

Fig. 3 - Médias climatológicas sazonais para os campos de radiações de ondas curtas (W/m^2) (mapas à esquerda), ondas longas (W/m^2) (mapas no centro) e fluxo de calor latente (W/m^2) sobre o Atlântico Tropical, representativas aos meses de DJF, MAM, JJA e SON.

4 Referências Bibliográficas

- Ankomah, O.Y. and Cordero, I. Atlantic sea surface temperatures and rainfall variability in Ghana. *J.A.S.*, **7**: 551-558, 1994.
- Da Silva, A.M.; Young, C.C.; Levitus, S. Atlas of surface marine data 1994. Volume 1: Algorithms and procedures. *NOAA ATLAS NESDIS 6*, Washington, 1995. 83pp.
- Hastenrath, S. Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. *Monthly Weather Review*, **112**: 1097-1107, June, 1984.
- Parker, D.E.; Folland, C.K. and Ward, M.N. Sea surface temperature anomaly patterns and prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa. *Nature*, **310**: 483-485, 1988.
- Uvo, C.R.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S.E. and Kushnir, Y. The influence of tropical pacific and atlantic sst on northeast Brazil monthly precipitation. Accepted to *J. of Climate*, 1994.

Características Atmosféricas e Oceânicas Observadas Durante os Eventos do Padrão de Dipolo no Atlântico Tropical

Divisão de Tempo e Clima - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME
Av. Bezerra de Menezes, 1900, Fortaleza-CE-Brasil CEP-60325-002
Fax: (085) 287-1165 - Email: everaldo@zeus.funceme.br

Everaldo Barreiros de Souza

Paulo Nobre

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE
Rod. Pte. Dutra, Km 40, Cachoeira Paulista-SP-Brasil CEP-12630-000
Email: pnobre@cptec.inpe.br

Abstract

The so-called Dipole Pattern is characterized by a north-south interhemispheric gradient in sea surface temperature (SST), due this mode involves spatially coherent SST variations with opposite sign in each hemisphere, between about 5N-25N and 5S-25S, over the tropical Atlantic Ocean. The anomalous SST patterns associated with Atlantic Dipole significantly affect the position and intensity of the Intertropical Convergence Zone, and thus exert a considerable influence on the regional climate and rainfall of any continental regions localized in the Americas and Africa (e.g., Northeast Brazil, Sahel and Ghana). In this work is used the composites analyses to investigate the spatial variability of the atmospheric and oceanic characteristics (and its possible relationship) associated with Atlantic Dipole events. The events was selected by temporal series of the SST standardized indices calculated for north and south Atlantic Basins (methodologies report in Servain, 1991).

1 Introdução

Um dos principais modos de variabilidade de grande escala, observados sobre a Bacia do Atlântico tropical, é o conhecido na literatura como o Padrão de Dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), o qual foi detectado por várias pesquisas científicas que abordaram análises observacionais e estatísticas (Hastenrath e Heller, 1977; Servain, 1991; Nobre e Shukla, 1995) e simulações numéricas (Moura e Shukla, 1981; Huang et al., 1994). O Dipolo do Atlântico configura-se como um padrão de anomalias de TSM apresentando sinais opostos ao norte e ao sul do equador sobre o Atlântico tropical. Essa estrutura anômala de TSM gera a existência de um forte gradiente termal norte-sul e inter-hemisférico, o qual influencia diretamente a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico equatorial, e portanto, afeta significativamente o clima e principalmente a distribuição de precipitação de algumas áreas continentais adjacentes, tais como, as regiões do Sahel e Ghana na África (Palmen, 1986; Parker et al., 1988; Ankomah e Cordero, 1994), o leste da Amazônia (Alves et al., 1993) e principalmente o Nordeste Brasileiro (Nobre; 1993)

Neste trabalho objetiva-se fazer uma análise, sob o ponto de vista observacional, da variabilidade espacial associada com as características atmosféricas e oceânicas médias (ênfatizando-se as eventuais inter-relações existentes entre essas variáveis) durante a manifestação dos eventos do Padrão de Dipolo que se configuraram sobre o Atlântico tropical.

2 Dados e Metodologia

Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos da mais nova versão do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS), o qual foi compilado por Da Silva et al. (1995) e contém médias mensais em ponto de grade global com espaçamento de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ de latitude-longitude e referente ao período de janeiro de 1945 a dezembro de 1993.

O critério de seleção dos eventos do Padrão de Dipolo adotado neste trabalho, baseou-se na metodologia descrita em Servain (1991), ou seja, foram calculados os índices dos desvios normalizados de TSM, construídos para as áreas chaves (associadas ao Padrão de Dipolo) localizadas ao norte ($5^{\circ}\text{N}-25^{\circ}\text{N}/50^{\circ}\text{W}-20^{\circ}\text{W}$) e ao sul ($2^{\circ}\text{S}-22^{\circ}\text{S}/25^{\circ}\text{W}-5^{\circ}\text{E}$) da Bacia do Atlântico tropical. Assim, a partir da série temporal dos índices normalizados médios mensais de TSM (Figura 1), foram selecionados os anos que apresentaram simultaneamente o sinal positivo ao norte e negativo ao sul do Atlântico, ou vice-versa (característica associada ao Padrão de Dipolo).

