Sensing, Asymmetric Fragmentation Operator, AVHRR.

### **1 Introdução**

O Sensoriamento Remoto vem oferecendo condições de obtenção de dados numa quantidade cada vez maior. Isto, somado ao aumento da resolução espacial dos sensores e conseqüente capacidade de detecção de estruturas cada vez mais finas, indicam a necessidade do desenvolvimento de técnicas que possibilitem uma distinção quantitativa das feições observáveis nos produtos de satélite. Os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM), variando em escalas espaciais de local até global, e em escalas temporais de horas até meses ou anos, são de interesse para pesquisadores de diferentes áreas, principalmente os meteorologistas e os oceanógrafos. Estas imagens apresentam padrões representativos da complexidade advinda da alta variabilidade termal observada sobretudo em regiões marcadas pela presença de vórtices, frentes térmicas, meandros etc. Este artigo tem como objetivo a investigação das potencialidades

de aplicação do Operador de Fragmentação Assimétrica, desenvolvido por Rosa *et al.* (1999), na tentativa de caracterização quantitativa de feições oceanográficas observáveis nas imagens termais. Resultados preliminares indicam a capacidade do operador em distinguir as feições segundo suas complexidades estruturais, mas mostrou-se pouco robusto em fazer a distinção entre frentes termais e meandros.

A Figura 1 ilustra o regime oceânico típico do Atlântico Sudoeste onde percebe-se a presença de importantes feições oceanográficas como: vórtices, frentes termais, ressurgências, meandramentos e etc. Esta abundância de feições faz com que estas imagens apresentem um elevado padrão de complexidade.

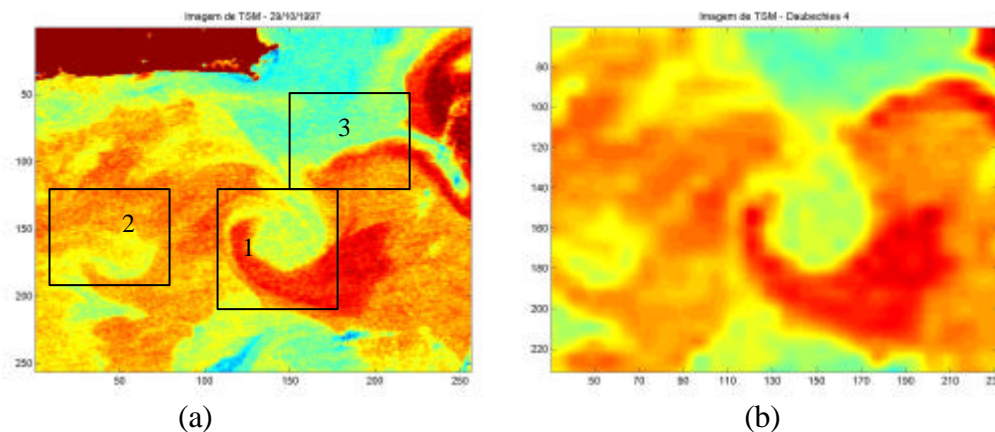


**Figura 1 – Imagem TSM mostrando as feições típicas observadas na costa brasileira.**

## 2 Materiais e Métodos

Foi utilizada neste estudo a imagem de TSM da região oceânica adjacente a Cabo Frio, de 23 de outubro de 1997 (Figura 2-a). Nesta região são normalmente observados vórtices e meandros semi-permanentes e frentes oceânicas, que apresentam contrastes térmicos bem definidos na imagem de TSM.

O sinal contido na imagem de TSM possui um alto conteúdo energético em altas frequências (feições da ordem de 1 a 10 km), sendo utilizado um filtro baseado na transformada de ondeleta (wavelet) do tipo daubechies-4 de ordem 3 (Akansu e Haddad, 1992) para a remoção destas frequências. A imagem filtrada pode ser observada na Figura 2-b. Na Figura 2-a são identificadas, através dos retângulos, as subregiões sobre as quais o operador foi aplicado, região 1: vórtice; região 2: meandro e região 3: frente termal.



**Figura 2 – Subregiões sobre as quais o operador foi aplicado; a) original, b) filtrada.**

As análises foram feitas sobre as subregiões originais e filtradas, o que possibilitou avaliar sobre qual destes produtos o operador melhor se aplica.

