

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC-CNPq 2005-2006

AVALIAÇÃO DE ATLAS DE VENTOS E DE ONDAS
UTILIZANDO OPERADOR AAF (ASYMMETRIC AMPLITUDE
FRAGMENTATION) DA TÉCNICA GPA (GRADIENT PATTERN
ANALYSIS)

São José dos Campos, SP
2006

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC-CNPq 2005-2006

**Avaliação de Atlas de Ventos e de Ondas utilizando operador AAF
(Asymmetric Amplitude Fragmentation) da técnica GPA (Gradient
Pattern Analysis)**

Thiago Alves de Moraes

Orientador: Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar

Colaboradores: Reinaldo Roberto Rosa
Fernando Manuel Ramos

Monografia apresentada ao INPE –
Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais, pela participação no
Programa Institucional de Bolsas de
Iniciação Científica – PIBIC / CNPq
2005-2006.

São José dos Campos, SP
2006

Dedico esta publicação a meus pais e amigos que me apoiaram, direta ou indiretamente, em todos os momentos.

“É fundamental que o estudante adquira uma compreensão e uma percepção nítida dos valores. Tem de aprender a ter um sentido bem definido do belo e do moralmente bom.”

ALBERT EINSTEIN

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família pelo apoio para o desenvolvimento dos meus estudos.

Ao meu orientador, Doutor Nandamud Lankalapalli Vijaykumar, pela sua orientação, dedicação, amizade e pelos conhecimentos passados durante a elaboração do Trabalho.

Agradeço também aos doutores Reinaldo Rosa e Fernando Ramos que me auxiliaram durante o decorrer deste trabalho.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de iniciação científica e pelo auxílio financeiro durante a pesquisa.

AVALIAÇÃO DE ATLAS DE VENTOS E DE ONDAS UTILIZANDO OPERADOR AAF (ASYMMETRIC AMPLITUDE FRAGMENTATION) DA TÉCNICA GPA (GRADIENT PATTERN ANALYSIS)

RESUMO

Em muitas regiões, as observações do clima do passado são muito limitadas e para se avaliar os impactos gerados por mudanças climáticas foi usada uma técnica chamada de *hindcast*, gerando-se informações atmosféricas. O trabalho se concentra na região da costa Irlandesa utilizando dados *hindcast* de ventos e de ondas. Este projeto fez parte de um projeto maior financiado pela União Européia para produzir ventos e ondas para várias regiões costeiras da Europa. O período do *hindcast* foi a partir de 1958. Esta técnica basicamente utilizou dados de reanálise na escala global e gerou ventos de alta resolução com o uso de modelo de área limitada (HIRLAM). Por sua vez, estes ventos de alta resolução foram usados num modelo de ondas (WAM) para gerar condições de ondas para a região. Foram feitas análises preliminares nestes conjuntos de dados utilizando estatística convencional. O objetivo é investigar técnicas mais robustas para fazer análises mais complexas no domínio espaço-temporal além de detectar padrões nestes fenômenos. Este trabalho, então, se concentra em utilizar a técnica Gradient Pattern Analysis (GPA) como caracterizador de evolução espaço-temporal dos padrões de ventos e ondas. Ela é baseada em dois operadores computacionais: AAF (Asymmetric Amplitude Fragmentation) que permite obter uma medida para determinar quebra de simetria de um padrão dinâmico; e CEF (Complex Entropic Form), que permite observar padrões intermitentes durante a evolução espaço-temporal. Os dois operadores foram utilizados em conjunto para detectar a influência da ação dos ventos sobre as ondas além de observar este comportamento ao longo dos anos, aplicando –se o primeiro momento gradiente(g_1^a) e a fase do quarto momento $\varnothing g_4$, foram colocados os resultados em planos obtidos no domínio espaço temporal de $g_1^a \times \varnothing g_4$ e observado seus comportamentos durante os anos. O trabalho mostra como os dois operadores foram integrados para uma parte (1988 a 1997) dos dados do *hindcast*. Uma metodologia é descrita com os resultados obtidos. Uma sugestão é colocar em itálico as palavras que aparecem em inglês como por exemplo *hindcast*.

**EVALUATION OF WIND AND WAVE DATASETS USING AAF OPERATOR
(ASYMMETRIC AMPLITUDE FRAGMENTATION) FROM GPA TECHNIQUE
(GRADIENT PATTERN ANALYSIS)**

ABSTRACT

In many regions, observations of the past climate are very limited and to estimate the impact generated by climate changes a *hindcast* technique *hindcast* was used generating atmospheric information. The project concentrates for the region of Irish coast using *hindcast* datasets of winds and waves. This project has been part of another bigger project financed by European Union to produce winds and waves for several coastal regions of Europe. The periods of *hindcasts* was between 1958 and 1997. This technique basically has used datasets of reanalysis on the global scale and generated winds and waves of high resolution using the model of limited area (HIRLAM). In turn, these high resolution winds were used in a wave model to generate conditions of waves with high resolution for the region. Preliminary analysis in these datasets had been made using conventional statistics. The objective is to investigate more robust techniques to make more complex analysis in spatio-temporal domain besides detecting patterns in these phenomena. This work concentrates in using the technique GPA (Gradient Pattern Analysis) as characterizer of spatio-temporal evolution of wind and wave patterns. It is based on two computational operators: AAF (Asymmetric Amplitude Fragmentation) that allows to obtain a measure to determine rupture of symmetry from a dynamic pattern; and CEF (Complex Entropic Form) that allows to observe intermittent patterns during the spatio-temporal evolution. Both of these operators have been applied to detect the influence of action of winds over the waves besides observing this behavior during the years. The report shows how the two operators had been integrated for a part (1988 the 1997) of the *hindcast* data. The methodology involved the application of the first gradient moment (g_1^a) and the phase of the fourth gradient moment (θ_{g4}).