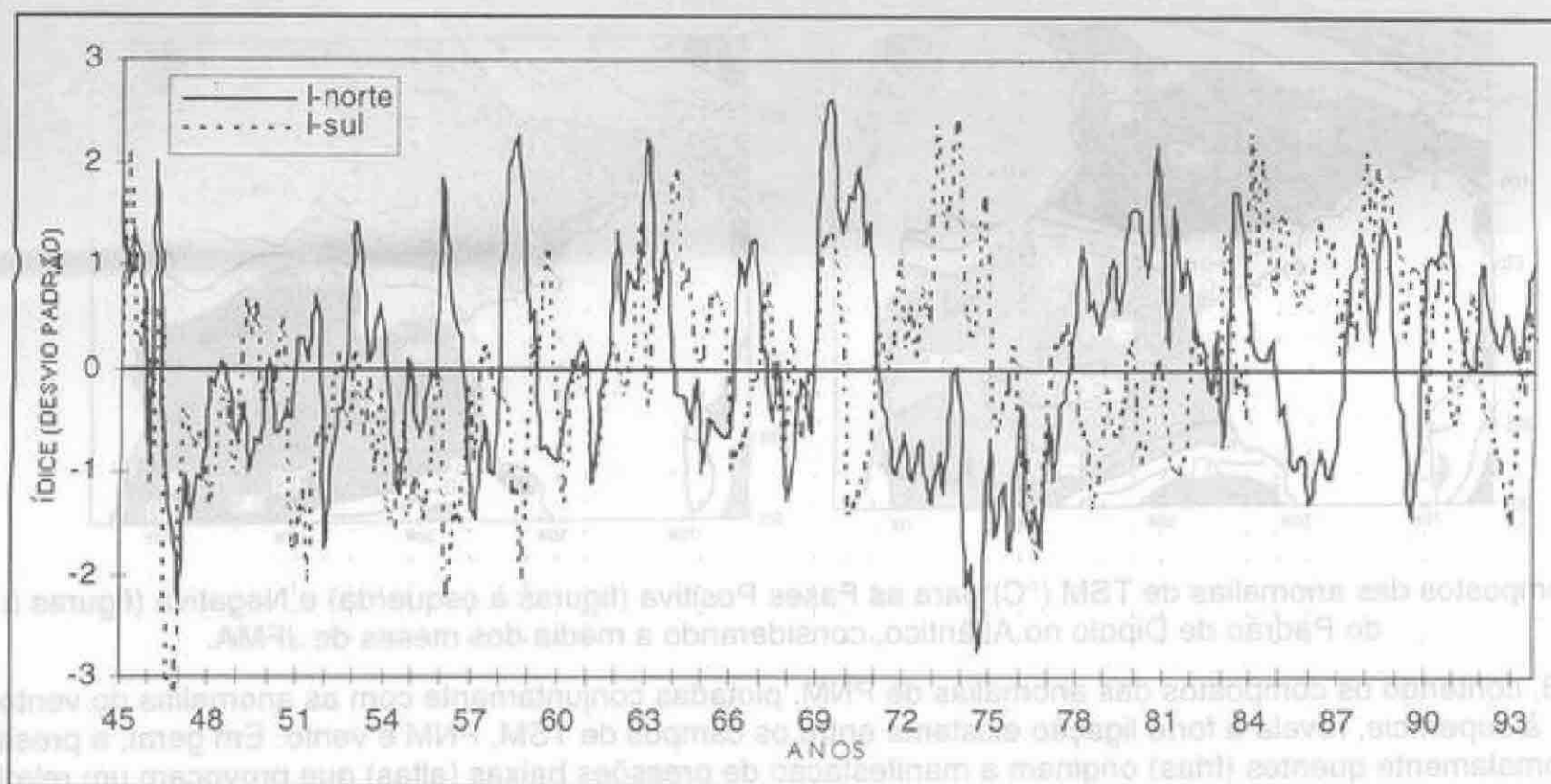


Fig. 1 -Série temporal dos índices normalizados médios mensais de TSM para as áreas ao norte (linha sólida) e ao sul (linha pontilhada) do equador sobre o Atlântico tropical.

Na Tabela 1 relaciona-se os anos em que se observaram os eventos do Dipolo no Atlântico, os quais foram divididos em dois sub-períodos distintos que se convencionou denominar de Fase Positiva e Fase Negativa do Padrão de Dipolo, caracterizadas como a seguir:

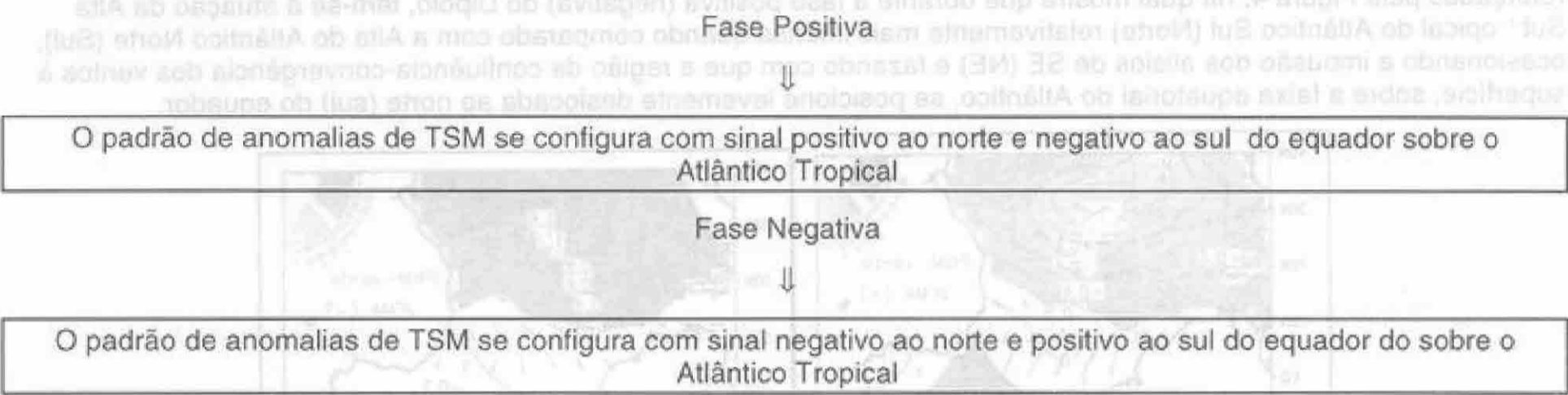


Tabela 1 - Relação dos Anos em Que Se Observaram Os Eventos do Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical

Fase Positiva	Fase Negativa
1951 - 1953 - 1956 - 1958 - 1966 - 1970	1949 - 1964 - 1965 - 1971 - 1972 - 1973
1978 - 1979 - 1980 - 1981 - 1992	1974 - 1977 - 1985 - 1986 - 1989

De posse dos respectivos anos representativos às fases positiva e negativa dos eventos de Dipolo observados no Atlântico (Tabela 1), foram gerados os compostos mensais e sazonais das anomalias de TSM, pressão ao nível médio do mar (PNM), vento horizontal, cobertura de nuvens e precipitação (todas as variáveis ao nível de superfície). As análises foram conduzidas para os meses de janeiro a maio (período de configuração máxima dos eventos do Dipolo no Atlântico).

3 Resultados e Discussões

Nas análises dos compostos mensais das anomalias de TSM (Figuras não mostradas) observou-se claramente, em ambas as fases do Dipolo, o deslocamento, intensificação e expansão gradativa das anomalias de TSM do setor leste para o oeste da Bacia do Atlântico. Na Figura 2 mostra-se os compostos sazonais considerando-se os meses de janeiro a abril (JFMA), nos quais observa-se a característica espacial média associada ao Padrão de anomalias de TSM durante as duas fases dos eventos do Dipolo no Atlântico. A proximidade entre as isolinhas de TSM contendo sinais opostos ao sul e ao norte do Atlântico indica a existência de um forte gradiente meridional de temperatura inter-hemisférico em baixos níveis.