**O Operador de Fragmentação Assimétrica:** O Operador de Fragmentação Assimétrica ( $F_A$ ) é um parâmetro quantificador de assimetrias em um campo gradiente, o que possibilita a quantificação do grau de complexidade local, que pode ser um indicador de padrão espacial. No caso de imagens, este parâmetro permite a caracterização dos principais padrões, levando assim à identificação de estruturas dominantes ou mais importantes, e ao mesmo tempo indicando suas complexidades relativas. O Operador de Fragmentação Assimétrica ( $F_A$ ), maiores detalhes ver Rosa *et al.* (1999), é um operador computacional que opera sobre uma matriz  $M$ , transformando esta em um campo de triangulação  $T_A$ , com  $L$  pontos conectados por  $I$  linhas. Formalmente, a quantidade de fragmentação assimétrica,  $F_A$ , é dado por:

$$F_A = (I-L)/L \quad (I \geq L > 0) \quad (1)$$

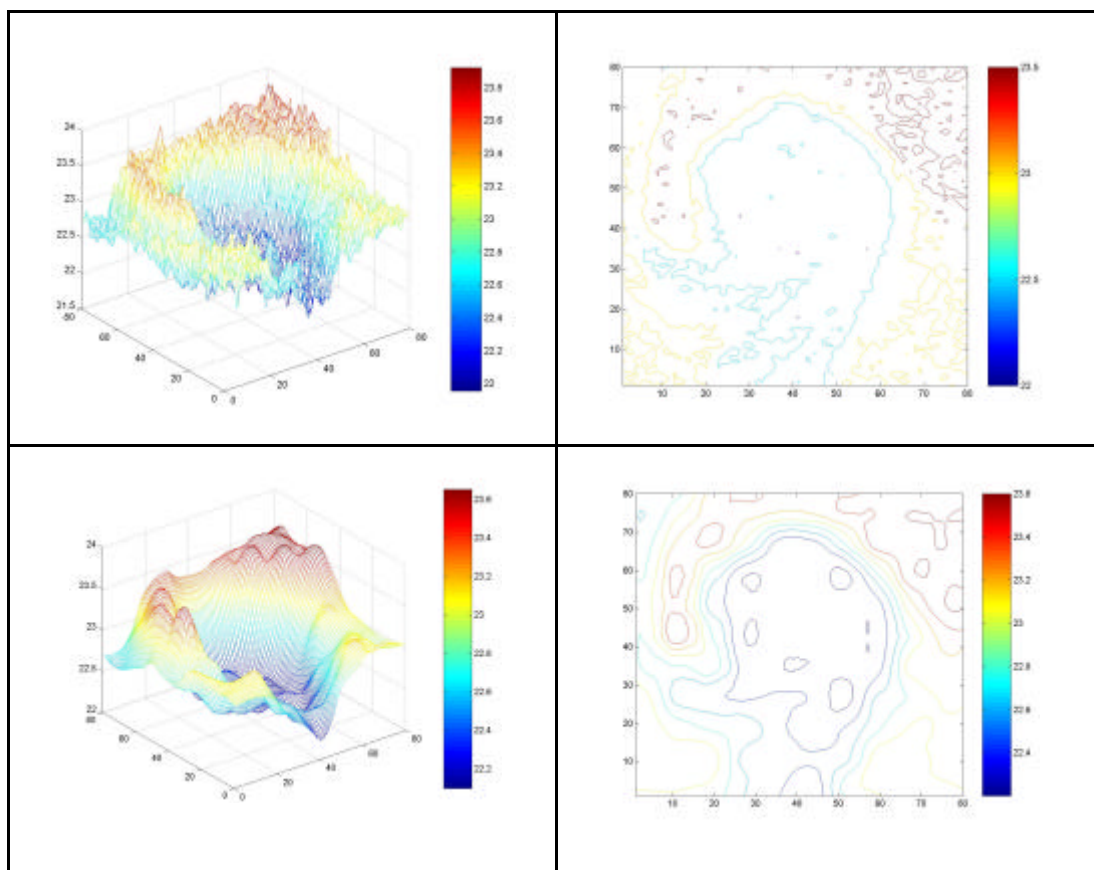
Os passos de aplicação do operador são os seguintes:

- 1) a matriz é visualizada (pode ser através de contornos de intensidade, superfície ou imagem);
- 2) um campo gradiente para esta matriz é gerado com  $V$  vetores, caracterizando a variação espacial da intensidade pixel a pixel;
- 3) cada par de vetores simétricos do campo gradiente são removidos dentro de uma tolerância ( $\xi$ ), gerando o campo de assimetria da matriz  $M$ , com  $L$  vetores;
- 4) cada vetor  $L$  é então representado pelo ponto médio, gerando um campo escalar bidimensional, com  $L$  pontos;
- 5) a Triangulação de Delauney é então aplicada sobre estes  $L$  pontos, gerando assim um campo de triangulação com  $I$  linhas;
- 6) o parâmetro de fragmentação  $F_A = (I-L)/L$  é então calculado.

### 3 Resultados

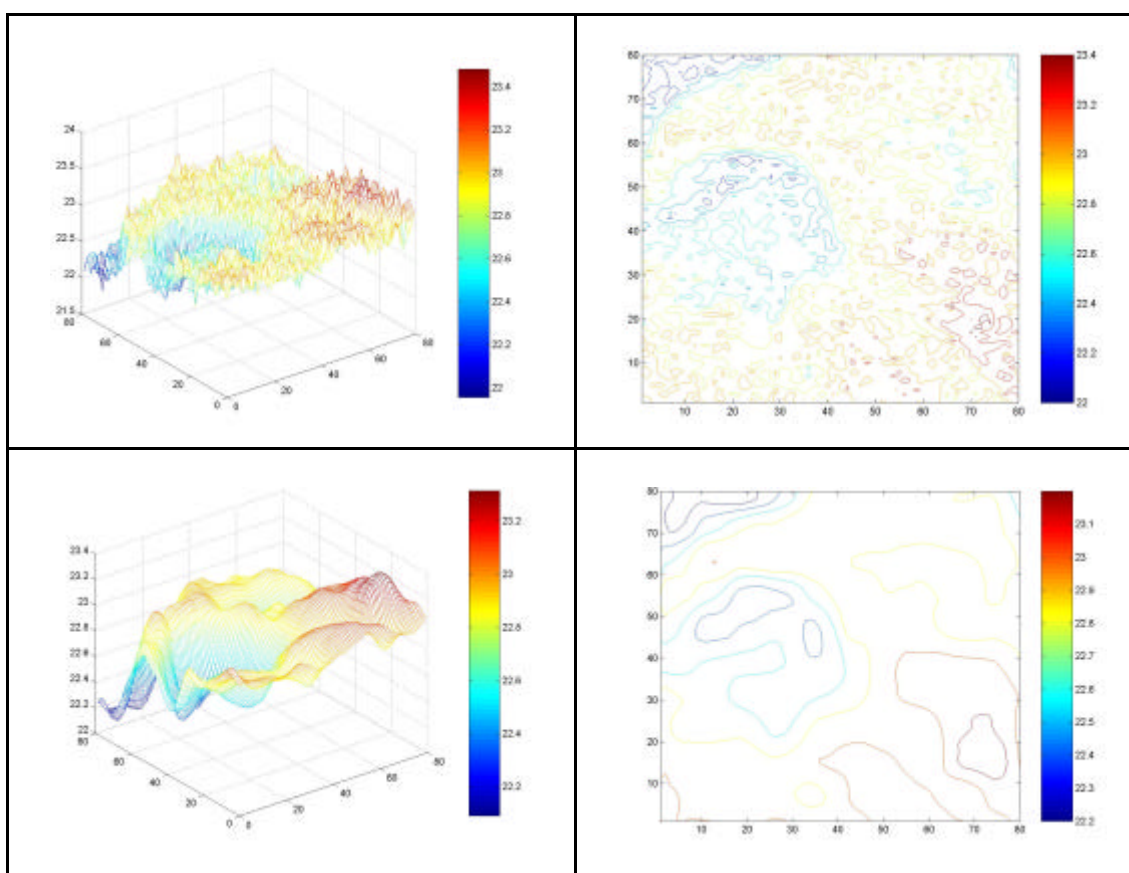
O Operador de Fragmentação Assimétrica ( $F_A$ ) foi aplicado sobre as sub-regiões 1,2 e 3, respectivamente: vórtice, meandro e frente térmica. As matrizes associadas a estas feições foram separadas em dimensões  $80 \times 80$ , o que segundo Rosa *et al.* (1999) leva a uma incerteza de