SUMÁRIO

Resumo	i
Abstract.....	ii
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Siglas.....	vi
Lista de Abreviações e Siglas.....	vii
1 – Introdução	13
2 – Dados Analisados	14
3 – A Técnica Empregada	15
3.1 – Os Momentos Gradientes	15
3.2 – O operador AAF	17
4 – Dispersão: Padrão de relaxação espaço temporal.....	21
5 – Resultados.....	23
6 – Conclusão	27
7 – Referencias	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uma representação da Análise dos padrões gradientes.....	16
Figura 2 - g_1^a como uma medida de irregularidade aplicada nas velocidades de ventos	17
Figura 3 - Exibição de diferenças de grades e amostra de vetores.....	17
Figura 4 - Triangulação de Delaunay	18
Figura 5 - Exemplo de $g_1^a \times \Phi_{g4}$ inverno de 1989-1990.....	22
Figura 6 - Correlação entre ventos e ondas (inverno 1989-1990).....	23
Figura 7 - Momento de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$	24
Figura 8 - Momento 2 de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$	24
Figura 9 - Momento 3 de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$	25
Figura 10 - Correlação entre os pontos.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Operador AAF para matrizes randômicas com diferentes tamanhos	19
Tabela 2 - Sumario de principais resultados.....	25

LISTA DE SÍMBOLOS**Latinos**

- f - Fluido
 G - Campo vetorial gradiente
 M - Matriz de amplitudes
 g - Momento gradiente
 \mathbf{r} - Vetores de norma e fase
 r - Parte real do vetor

Gregos

- Γ - Raio de aspecto médio
 δ - Espaço de dispersão
 ∇ - Gradiente
 Φ - Fase
 ε - Escalar

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAF - Asymmetric Amplitude Fragmentation.

CEF - Complex Entropy Form.

GCM - Global Circulation Model.

GPA - Gradient Pattern Analysis.

HINDCAST – Banco de dados com parâmetros de ventos e ondas.

HIPOCAS - Hindcast of Dynamical Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe.

HIRLAM - High-Resolution Limited Area Model.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

NCAR - National Center for Atmospheric Research, Boulder.

NCEP - National Center for Environmental Prediction.

PIBIC - Programa de Incentivo a Bolsas de Iniciação Científica.

WAM - Wave Model.

1-INTRODUÇÃO

Informações através de observações sobre o clima do passado (*past climate hindcast*) são praticamente inexistentes ou quando existem não tem qualidade esperada. Isto ocorre devido a não existência de plataformas de observação suficientes e, quando existiam, as instrumentações não dispunham da qualidade atual.

A União Européia criou um projeto para gerar dados consistentes para o clima do passado utilizando modelos atmosféricos e de ondas para a região da Europa [Soares et al, 2002]. O foco deste plano se concentra para a região da Irlanda onde os resultados de um modelo global de circulação foram refinados por um modelo atmosférico de área limitada para gerar ventos com alta resolução. Por sua vez estes ventos foram integrados com um modelo de ondas para que, informações sobre alturas de ondas fossem geradas. Atualmente, para a região da Irlanda, existem dados chamados de *hindcast* de ventos e de ondas a partir de 1958 a 1997 [Vijaykumar et al, 2003] e [Vijaykumar et al, 2004]. No momento estão sendo geradas estas mesmas informações para o resto do período.

Há uma necessidade de avaliar os dados no domínio espaço-temporal, pois até o momento só foram geradas avaliações pontuais a partir de séries temporais para algumas coordenadas selecionadas. O objetivo, então, é utilizar a técnica *Gradient Pattern Analysis* (GPA) como caracterizador de evolução espaço-temporal dos padrões de ventos e ondas. Ela pode ser aplicada em estruturas espaço-temporal não-lineares para estimação dos momentos gradientes baseados nas assimetrias e entropias entre vetores do campo gradiente das flutuações escalares. É usado na caracterização da formação e evolução de padrões estendidos baseado nas correlações espaço-temporais entre pequenas e largas escalas de amplitudes [Rosa et al, 1998], [Assireu et al, 2002] e [Rosa et al, 2003]. A técnica é baseada no operador *Asymmetric Amplitude Fragmentation* (AAF) [Rosa et al., 1999] O AAF permite obter uma medida para determinar quebra de simetria de um padrão dinâmico. A aplicação deste operador permite observar padrões intermitentes, reativo-difusivos e turbulentos durante a evolução espaço-temporal.

2. DADOS ANALISADOS

O *Hindcast* converteu-se numa abordagem conhecida para gerar condições climáticas do passado, e isto particularmente aplica-se em áreas onde observações históricas são limitadas.

Isto foi reconhecido em nível internacional e a pesquisa detalhada aqui é parte de um projeto internacional europeu chamado HIPOCAS (*Hindcast* para processos dinâmicos das áreas costeiras e oceânicas da Europa) que foi estabelecido para gerar um *Hindcast* climático para várias regiões da costa Européia.

O trabalho descrito dentro do projeto HIPOCAS [Vijaykumar et al, 2003] e [Vijaykumar et al, 2004] foi usado para gerar um *Hindcast* sobre ventos e ondas para os Mares de Irlanda e Céltico e para as águas vizinhas do Atlântico Norte. O *Hindcast* produzido abrange o período 1958-1997.

Com o objetivo de produzir as simulações sobre ondas em alta resolução, precisaram ser gerados campos de ventos a 10m. A partir de modelos numéricos, sendo integrado com um modelo de ondas separado. Este processo permite a produção de informação sobre altura direção e frequência das ondas.