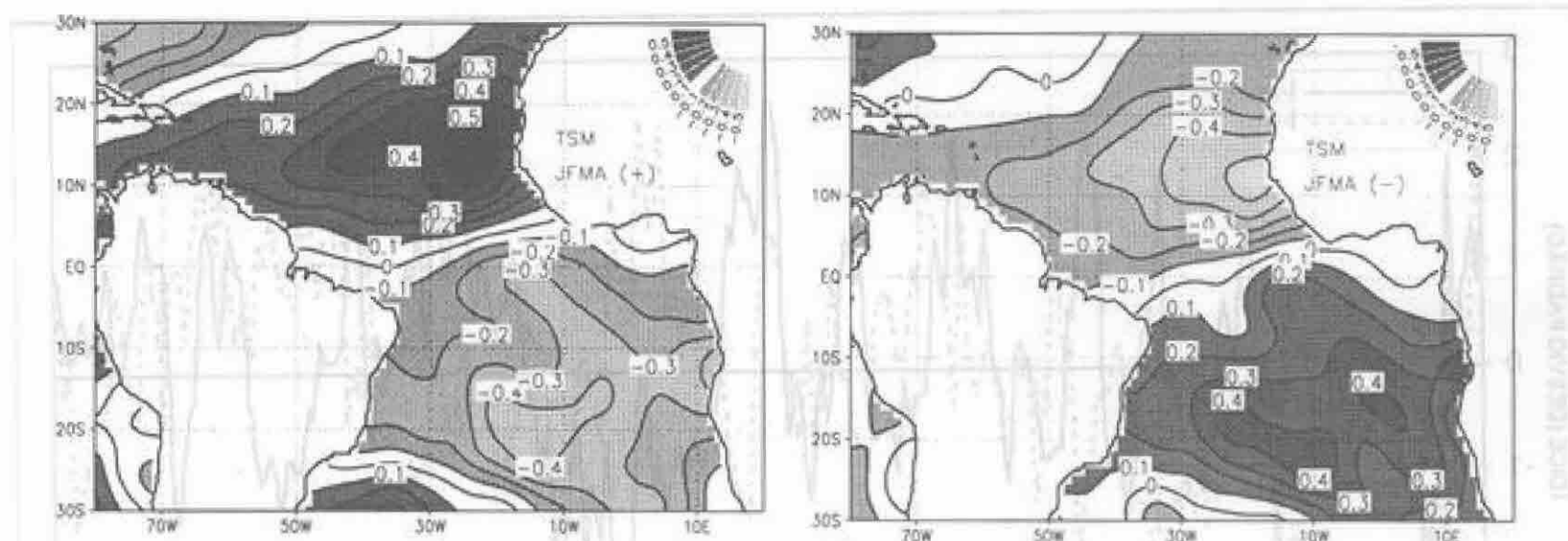


Fig. 2 - Compostos das anomalias de TSM (°C) para as Fases Positiva (figuras à esquerda) e Negativa (figuras à direita) do Padrão de Dipolo no Atlântico, considerando a média dos meses de JFMA.

A Figura 3, contendo os compostos das anomalias de PNM, plotadas conjuntamente com as anomalias do vento horizontal à superfície, revela a forte ligação existente entre os campos de TSM, PNM e vento. Em geral, a presença de TSMs anormalmente quentes (frias) originam a manifestação de pressões baixas (altas) que provocam um relativo enfraquecimento (fortalecimento) na intensidade das Altas Subtropicais. A intensidade das Altas Subtropicais, por sua vez, influenciam diretamente nas magnitudes dos ventos alísios sobre a superfície do oceano (Hastenrath, 1978). Na Figura 3 observa-se claramente essas relações: durante a fase positiva (negativa) do Padrão de Dipolo, tem-se ao sul (norte) do Oceano Atlântico a presença de TSMs mais frias do que o normal (Figura 2), as quais estão associadas ao relativo fortalecimento da Alta Subtropical (anomalias de PNM positivas) e por consequência, os ventos alísios de SE (NE) se manifestam mais intensos do que o normal, notadamente sobre a faixa equatorial do Atlântico. Estes fatos são reforçados pela Figura 4, na qual mostra que durante a fase positiva (negativa) do Dipolo, tem-se a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (Norte) relativamente mais intensa quando comparado com a Alta do Atlântico Norte (Sul), ocasionando a impusão dos alísios de SE (NE) e fazendo com que a região de confluência-convergência dos ventos à superfície, sobre a faixa equatorial do Atlântico, se posicione levemente deslocada ao norte (sul) do equador.

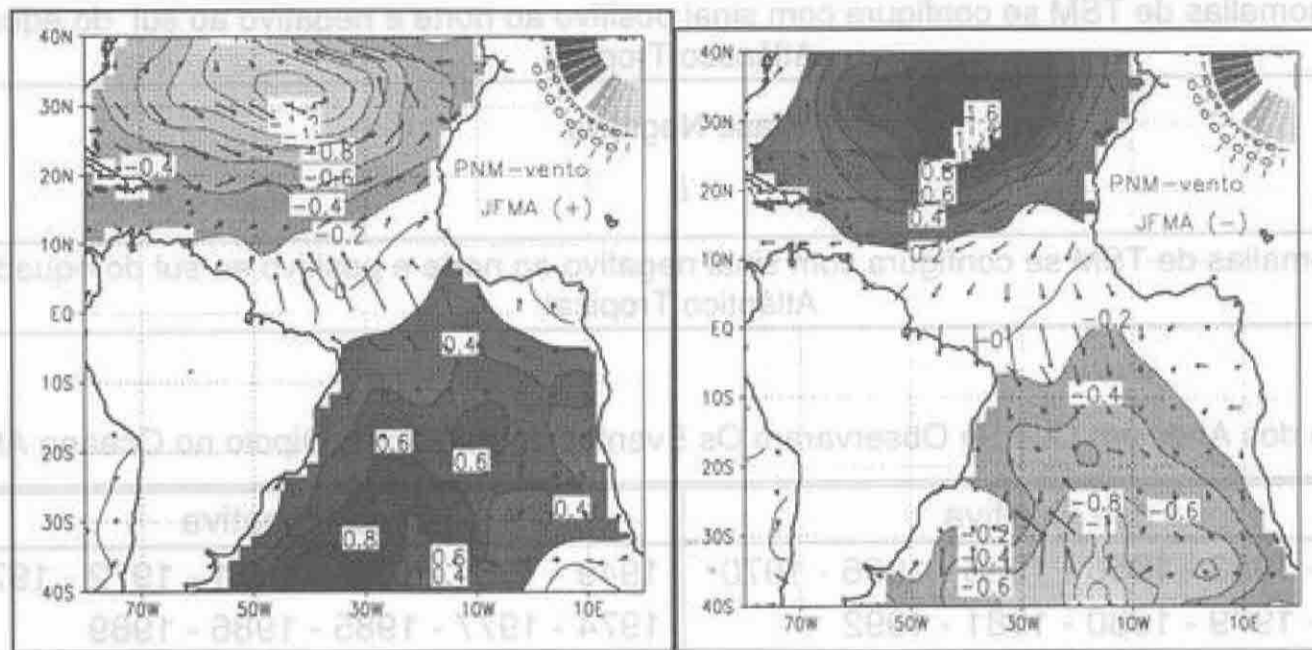


Fig. 3 - O mesmo que a Fig. 2, porém, para as anomalias de PNM (hPa) e vento horizontal (m/s).

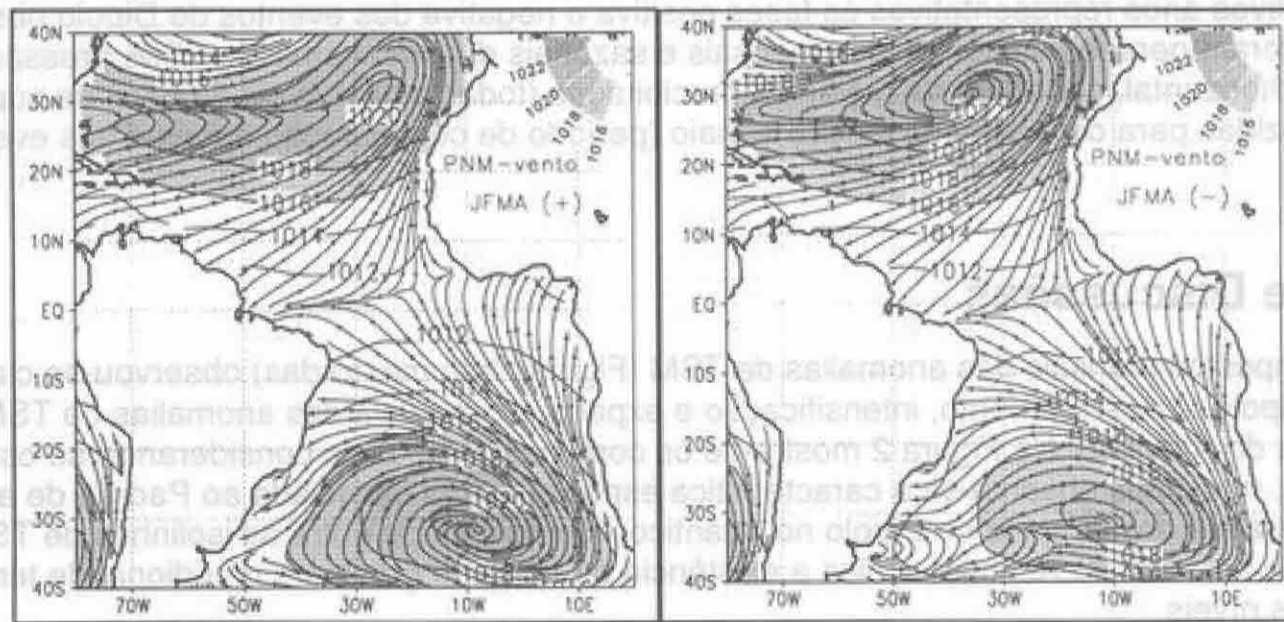


Fig. 4 - O mesmo que a Fig. 2, porém, para os campos de PNM (hPa) e linhas de corrente (m/s).