0,0003 no valor de  $F_A$ . A Figura 3 ilustra a forma estrutural do sinal de TSM para o vórtice analisado. As Figuras 4 e 5 descrevem a forma estrutural do sinal de TSM para o meandro e a frente termal, respectivamente.



**Figura 3 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo ao vórtice original (linha superior) e filtrado (linha inferior).**

A partir destas figuras (Figuras 3, 4 e 5), sobretudo pela inspeção dos campos de contorno de intensidade, observa-se que tanto para a imagem original quanto para a filtrada, o vórtice apresenta-se como uma estrutura mais coerente que o meandro que é mais coerente que a frente termal. Esta ordem de coerência, compatível com o que se esperava baseado em conhecimentos sobre estas feições oceanográficas, foi confirmado pelos valores de  $F_A$  obtidos a partir da imagem filtrada.



**Figura 4 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo ao meandro original (linha superior) e filtrado (linha inferior).**

A Tabela 1 traz os valores do Parâmetro de Fragmentação Assimétrica para as estruturas analisadas em sua forma original e após passarem pelo filtro (índice f). O algarismo duvidoso é indicado em vermelho.

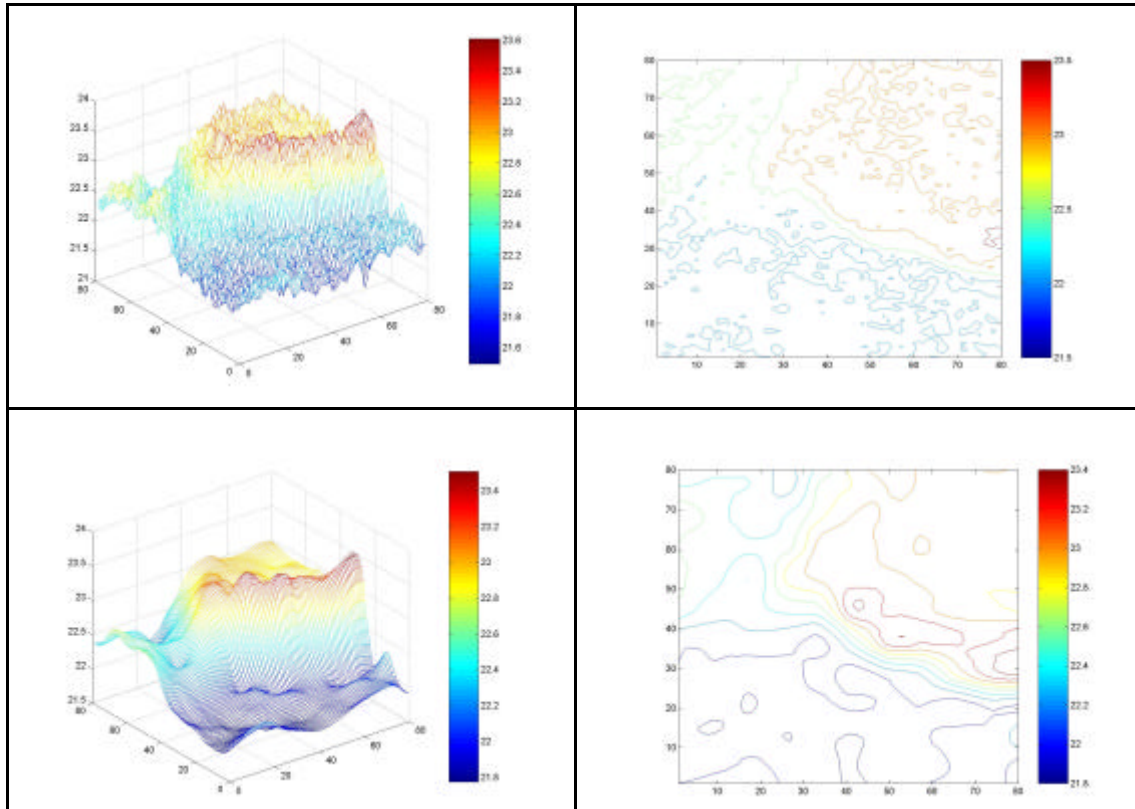
**Tabela 1 – Valores do parâmetro  $F_A$  para as estruturas analisadas. O algarismo em vermelho possui uma incerteza de +/- 3.**