As bases para o projeto HIPOCAS, têm sido análises atmosféricas de 40 anos, executados pelo NCEP e pelo NCAR.

A resolução da saída GCM (Modelo de Circulação Global) é de 200 km, com resultados difundidos de 6 em 6 horas, porém a limitada resolução do GCM, não é suficiente para conduzir estudos de ondas.

Conseqüentemente os resultados obtidos por GCM foram refinados utilizando um modelo regional gerando ventos com uma resolução espacial de 50km e temporal de uma hora.

No caso da costa irlandesa, mais um refinamento foi realizado através do modelo HIRLAM gerando ventos de resolução espacial de 10 km e temporal de 1 hora.

Estes ventos de alta resolução, então, foram usados num modelo de ondas para que informações sobre ondas fossem geradas em alta resolução espacial e temporal.

3. TÉCNICA DE ANÁLISE EMPREGADA

Para que se entenda melhor a correlação e influência de ventos sobre ondas e também a evolução espaço temporal dos comportamentos de sistemas dinâmicos não lineares é utilizada uma técnica mais eficiente que as técnicas convencionais de correlação e raiz média quadrática. Esta técnica é a Análise de Padrões Gradientes (GPA).

O GPA é capaz de caracterizar a formação e evolução de padrões baseado em correlações espaço - temporal entre as pequenas flutuações de estruturas representadas em um campo gradiente.

Neste capítulo é dado destaque ao primeiro e ao quarto momentos gradientes, que são utilizados neste trabalho.

3.1 OS MOMENTOS GRADIENTES

Dentro do formalismo do GPA, um campo gradiente de vetores ($G_t = \nabla|M(x,y)|_t$) é composto por V vetores \mathbf{r} , onde cada vetor $\mathbf{r}_{i,j}$, é representado por sua norma e fase ($\mathbf{r}_{i,j} = (r_{i,j}, \Phi_{i,j})$). Assim, um dado campo escalar de valores absolutos pode ser representado por um campo gradiente das flutuações das amplitudes locais, onde esse campo gradiente pode ser representado por um par de matrizes, uma com normas e outra com fases.

Um campo escalar matricial pode ser representado como a composição de quatro momentos gradientes g_1 , uma medida que expressa a representação global da distribuição vetorial (padrão gradiente), isto é, todas as normas e suas respectivas fases localizadas em um campo gradiente; g_2 , uma medida da diversidade correspondente ao conjunto dos módulos dos vetores; g_3 , uma medida da diversidade da fase correspondente aos vetores, e o quarto momento, g_4 , uma medida complexa global do padrão gradiente, ou seja, uma representação complexa que conjuga normas dos vetores e as fases.

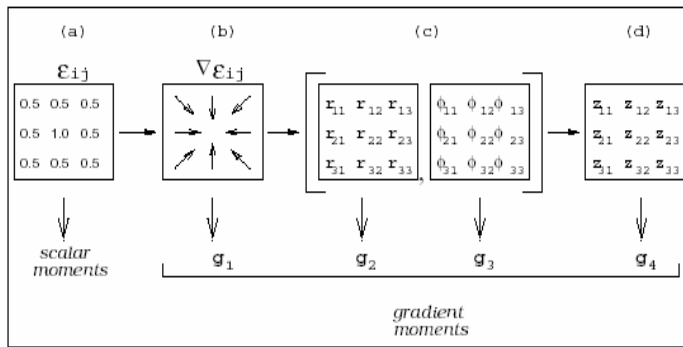


Figura 1. Uma representação da Análise dos padrões gradientes de um campo escalar matricial:

- Um campo escalar arbitrário normalizado;
- O correspondente padrão gradiente da amplitude de flutuações;
- As matrizes das normas e fases das flutuações;
- Representação complexa do campo gradiente;

3.2 OPERADOR AAF

De acordo com estruturas espaços temporais não lineares, um operador computacional para estimar o primeiro momento gradiente g_1 foi introduzido. Ele é baseado em assimetrias entre vetores do campo gradiente das flutuações escalares. Este operador mede a assimetria quebrando de um padrão dinâmico. De $\nabla(M)$ os simétricos pares de vetores (mesmo modulo, mas direções opostas) são removidos. Somente pares assimétricos são deixados e a medida do Fragmentação espacial assimétrica g_i^a conhecidos como FA. [Rosa et al, 2003].

As figuras 2a, 2b e 2c mostram, como exemplo o padrão de fragmentação de amplitudes assimétricos de uma grade arbitrária de 32 x 32 com velocidades de ventos relatados para informações analisadas neste projeto. Utilize as Figuras 2(a), 2(b), e 2(c) do artigo. Estas figuras correspondem aos ventos do projeto.

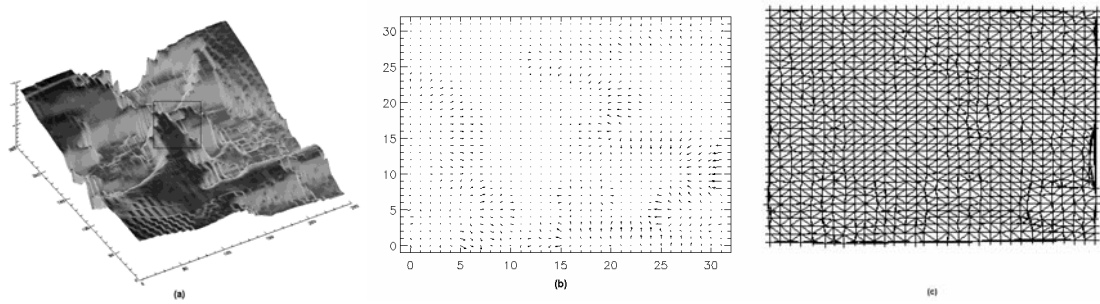


Figura 2a, 2b, 2c – g_i^a como uma medida de irregularidade aplicada nas velocidades de ventos