Nas Figuras 4 e 5, que incluem respectivamente os compostos das anomalias de cobertura fracional de nuvens e anomalias de precipitação, observa-se notadamente sobre a faixa equatorial do Atlântico o estabelecimento de uma estreita relação com os campos de TSM, PNM e vento (Figuras 2, 3 e 4), funcionando da seguinte maneira: durante a

fase negativa do Padrão de Dipolo, observa-se que os padrões de TSMs mais quentes e pressões mais baixas do que o normal sobre o Atlântico Norte, aliados à ocorrência de fortes ventos alísios de SE e confluência-convergência à superfície posicionadas levemente ao norte do equador, são condições oceânicas e atmosféricas dinamicamente favoráveis para o posicionamento e manutenção da ZCIT também ao norte do equador. Portanto, em grande parte do setor sul do Atlântico equatorial tem-se conseqüentemente, a presença de anomalias negativas de cobertura de nuvens e de precipitação (isto é, secas) que atingem principalmente o litoral nordeste da América do Sul. Durante a fase negativa o padrão é essencialmente inverso, ou seja, as anomalias positivas de nebulosidade e precipitação (enchentes) associados à atuação da ZCIT se configuram ao sul do Atlântico equatorial (em associação a manifestação de TSMs quentes, pressões baixas, alísios de NE e confluência-convergência do vento posicionados levemente ao sul do equador). Esses resultados também foram detectados nos estudos de Hastenrath e Heller (1977); Moura e Shukla (1981); Servain e Legler (1986); Nobre (1993); Uvo et al. (1994) e Nobre e Shukla (1995) entre outros.

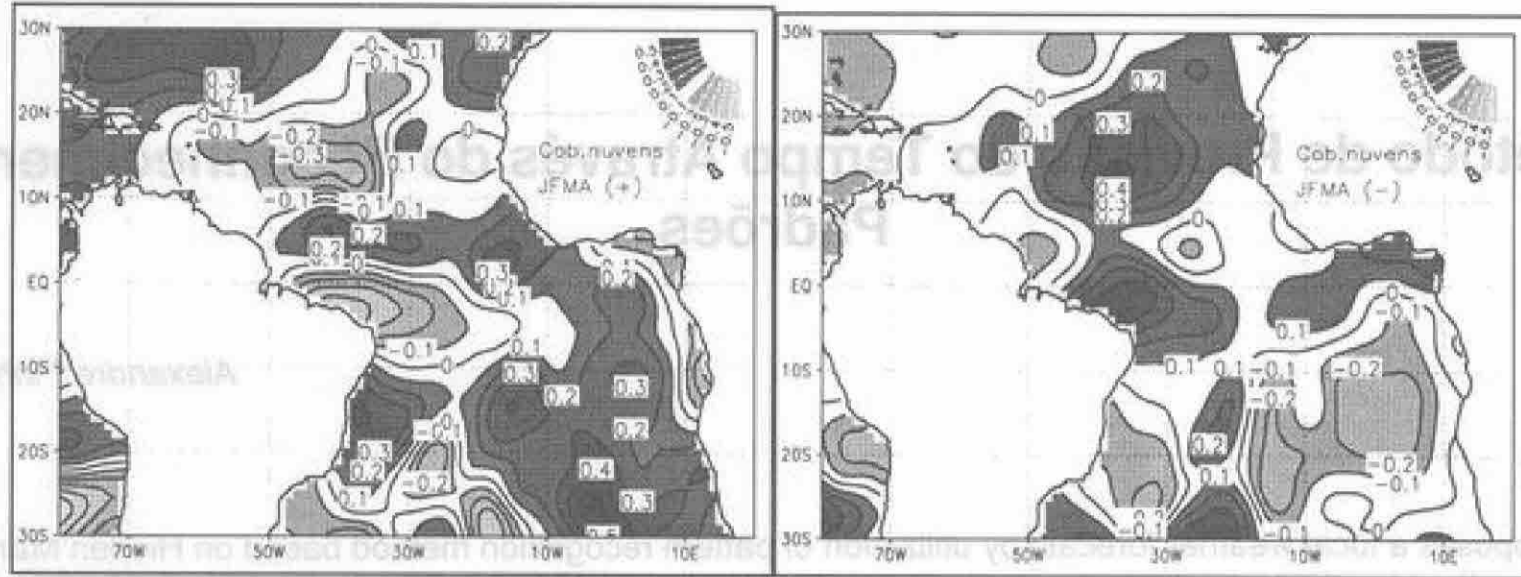


Fig. 5 -O mesmo que a Fig. 2, porém, para as anomalias de cobertura fracional de nuvens (%).