	vórtice	meandro	frente	Vórticef	Meandrof	frentef
$F_A$	1,99564	1,99676	1,99692	1,99455	1,99576	1,99647

Pela Tabela 1 observa-se que o  $F_A$  mostrou-se capaz de diferenciar numericamente o vórtice das outras feições mas a diferenciação entre meandro e frente terminal ficou comprometida pelo intervalo de incerteza do  $F_A$  que leva a possibilidade de sobreposição destes valores. Isto foi observado tanto para os dados filtrados quanto para os não filtrados. O menor valor de  $F_A$  observado para o vórtice é compatível com o esperado, pois esta é uma medida da complexidade



estrutural, e o vórtice, como sabido, é entre as três feições investigadas a que apresenta a estrutura do campo termal mais coerente em termos estruturais.



**Figura 5 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo a frente termal original (linha superior) e filtrado (linha inferior).**

A comparação entre os valores de  $F_A$  obtidos a partir de análises sobre a imagem original e a filtrada, indica que a aplicação do filtro permitiu a obtenção de valores para  $F_A$  que representam uma escala crescente da complexidade das estruturas analisadas: vórtice, meandro e frente, nesta ordem. Já os valores de  $F_A$  continuaram sem conseguir distinguir de forma confiável, mesmo após a utilização do filtro, o padrão associado aos meandros daqueles associados a frente termal.

#### 4 Conclusão

O Operador de Fragmentação Assimétrica ( $F_A$ ) foi aplicado a uma imagem de TSM original e sobre a mesma imagem após removidas as altas frequências. Este operador mostrou-se, para a imagem analisada, eficiente em distinguir o vórtice das demais estruturas, porém pouco robusto em distinguir o meandro da frente termal. A sugestão para tentar contornar esta deficiência é que sejam utilizadas matrizes maiores, isto geraria valores de  $F_A$  com intervalo de variação menor, pois a incerteza é inversamente proporcional ao tamanho da matriz. A aplicação do filtro teve um resultado favorável no sentido que permitiu que os valores de  $F_A$  obtidos para as matrizes filtradas, reproduzissem o padrão de complexidade das estruturas analisadas que em ordem

crescente espera-se que sejam: frente terminal, meandro e vórtice. Portanto, embora preliminares, os resultados indicaram que este operador  $F_A$  pode ser útil em estudos que visem desenvolver métodos automatizados de caracterização de estruturas, porém ressalta-se a necessidade de estudos mais amplos que visem verificar de forma definitiva a robustez deste operador. A próxima etapa deste estudo é a repetição deste experimento, porém utilizando um outro parâmetro, derivado este, que por considerar escala logarítmica, tende a permitir distinções que não foram possíveis a partir do  $F_A$ . Maiores detalhes sobre este novo parâmetro, chamado  $F_{A2}$ , pode ser encontrado em da Silva *et al.*(2000).

### **Agradecimentos**

O primeiro autor agradece a FAPESP (Ref. 98/15413-7), por prover recursos ao programa de doutorado.

### **Referências**

- Akansu, A.N., Haddad, R.A **Multiresolution Signal Decomposition: transforms, subbands and wavelets**. London, Academic Press, 1992.
- Da Silva, A.F.; Rosa, R.R.; Roman, L.S; Veje, E.; Pepe, I. . Characterization of Asymmetric Fragmentation patterns in SFM Images of Porous Silicon. **Solid State Communications**, 113, p. 703-708, 2000.
- Rosa, R.R.; Sharma, A.S.;Valdivia, J.A. Characterization of Asymmetric Fragmentation patterns in Spatially Extended Systems. **International Journal of Modern Physics C**, v.10, n.1, p. 147-163, 1999.