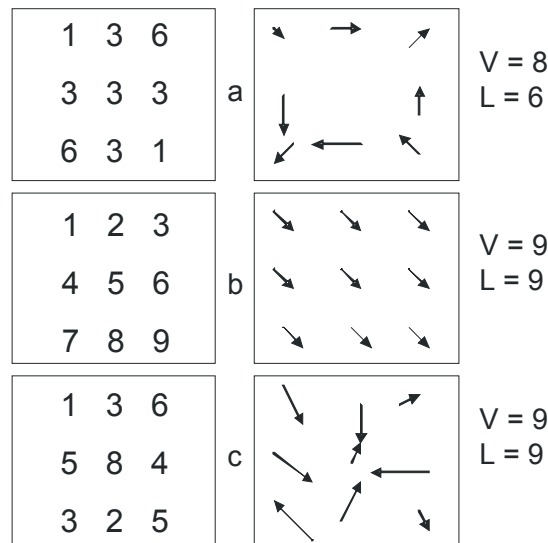


Figura 3a, 3b e 3c – Exibição de diferenças de grades e a amostra de vetores.

A matriz relativa a figura 3a corresponde a um processo mais irregular que na figura 3b, no entanto, como mostrado nas figuras, a simples comparação de vetores V(quantidade de vetores) e vetores L(quantidade de vetores assimétricos) não permitiria uma distinção entre os processos representados por cada matriz. Devido a isso há uma segunda operação.

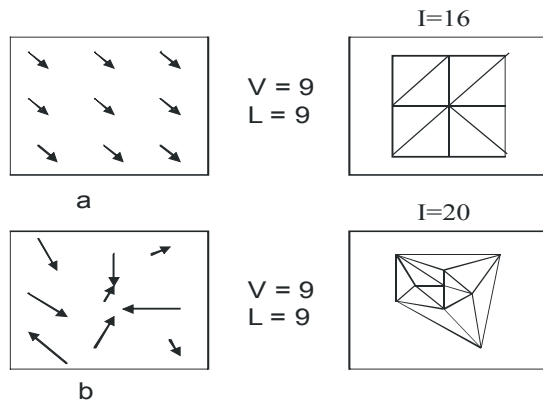


figura 4a e 4b – Triangulação de Delaunay

A triangulação de Delaunay é também utilizada para diferenciar os vetores assimétricos num campo fractal com dimensões assimétrica no padrão (estruturas regulares), o numero total de vetores assimétricos é menores que dois. Quando existe nenhuma correlação zero e conseqüentemente g_1^a é nulo. Padrões complexos compostos por estruturas assimétricas têm valores específicos não zeros do g_1^a . [Rosa et al, 2003]

TABELA1 – OPERADOR AAF PARA MATRIZES RANDÔMICAS COM DIFERENTES TAMANHOS

NxN	Lmax	Imax	<u>(Imax – Lmax)</u> Lmax	Desvio
3x3	9	18	1.2200	0.2200
5x5	25	65	1.6500	0.1700
10x10	100	285	1.8600	0.0120
20x20	400	1186	1.9575	0.0076
30x30	900	2685	1.9833	0.0031
64x64	4096	12269	1.9954	0.0009
80x80	6400	19199	1.9968	0.0003
100x100	10000	29975	1.9974	0.0002
128x128	16384	49140	1.9992	0.0001

Estes valores foram computados com testes de matrizes randômicas com vários tamanhos.

A dimensão da matriz de ventos do projeto *hindcast* é 80x 80 e o valor de referência AAF para este tamanho é de 1.9968 e o desvio é de 0,0003, como precisamos do extremo negativo subtraímos o valor gerado por 1,9965. A dimensão da matriz de ondas é de 121x121 e o valor

referência AAF para este tamanho é de 1.9992 e desvio é de 0.0001 Utilizando o extremo negativo subtraímos o valor gerado por 1,9991.

4. DISPERSÃO: PADRÃO DE RELAXAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL

Uma das principais propriedades do g_i^a é a capacidade em quantificar o padrão dinâmico em escalas intermediárias comparando as escalas globais e locais de uma grade analisada. Esta característica é devido as assinaturas multi-escalares presentes no campo de triangulação construído pelos vetores assimétricos [Rosa et al, 2003].

O quarto momento gradiente é mais sensível, para as características globais e locais do campo gradiente; Conseqüentemente, as dinâmicas de padrões gradientes podem ser caracterizados como um par de fase composto por g_i^a versus $|g_4|$ e g_i^a versus Φ_{g_4} .

Nos dois casos pode-se determinar o coeficiente de dispersão geométrica, δ , dado pela distancia escalar euclidiana entre os pontos da fase. Assim, as dinâmicas de um padrão espaço-temporal irregulares podem ser caracterizadas pelo tempo de evolução do coeficiente de dispersão geométrico calculado dos espaços complementares g_i^a versus $|g_4|$ e g_i^a versus Φ_{g_4}

O primeiro, $\delta_L \times t$, caracteriza as dinâmicas relacionadas às escalas variando de global para escalas intermediárias e o segundo, $\delta_t \times t$ caracteriza as dinâmicas relatadas para escalas variando de intermediários para níveis mais finos. Em resumo, a metodologia utilizando o AAF e CEF segue os passos descritos abaixo.