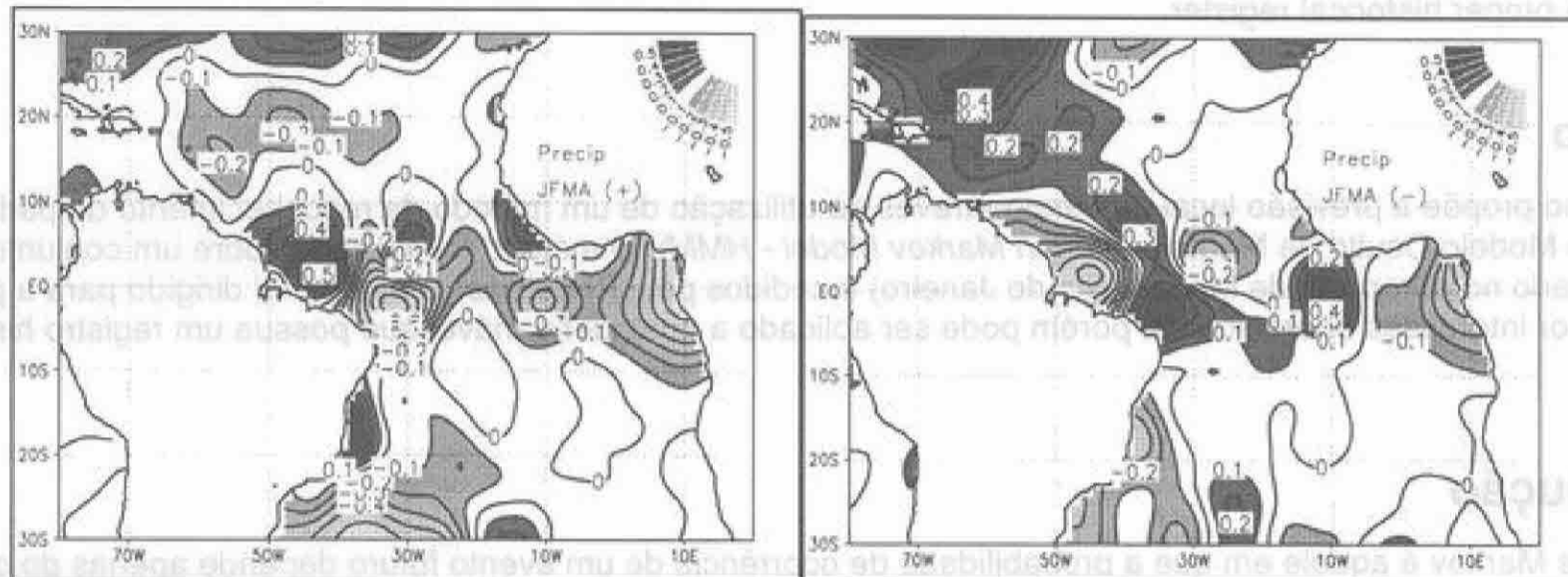


Fig. 6 -O mesmo que a Fig. 2, porém, para as anomalias de precipitação (mm).

4 Referências Bibliográficas

- Alves, J.M.B.; Repelli, C.A.; Mello, N.G. A pré-estação chuvosa no norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. *R. Bras. de Meteorol.*, **8**(1): 22-30, 1993.
- Ankomah, O.Y. and Cordery, I. Atlantic sea surface temperatures and rainfall variability in Ghana. *J.A.S.*, **7**: 551-558, 1994.
- Da Silva, A.M.; Young, C.C.; Levitus, S. Atlas of surface marine data 1994. Volume 1: Algorithms and procedures. *NOAA ATLAS NESDIS 6*, Washington, 1995. 83pp.
- Hastenrath, S. and Heller, L. Dynamics of climatic hazards in NEB. *Q.J.R.M.S.*, **103**: 77-92, 1977.
- Hastenrath, S. On modes of tropical circulation climate anomalies. *J.A.S.*, **35**: 2222-2231, 1978.
- Moura, A.D. and Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil. Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J.A.S.*, **38**: 2653-2675, 1981.
- Nobre, P. and Shukla, J. variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic Ocean. Accepted to *J. of Climate*, 1995.
- Nobre, P. *On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic Basin*. Ph.D. Thesis, University of Maryland, 1993.
- Palmen, T.N. Influence of the Atlantic, Pacific and Indian on Sahel rainfall. *Nature*, **322**, 1986.

Parker, D.E.; Folland, C.K. and Ward, M.N. Sea surface temperature anomaly patterns and prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa. *Nature*, **310**: 483-485, 1988.

Servain, J. and Legler, D.M. Empirical orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *J.G.R.*, **91**(C12): 14,181-14,191, 1986.

Servain, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *J.G.R.*, **96**(C8): 137-146, 1991.

Uvo, C.R.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S.E. and Kushnir, Y. The influence of tropical pacific and atlantic sst on northeast Brazil monthly precipitation. Accepted to *J. of Climate*, 1994.

Um Método de Previsão do Tempo Através do Reconhecimento de Padrões

Alexandre Pinhel Soares¹

Abstract

This work proposes a local weather forecast by utilization of pattern recognition method based on Hidden Markov Model (HMM). The method has been applied on a data set acquired in airport of Macaé (Rio de Janeiro) and granted by Petrobrás. The study has been oriented for wind forecast by operational interests, but may be applied on any variable which has a proper historical register.

Resumo

Este trabalho propõe a previsão local do tempo através da utilização de um método de reconhecimento de padrões baseado no Modelo Oculto de Markov (*Hidden Markov Model - HMM*). O método foi aplicado sobre um conjunto de dados coletado no aeroporto de Macaé (Rio de Janeiro) e cedidos pela Petrobrás. O estudo foi dirigido para a previsão de ventos por interesses operacionais, porém pode ser aplicado a qualquer variável que possua um registro histórico apropriado.

1 Introdução

Processo de Markov é aquele em que a probabilidade de ocorrência de um evento futuro depende apenas do contexto presente. Um caso especial é a Cadeia de Markov, onde o tempo t e a variável X_t são discretos e os valores desta são chamados de estados. As probabilidades de transição de um estado x_n para um estado x em m etapas são normalmente representadas por uma matriz $P_m = \{ P_{x_n, x}^m \}$ onde:

$$P(X_{n+m} = x / X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) = P(X_{n+m} = x / X_n = x_n) = P_{x_n, x}^m$$

Os estados iniciais são representados por um vetor chamado π , sendo a Cadeia de Markov completamente determinada pelo vetor π e pela matriz de transições de estados em uma etapa (P_1). Maiores detalhes podem ser encontrados em [1] e [2]. As Cadeias de Markov podem ser chamadas de Modelos Observáveis de Markov, pois a saída do processo é o próprio estado da variável no tempo t .

Uma extensão das Cadeias de Markov é obtida ao considerar-se os eventos observados como sendo funções probabilísticas dos estados da cadeia, e não os estados propriamente. O resultado é um processo duplamente estocástico onde o processo básico não é observável diretamente, e sim oculto (*hidden*), podendo somente ser observado através do processo estocástico que produz a sequência de observação.

As Cadeias de Markov necessitam do vetor inicial de probabilidades e da matriz de transição de estados em uma etapa para serem determinadas completamente. Ao associar-se uma função probabilística aos estados obtem-se uma matriz com as probabilidades de ocorrência dos eventos observáveis, que daqui em diante serão chamados de símbolos.

¹Engenheiro Eletrônico pela UFRJ com especialização em Climatologia pela UERJ. Tem estudado aplicações práticas de inteligência artificial, especialmente com a utilização de Redes Neurais. Trabalha em Furnas Centrais Elétricas S.A., no Departamento de Operação do Sistema Elétrico.

Endereço : Rua Marques de Valença 134/602 - CEP: 20550-030 - Rio de Janeiro - RJ - tel.: (021)284-4424

O resultado disso é o Modelo Oculto de Markov (*Hidden Markov Model - HMM*), denominado $\lambda(\pi, A, B)$ por Rabiner [3], onde $\pi[N]$ é o vetor inicial de distribuição de estados, $A[N \times N]$ é a matriz de transições de estados, $B[N \times M]$ é a matriz de geração de símbolos por estado, N o número de estados e M o número de símbolos.

A idéia aqui apresentada baseia-se na manipulação dos valores da variável observada como símbolos e na determinação de um conjunto de estados que consiga gerar esses símbolos. Dessa forma obtém-se um HMM do fenômeno que pode ser otimizado e empregado na previsão do valor futuro da variável em questão.

2 Como é feita a previsão

O problema da previsão foi dividido em quatro partes: A montagem da série temporal correspondente a uma hora h ($h=0, 1, 2, \dots, 23$), a construção do modelo da hora h a partir da série, a otimização do modelo e a utilização do modelo na previsão da hora h futura.

Existem tantas séries temporais quantas forem as horas futuras desejadas, para um máximo de 24 horas. Caso o sistema perceba lacunas na série ele executa a interpolação através do *Lema de Aitken* que é um método que consegue encontrar os polinômios de interpolação para as lacunas usando pontos não equidistantes, o que é importante neste caso pois as interrupções podem abranger mais de uma amostra.