- 1 Calcular g_i^a da grade(matriz) para cada passo do tempo
- 2 Calcular $|g_4|$ e Φ_{g_4} da grade(matriz) para cada Passo do tempo [Rodrigues e Vijaykumar, 2006]
- 3 Para detectar variações de grandes e médias escalas, calcular δ_L de g_i^a e $|g_4|$ [Rodrigues e Vijaykumar, 2006].
- 4 Para detectar variações de médias e pequenas escalas, calcular δ_t de g_i^a e Φ_{g_4}
- 5 As dinâmicas de um dado espaço temporal estrutural irregular é caracterizado de duas séries de tempo: $\delta_L \times t$ e $\delta_t \times t$

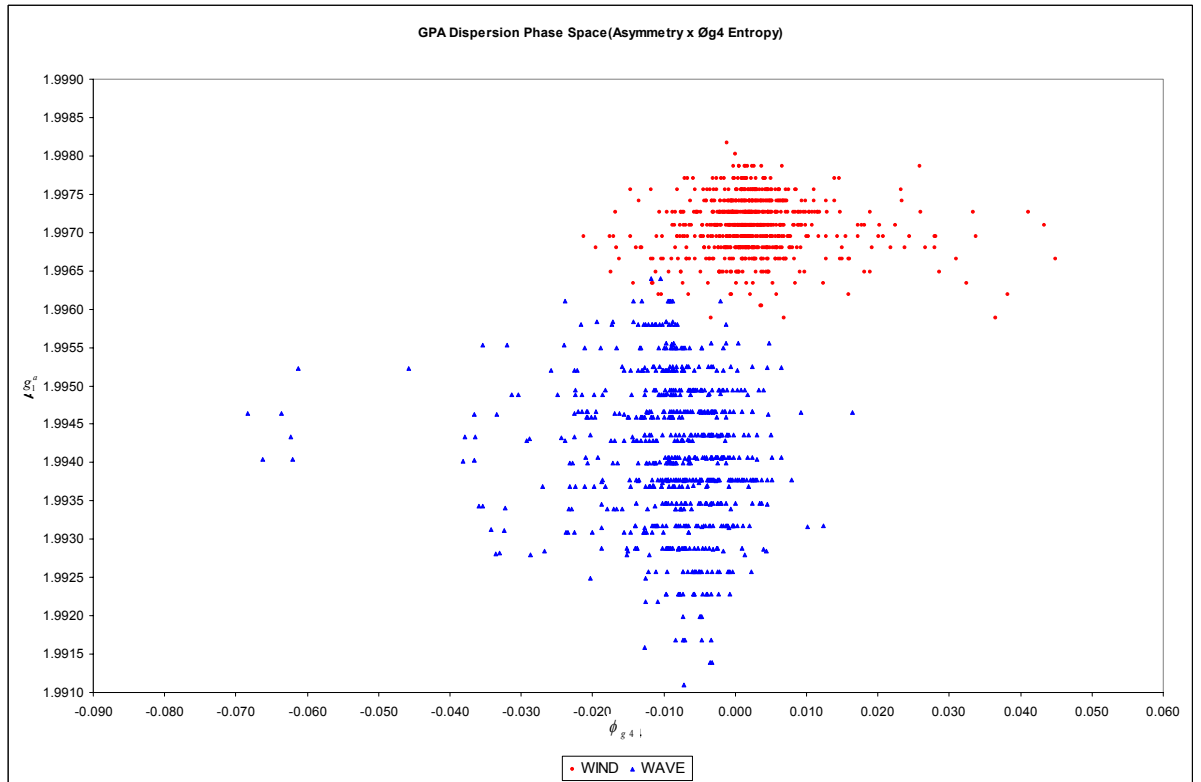


Figura 5- Exemplo de $g_1^a \times \Phi_{g4}$ inverno de 1989-1990

5. RESULTADOS

Os dados de velocidade de ventos e altura de ondas da costa Irlandesa na época do inverno de 1989-1990 foram submetidos a análises de correlações estatísticas simples e como pode ser visto na figura 3, existe um alto nível de correlação (0.67) entre dinâmica de ventos e ondas. Uma vez que a grade tem uma alta resolução, escalas enfocadas de 0.5 a 10m (ondas) e 1 m/s a 20m/s (ventos) a questão sobre a correlação entre ondas e ventos considerando o comportamento não linear de estruturas escalares é importante. Assim, O GPA foi aplicado para Inverno de 1989-1990 de arquivos de ventos e ondas. A área coberta para a região da Irlanda é sobre 1000Km² com uma resolução aproximada de 7Km. Velocidades de ventos são avaliadas de hora em hora com seus valores médios variando de 1m/s a 20m/s enquanto que as alturas de ondas são avaliadas a cada 3 horas com os valores médios variando de 0.6m a 7m. Conseqüentemente, O *timestep* feito para a metodologia foi de 3 horas.

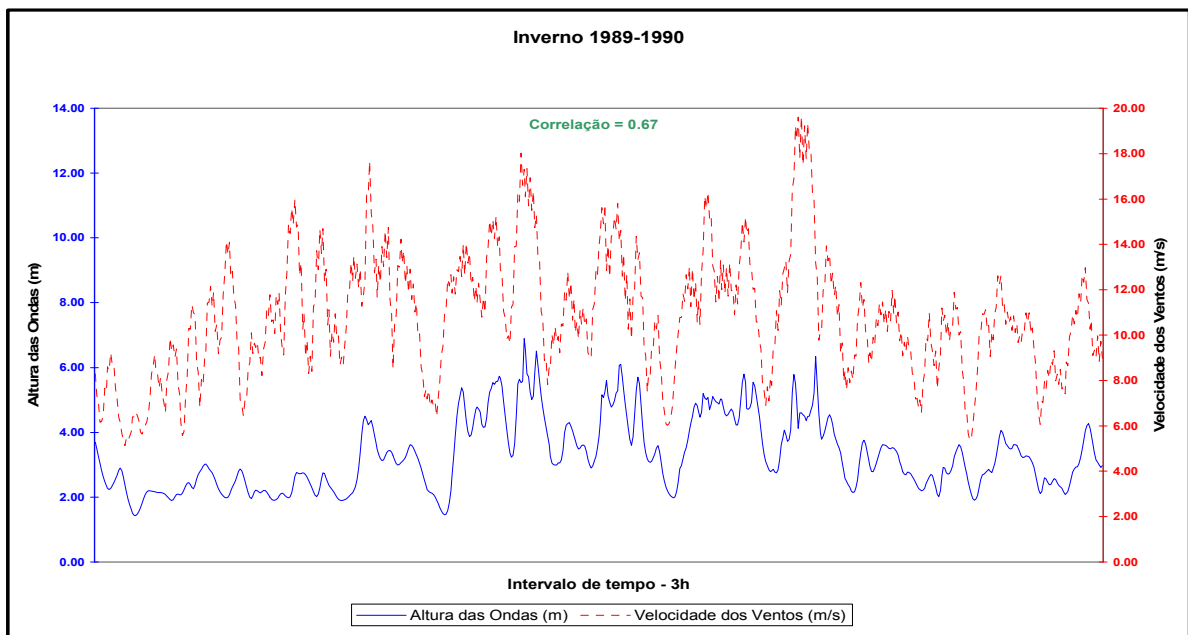


Figura 6 – Correlação entre ventos e ondas (inverno 1989-1990)

O objetivo é interpretar os passos 4 e 5 da metodologia do GPA, a metodologia 3 de g_i^a e $|g_4|$ é descrita em [Rodrigues e Vijaykumar, 2006]. As figuras 6, 7 e 8 mostram g_i^a versus Φ_{g_4} para alguns períodos da figura 4. A primeira característica interessante observada neste gráfico é a discriminação significativa entre as dinâmicas de ventos e ondas mostrando que mesmo sendo correlacionados, eles são totalmente diferentes (sistemas/fenômenos) a respeito de não

linearidade para pequenas escalas. Os domínios de assimetrias e entropias de fase são completamente distintos.