Para a construção do modelo referente a hora h , varre-se a série registrando o conjunto de símbolos que a compõe. Em seguida, baseando-se em características específicas da variável de interesse, determina-se quais símbolos são gerados por cada um dos estados. De posse de todos esses parâmetros varre-se novamente a série contabilizando as transições de estados para montar a matriz A e as ocorrências dos símbolos, para montar a matriz B . O vetor inicial de estados (vetor π) só será montado na hora da previsão propriamente dita. Em seguida otimiza-se o modelo pelo algoritmo EM (*Baum-Welch Expectation-Modification Method*) visando um melhor reconhecimento das sequências que serão aplicadas.

Constrói-se então n sequências de símbolos compostas pelos valores mais recentes da variável observada na hora h seguidos dos n símbolos possíveis, um por vez. Aplica-se então cada uma das n sequências ao modelo e obtém-se a probabilidade de ocorrência de cada uma, i.e., de cada um dos n símbolos possíveis. Isso é feito pelo algoritmo *forward* que baseia-se na variável $\alpha_t(i) = P(O_1 O_2 \dots O_t, q_t = S_i | \lambda)$ ou seja, a probabilidade de observação da sequência de símbolos $O_1 O_2 \dots O_t$ e do estado S_i no instante t , dado o modelo λ .

Por fim aplica-se os símbolos com maiores probabilidades de ocorrência a uma heurística de decisão e obtém-se o valor futuro da variável. Maiores detalhes podem ser encontrados em [4].

3 Resultados

Os valores empregados nas modelagens foram os registrados no aeroporto de Macaé entre 01/01/90 a 30/06/91. Constatou-se através de visita à estação meteorológica algumas irregularidades no procedimento de leitura que podem ter comprometido a confiabilidade dos dados.

Como o vento é uma grandeza vetorial, a sequência de símbolos teve de ser construída artificialmente. As velocidades foram agrupadas em 8 níveis (círculos concêntricos espaçados de 3 nós na fig.1) com aproximações em torno de 8 direções básicas, de 45 em 45 graus a partir do Norte (linhas tracejadas na fig.1). Agrupou-se as velocidades menores ou iguais a 2 nós em um símbolo denominado calma, que não possui direção. Obteve-se dessa forma 57 símbolos numericamente possíveis ($8 \times 8 + 1 = 57$). Para gerar esses símbolos arbitrou-se 17 estados: calma, velocidade alta (> 11 nós) e velocidade baixa nas 8 direções básicas.

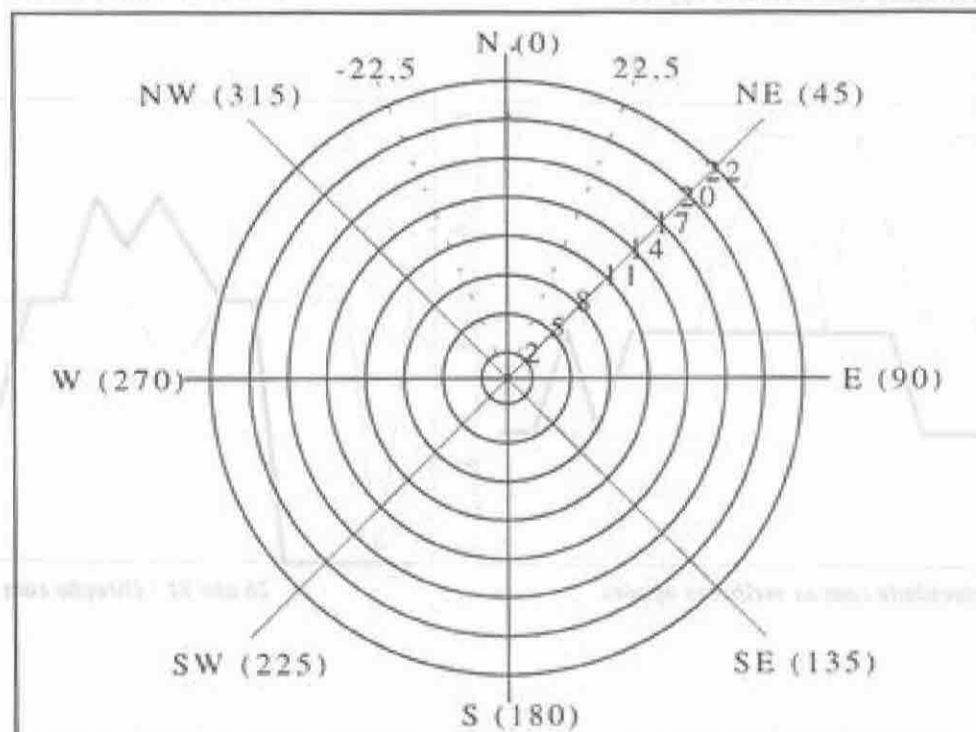
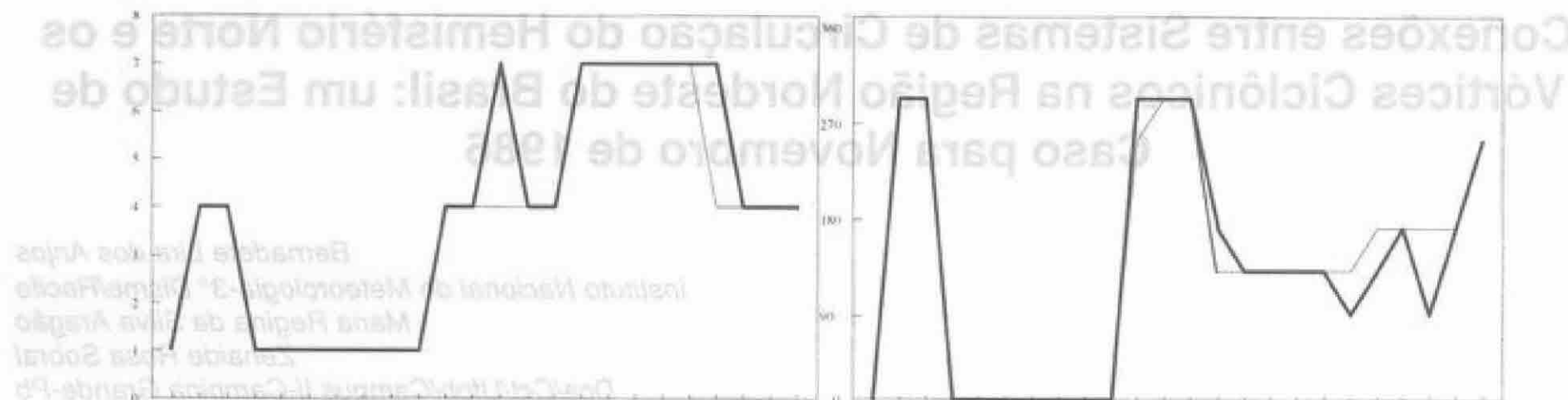


fig.1: Mapeamento do vetor vento em um símbolo manipulável pelo método.



2 mai 91 : Velocidade com as melhores opções.

2 mai 91 : Direção com as melhores opções.



20 jun 91 : Velocidade com as melhores opções.

20 jun 91 : Direção com as melhores opções.

4 Conclusões

Considerando-se as deficiências da série temporal utilizada, os resultados obtidos foram bastante animadores. Tem-se em vista como continuação da experiência o emprego de uma série mais íntegra e confiável, o que já está disponível devido aos novos equipamentos de aquisição de dados da Petrobrás. Com uma série isenta dos erros devidos a aquisição de dados precária, pode-se ter uma melhor clareza da validade e aplicabilidade do método.