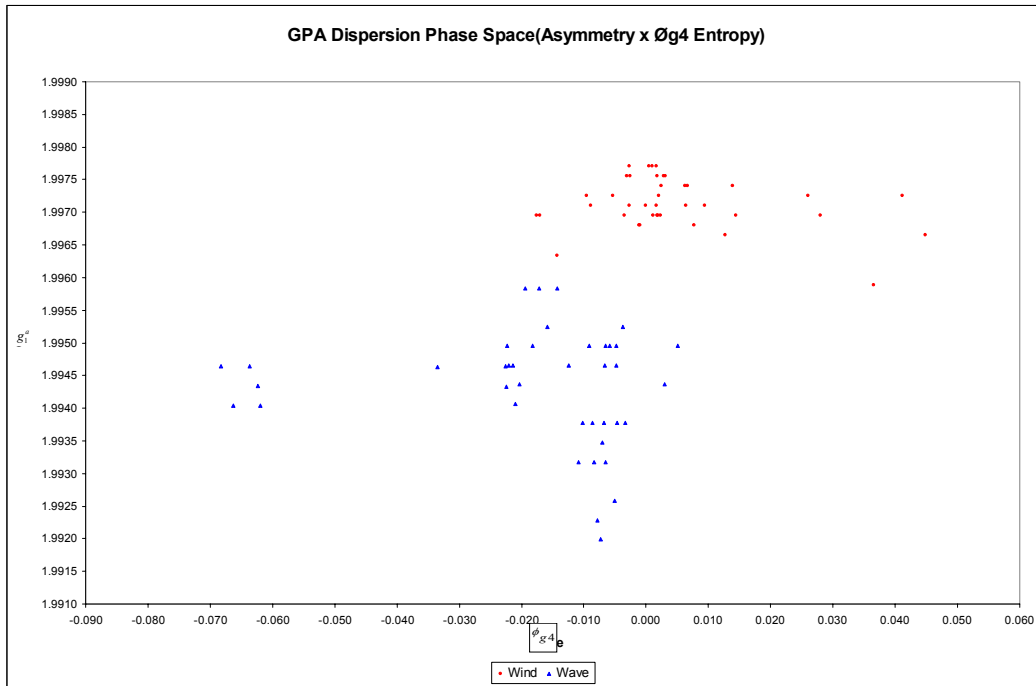


Figura 7 – Momento de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$

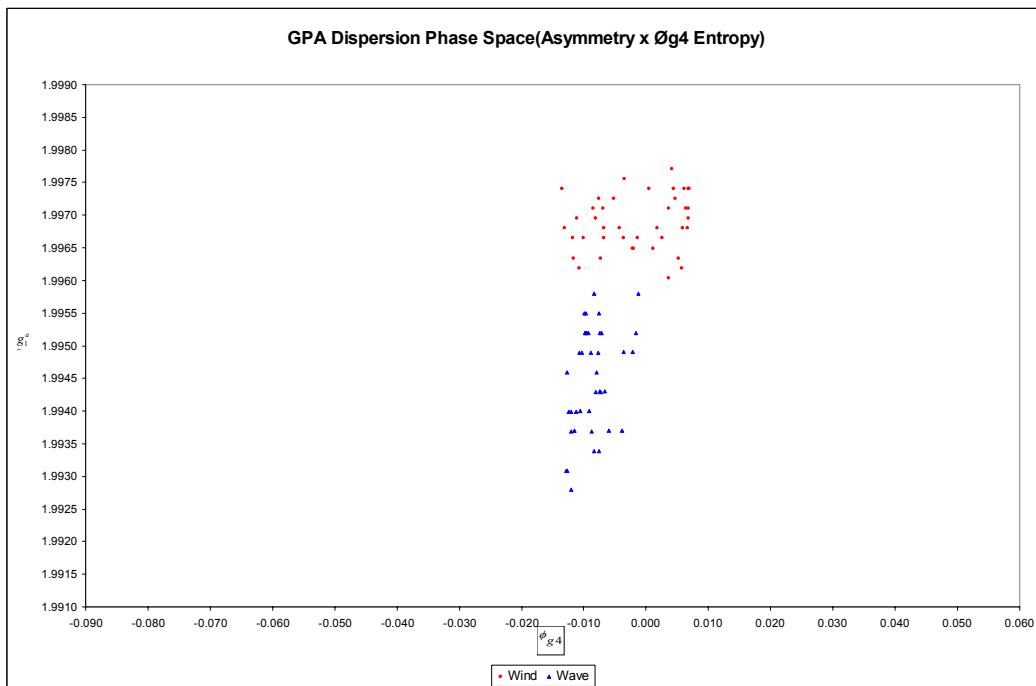


Figura 8 – Momento 2 de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$

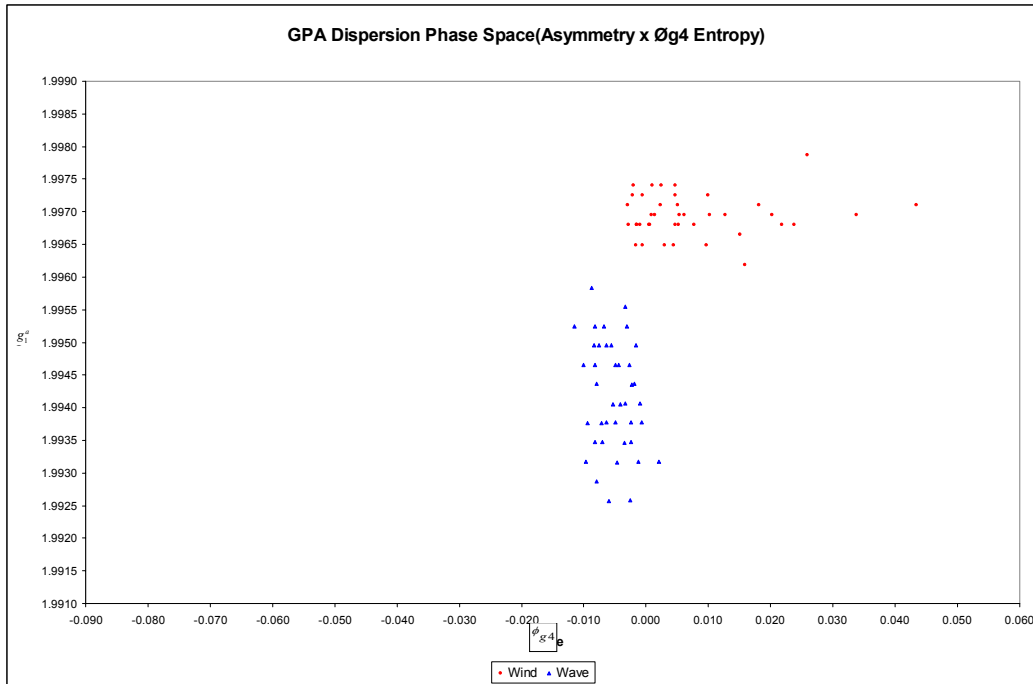


Figura 8 – Momento 3 de dispersão de $g_1^a \times \Phi_{g4}$

A combinação de g_1^a e Φ_{g4} é sensível na detecção de pequenas mudanças nos padrões dinâmicos entre velocidade de ventos e altura de ondas, considerando a resolução da área da grade analisada, o índice dos resultados é mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Sumário de principais resultados

Wind/Wave	Linear Correlation	Nonlinear Correlation
Spatial-temporal Scales		
> 10^2 m	High (~ 0.70)	Low (~ 0.00)
< 10^2 m	-	High (~0.50)

Após calcular a distancia euclidiana dos pontos mais distantes nos planos (o inverno de 1989-1990 foi dividido em 18 planos separando de 40 em 40 *timesteps*), foi feita a correlação dos resultados e foi obtida uma alta correlação. Na figura 9 pode se observar uma grande correlação na maioria dos *timesteps*. Isto significa que a medida da distancia determinada por

conjuntos de ventos é seguida por medidas de distancias determinadas nos conjuntos de alturas de ondas indicando uma alta influencia de ventos sobre ondas de intermediaria para pequenas escalas. Neste caso, as flutuações não lineares nos valores são difíceis para serem determinados por simples cálculos estatísticos.