A modelagem dos estados e símbolos utilizando outras informações além da variável a ser prevista bem como um método de construção das matrizes que independa das lacunas da série podem resultar em modelos mais eficientes.

Deve-se investir também na escolha automática das opções selecionadas pelo método. Essa dificuldade em encontrar uma heurística que tenha um desempenho aceitável em casos diversos sugere o emprego de um sistema especialista (*expert system*) que detenha conhecimento suficiente sobre o comportamento atmosférico local.

Um experimento maior deve abranger diferentes variáveis em vários pontos do espaço. Esta ampliação pode inclusive ajudar na escolha final das melhores opções, na medida que consegue-se dessa forma um contexto futuro mais amplo geograficamente, proporcionando uma visão meteorológica mais completa do que a obtida por um simples ponto no espaço.

Como objetivo final pretende-se cobrir uma extensão territorial satisfatória fornecendo um contexto atmosférico futuro suficientemente confiável para que o usuário, junto com as demais informações disponíveis, componha um boletim de previsão do tempo a ser utilizado em suas tomadas de decisões. Pelos resultados até agora obtidos e pelo baixo custo de pesquisa e desenvolvimento, parece valer a pena investigar a aplicabilidade e o desempenho do método em outros contextos como a agricultura (chuva, granizo), o setor energético (chuva, tempestade elétrica) e transportes (visibilidade de estradas, portos e aeroportos).

5 Bibliografia

- [1] J. Kemeny, J. Snell, "Finite Markov Chains", Springer-Verlag, New-York, 1960.
- [2] R. A. Howard, "Dynamic Probabilistic Systems Volume I : Markov Models", ed. John Wiley & Sons, 1971.
- [3] L. R. Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Select Applications in Speech Recognition", Proc. IEEE, Vol. 77, No. 2, pp. 257-286, Fev. 89.
- [4] Pinhel Soares, Alexandre, "Modelagem Markoviana na Previsão de Séries Temporais : Um Exemplo na Meteorologia", Projeto Final, Departamento de Eletrônica da UFRJ, 1994.

(1)

$$V_{rel} = \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

Conexões entre Sistemas de Circulação do Hemisfério Norte e os Vórtices Ciclônicos na Região Nordeste do Brasil: um Estudo de Caso para Novembro de 1986

Bernadete Lira dos Anjos
Instituto Nacional de Meteorologia-3º Disme/Recife
Maria Regina da Silva Aragão
Zenaide Rosa Sobral
Dca/Cct/Ufpb/Campus II-Campina Grande-Pb

Abstract

A wet upper tropospheric cyclonic which influenced Northeast Brazil is studied. The vortex caused above normal precipitation in several Northeastern states. Its development is not typical. The vortex forms at the 500 hPa level on November 18 over southern Northeast Brazil and adjoining oceanic areas while a trough is seen in the same general area at the 200 hPa level.

The cyclone is seen to move northwestward in the upper troposphere and towards the north-northwest-west in the middle troposphere. There is evidence that the displacement of the vortex at the 500 hPa level is linked to the westward movement of a cyclone located over the North Atlantic.

Quasi-stationary 200 hPa large-scale troughs are seen over the North and South Atlantic throughout the vortex life cycle. Such features cause the structure of the flow field to bear resemblance to the expected structure of equatorially-trapped wave modes namely, the mixed Rossby-gravity wave and the westward moving Rossby wave. Such results suggest the existence of conexions between the Northern Hemisphere circulation and the development of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil.

1 Introdução

Os vórtices ciclônicos ou baixas frias da alta troposfera estão entre os principais sistemas de grande escala causadores de chuva no início da estação chuvosa do Nordeste, o que tem motivado seu estudo desde o início da década de 70. Sua alta frequência de ocorrência no período de verão é explicada pela climatologia, já que o Nordeste é dominado por um cavado de ar superior nessa época do ano.

No conjunto de trabalhos já realizados sobre vórtices ciclônicos da alta troposfera no Nordeste do Brasil é documentada a interligação entre esses sistemas e: (a) a presença na alta troposfera do par de anticiclone da Bolívia-cavado à jusante, (b) a penetração na região de sistemas frontais (assíntotas de confluência) provenientes de sul e (c) a orientação e intensidade da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul.

O trabalho de Dean (1971) tem um enfoque essencialmente climatológico, apesar de se basear em apenas um ano de informações. Entretanto, os resultados encontrados por ele e outros autores (Davis, 1982; Rao e Bonnatti, 1986; Anjos e Sobral, 1989) permitem formular a hipótese de que o ciclo de vida de baixas frias individuais pode ser influenciado, direta ou indiretamente, por sistemas de circulação do Hemisfério Norte que atuam em escalas de tempo menores do que a climatológica. Há, por exemplo, evidências da influência de sistemas extratropicais do hemisfério norte sobre o tempo na Amazônia (Riehl, 1977; Gray e Clapp, 1978; Molion et al., 1987). Considerando que tal possibilidade ainda não foi explorada em relação aos ciclones de ar superior que atuam no Nordeste, este trabalho tem como objetivo investigar a existência de conexões entre esses sistemas e a circulação do hemisfério norte, com ênfase na escala de tempo sinótica.

2 Dados e Metodologia

Na realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados: Imagens diárias na banda do infravermelho do satélite GOES-W, dados de precipitação total diária das estações climatológicas principais do Nordeste, dados das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento das 12:00 UTC nos níveis padrões de 200 e 500 hPa, cobrindo a área compreendida entre as longitudes de 102,5°W e 2,5°E e as latitudes de 37,5°N e 37,5°S.

O período escolhido para estudo foi de 15 a 25 de novembro de 1986. Nesse período houve chuvas acima da normal nos estados de Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e sudeste do Ceará, com um índice maior no leste desses estados.

As componentes zonal e meridional do vento foram utilizadas no cálculo da vorticidade e da divergência em coordenadas cartesianas, através do método de diferenças finitas centradas (equações 1 e 2).

$$V_{rel} = \frac{\Delta v}{\Delta x} - \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{utg\phi}{a} \quad (1)$$

$$DH = \frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} - \left(\frac{v}{a}\right) \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

a = raio médio da Terra $\approx 6 \times 10^6$ metros

ϕ = latitude = 10°

V_{rel} = Vorticidade relativa em coordenadas esféricas

$$\frac{utg\phi}{a} = 10^{-7} \operatorname{Seg}^{-1}$$

Análises dos campos do vento, vorticidade relativa e divergência horizontal nos níveis de 200 hPa foram elaboradas para servir de base ao diagnóstico. Foram analisadas seções longitude-tempo da componente meridional do vento em 200 hPa, para as latitudes de 20°S , 10°S , 0° , 10°N , 20°N . Foi documentada ainda a evolução temporal da vorticidade relativa no nível de 200 hPa em alguns pontos próximos ao centro da baixa fria, os que possuíam maior vorticidade relativa no dia da formação do vórtice

3 Resultados

Os resultados encontrados evidenciam a presença do cavado do Atlântico Sul no decorrer da segunda quizeana do mês de novembro de 1986. A formação do cavado no nível de 200 hPa ocorre em paralelo com a de uma crista amplificada a sua retaguarda (Fig. 1). A entrada de um sistema frontal no sudeste do Brasil no dia 21, provocou a amplificação do cavado e o conseqüente desprendimento de um vórtice com centro sobre o Atlântico Sul (Fig. 2), seguindo o modelo de formação dos vórtices ciclônicos proposto por Kousky e Gan (1981). Uma característica também importante do nível de 200 hPa é o alinhamento entre o cavado do Atlântico Sul e um cavado situado sobre o Atlântico Norte no período de 18 a 21. Esse alinhamento é evidente nas análises de linhas de corrente (Fig.3) e também na comparação entre as seções longitude-tempo da componente meridional do vento para as latitudes de 10°S e 10°N (Figs. 4 e 5).