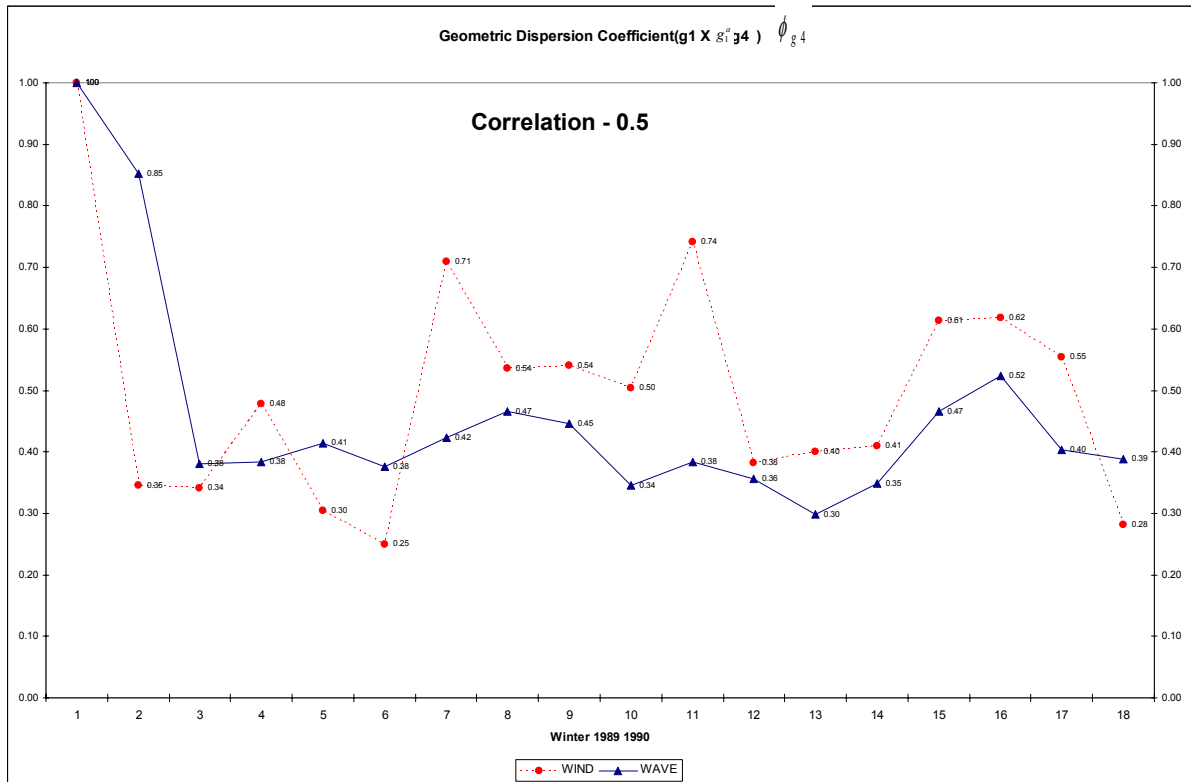


Figura 10 – Correlação entre os pontos

6 – CONCLUSÃO

Este relatório mostrou que a Metodologia GPA é uma apropriada ferramenta computacional para detecção de correlações de não linearidade entre ventos e ondas em dinâmicas do espaço temporal. Por análises os padrões para o inverno de 1989 1990 de series de ventos e ondas, mostrou-se que a técnica GPA é sensível na detecção de assimetrias e entropias relacionadas ao campo gradiente de matrizes de ventos e ondas em volta da costa simulados com alta resolução. Isto caracteriza a formação e evolução de padrões estendidos das correlações espaço temporal entre grandes e pequenas flutuações da estrutura padrão representada como um campo gradiente. O resultado mostra na tabela 2 que pode ser feito como uma conjectura para ser testado trabalhando em diferentes séries de dados (outros períodos e localizações). Espera-se que a abordagem introduzida aqui foque para conduzir um mais rigoroso estudo de como a aplicação de cada operador ajudaria a estabilizar uma metodologia mais monitorada para detectar padrões não lineares que escalam características de dinâmicas litorais que pode ser utilizável para futura estratégia de proteção costeira.

7 – REFERENCIAS

- Assireu, A.T.; Rosa, R.R.; Vijaykumar, N.L.; Lorenzetti, J.A.; Rempel, E.L.; Ramos, F.M.; Abreu Sá, L.D.A.; Bolzan, M.J.A.; Zanandrea, A. Gradient Pattern Analysis of short nonstationary time series: an application to Lagrangian data from satellite tracked drifters. *Physica D*, 168-169, pp. 397-403, 2002.
- Rodrigues, M.F.R.; Vijaykumar, N.L. Avaliação de Atlas de Ventos e Ondas Utilizando Operador CEF (Complex Entropy Form) da técnica GPA (Gradient Pattern Analysis). SICINPE, INPE 2006
- Rosa, R.R.; Neto, C.R.; Ramos, F.M.; Sharma, A.S.; Valdivia, J.A. Computational operator for dynamical complex pattern recognition. In: European Physical Society (Ed.), *EPS-modelling Collective Phenomena in Complex Systems*, 22F, 304-305, 1998.
- Rosa, R.R.; Sharma, A.S.; Valdivia, J.A. Characterization of asymmetric fragmentation patterns in spatially extended systems. *International Journal of Modern Physics C*, 10 (1), 147-163, 1999.
- Rosa, R.R.; Campos, M.R.; Ramos, F.M.; Vijaykumar, N.L.; Fujiwara, S.; Sato, T. Gradient Pattern Analysis of Structural Dynamics: Application to Molecular System Relaxation. *Brazilian Journal of Physics*, 33(3). To be published in September 2003.
- Soares, C.G., Weisse, R., Carretero, J.C., Alvarez, E. A 40 Years Hindcast of Wind, Sea Level and Waves in European Waters. *Proceedings of the 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Oslo, Norway, 2002.
- Vijaykumar, N.L.; Devoy, R.J.; Gault, J.; Dunne, D.; O'Mahony, C. Validation Methods and Links to a Coastal-GIS in the development of a High Resolution Limited Area Model (HIRLAM) for producing a 40-year Wave Atlas for the Irish and Celtic Seas. *CoastGIS'03 – Fifth International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management*, Genova, Italy, October 2003. (Proceedings with full papers on CD-ROM)
- Vijaykumar, N.L.; Gault, J.; Devoy, R.; Assireu, A.; Dunne, D.; O'Mahony, C. An experience on Wind Hindcast to simulate a Wave Hindcast over the Irish Sea, *XIII CBMET (Brazilian Congress of Meteorology)*, Fortaleza, CE, Brazil, August-September 2004 (Poster Presentation. Full Paper published in the Proceedings)