Uma característica importante dos quatro primeiros dias do período é a existência de intenso escoamento inter-hemisférico. Ventos de norte-nordeste estão presentes sobre o Nordeste nos dias 15 e 16 (Fig. 6). Nos dias 17 e 18 (Fig. 7) ventos de leste-nordeste são vistos sobre o noroeste da América do Sul, enquanto que fortes ventos de sudoeste sopram sobre o Atlântico em torno de 30°W .

A análise conjunta dos níveis de 500 e 200 hPa evidencia que a evolução do vórtice não foi "típica" já que ele se formou primeiro em 500 hPa no dia 18 (Fig. 7), e em 200 hPa no dia 21 (Fig. 2). Foi a partir desse dia que o vórtice provocou totais de precipitação acima da normal em vários estados do Nordeste.

Os resultados encontrados corroboram o conhecimento já existente sobre o papel desempenhado pelos sistemas frontais austrais na formação dos vórtices ciclônicos da alta troposfera que afetam o Nordeste. Além disso, este estudo diagnosticou aspectos ainda desconhecidos da evolução desses vórtices. Foi visto que a ação conjunta de sistemas de latitudes médias dos hemisférios norte e sul foi fundamental para a formação do par anticiclone da Bolívia-cavado do Atlântico Sul. Também foi documentado que o deslocamento do vórtice para oeste ocorreu em associação com o movimento, também para oeste, de um cavado situado no Atlântico Norte.

4 Referências Bibliográficas

- ANJOS, B.L., SOBRAL, Z.R. Vórtice Ciclônico sobre o Nordeste do Brasil, novembro de 1986. Relatório Técnico. Pesquisa CNPq, Campina Grande - Pb, 1989.
- DAVIS, N.E. Meteosat water vapor channel and a low-latitude vortex. *Bulletin American Meteorological Society*, nº63, 1982. p.747-750.
- DEAN, G.A. The three-dimensional wind structure over Shouth America and associated rainfall over Brazil. Department of Meteorology, Florida State University, 1971. (Rep. LAFE - 164).
- KOUSKY, V.E., GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 3, p. 538-551, 1981.

Tipos de Tempo Associados aos Distúrbios de Leste no Litoral Oriental da Região Nordeste do Brasil

Raimundo Jaido dos Anjos
Instituto Nacional de Meteorologia/3º Disme-Recife

Abstract

Using the National Meteorological Center (NMC) daily data, satellite images and meteorological diagrams, this study shows features of two events of easterly disturbances of over equatorial Atlantic Ocean and Northeast of Brazil during June of 1978.

1 Introdução

Ventos de leste, muita umidade e eventos de chuvas intensas são algumas das características do litoral oriental da Região Nordeste do Brasil. Nesta região, as chuvas manifestam-se de maneira particularmente intensas entre abril e julho e quase sempre provocam inundações e prejuízos as populações dessa região. Esses eventos de chuvas intensas e de caráter contínuo que ocorre no litoral, especialmente entre Natal-RN e Aracajú-SE, quase sempre estão associados aos distúrbios nos ventos de leste. Essa classe de sistema atmosférico vem sendo estudado desde 1945, tendo como precursor RIEHL. Sob o ponto de vista climatológico ou sinótico-dinâmico, entretanto, a maioria dos trabalhos estão voltados aos distúrbios ondulatórios de leste que atuam nos Oceanos Atlântico Norte e Pacífico. Reconhece-se, entretanto a atuação desses distúrbios equatoriais sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.

A investigação das características das Ondas de Leste com atuação na costa nordestina, podem ser vistas nos trabalhos de YAMAZAKI (1975), NEIVA (1975), YAMAZAKI e RAO (1977). CHAN (1990) analisou algumas características básicas dos distúrbios equatoriais de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul, próximo a costa da América do Sul. Segundo CHAN, esses distúrbios ondulatórios se propagam para oeste com velocidade de fase entre 10 a 12 m/s, período entre 5 a 6 dias e comprimento de onda de 4800 a 6200 Km.

Estudos de caráter observacional dos distúrbios nos ventos de leste sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul são necessários para se conhecer melhor o tipo de tempo que acompanha esses sistemas. Neste sentido, nossa proposta é a realização de um estudo observacional, em caráter exploratório, visando identificar o tipo de tempo que acompanha a atuação das perturbações de leste na costa oriental da Região Nordeste do Brasil.

2 Dados Utilizados

Neste trabalho foram utilizados dados diários de precipitação das 12:00 UTC de 19 Estações Meteorológicas localizadas na Região Nordeste do Brasil e imagens do satélite meteosat das 12:00, 15:00 e 18:00 TMG pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.

Sob o ponto de vista da precipitação diária, analisamos em escala horária os pluviogramas das estações de Natal/RN, João Pessoa/PB, Recife/PE e Maceió/AL. Esse tipo de análise explora, por exemplo, a intensidade, duração, e os horários nos quais a precipitação é mais significativa. Exploramos também características do campo da nebulosidade e do vento.

O período de estudo foi escolhido baseado nos totais diários de precipitação e nas imagens de satélite, compreendendo o período de 24 a 30 de junho de 1978.

3 Análise dos Resultados

A seqüência de imagens do satélite meteosat para o período de 24 a 30 de junho de 1978 mostram dois eventos de distúrbios de leste atuando sobre o Oceano Atlântico Sul e parte leste do RN, PB, PE e em Alagoas. A nebulosidade associada com o primeiro distúrbio pode ser vista no dia 24 (Fig. 1) sobre o Oceano Atlântico, a leste de PE com fraca atividade. No dia 25, o distúrbio desloca-se para oeste e atua com forte atividade até o dia 26 na faixa litorânea e zona da mata desses estados. O segundo distúrbio é visto no Oceano Atlântico no dia 28 (Fig. 2) a leste de Natal-RN com atividade fraca. No dia 30, a faixa de nebulosidade associada ao distúrbio organizou-se de forma homogênea e compacta, atuando com seu máximo de atividade nos Estados do RN, PB e leste de Pernambuco.

Ainda sob o ponto de vista dessas imagens, podemos inferir que nos dois eventos de leste, o processo de intensificação do sistema foi muito rápido no período de 24 horas. As imagens de satélite dos dias 28 e 29 mostram como a faixa de nebulosidade associada com o segundo distúrbio de leste ganha atividade no período de 18 horas. O fato da precipitação se distribuir no interior no RN, PB, PE e de Alagoas (Tabela 1), em concordância com a cobertura de nebulosidade, evidencia a penetração do distúrbio de leste continente a dentro em até 200-250 Km da costa.

Análises realizadas em anemogramas revelaram predominância de ventos do quadrante sul em toda a faixa litorânea, com maior incidência de ventos de sudoeste no Recife/PE. No agreste fica bem caracterizado o vento de sudeste-sul. No sertão, o vento soprou do quadrante leste. Durante o deslocamento dos dois distúrbios, não verificou-se rajadas de vento.

