

# A ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) E A PRECIPITAÇÃO NO NORTE DO NORDESTE DO BRASIL.

## PARTE II: A INFLUÊNCIA DOS VENTOS E TSM DO ATLÂNTICO TROPICAL

Cíntia Regina Bertacchi Uvo e  
Carlos A. Nobre

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
São José dos Campos - SP

### RESUMO

Esta é a segunda parte de um trabalho que visa estabelecer a influência da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Atlântico Tropical sobre a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro (NNE). Nesta fase procurou-se determinar relações entre a posição da ZCIT e as tensões de cisalhamento zonal ( $\tau_x$ ) e meridional ( $\tau_y$ ) do vento à superfície e a temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical. Observou-se que a posição da ZCIT está correlacionada a  $\tau_y$  e a TSM em algumas regiões do Atlântico Tropical, nos primeiros meses do ano. Durante a estação chuvosa do NNE (março, abril e maio), a posição da ZCIT está correlacionada a  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM numa região que compreende grande parte do Atlântico Tropical Norte. Evidenciou-se, ainda, que é a posição da ZCIT nos meses de abril e maio que define a qualidade da estação chuvosa no NNE.

### ABSTRACT

*This is the second part of a paper that intends to establish the influence of the Tropical Atlantic Intertropical Convergence Zone (ITCZ) position on the northern Northeast Brazil (NNE) rainfall. In this part we have determined the relationships between the ITCZ position and the meridional ( $\tau_y$ ) and zonal ( $\tau_x$ ) surface wind stresses and the sea surface temperature (TSM) over Tropical Atlantic. We have observed that the ITCZ position presents high correlations with  $\tau_y$  and TSM in some regions of the Tropical Atlantic in the earlier part of the year. During NNE's rainy season (March, April, and May), the ITCZ position is well correlated with  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  and TSM in a large area of the Tropical North Atlantic. Adding to the conclusions of Part I, it has become*

### 1. INTRODUÇÃO

A influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a precipitação na região norte do Nordeste brasileiro (NNE) - região do semi-árido - é bastante conhecida e aceita.

Na parte I deste trabalho (Uvo e Nobre, 1989) foi mostrado que anos secos no NNE estão ligados ao retorno da ZCIT para suas posições mais ao norte em fins de março e anos chuvosos, à permanência dela em suas posições mais ao sul durante os meses de abril e maio, de tal forma, que para prever a qualidade da estação chuvosa, seria necessário prever quando a ZCIT iniciaria seu retorno para o norte.

Adicionalmente, Uvo e Nobre (1989) mostraram que os deslocamentos da ZCIT nos meses que antecedem a estação chuvosa não parecem estar muito bem relacionados com a qualidade da estação. Observou-se também que, além das variações interanuais, as variações intra-sazonais parecem influenciar a época de término da estação chuvosa, mesmo em anos com precipitação próxima à normal.

Estas constatações nos levaram a procurar o que causa o retorno antecipado da ZCIT, gerando um ano seco no NNE ou a sua permanência em suas posições ao sul, acarretando um ano chuvoso, isto é, como as migrações da ZCIT no Atlântico Tropical estão relacionadas com as anomalias de circulação atmosférica e de temperatura da superfície do mar de grande escala.

Com este objetivo, este trabalho apresenta a análise de correlações entre a posição da ZCIT, considerando-a como a posição média da banda de nebulosidade convectiva sobre o Atlântico Tropical, com as tensões de cisalhamento zonal ( $\tau_x$ ) e meridional ( $\tau_y$ ) do vento à superfície e a temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Atlântico Tropical.

### 2. METODOLOGIA

Para o cálculo das correlações foram utilizadas séries de dados mensais de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  numa grade de  $2^\circ \times 2^\circ$  sobre o Atlântico Tropical entre  $30^\circ\text{N}$ ,  $20^\circ\text{S}$ ,  $60^\circ\text{W}$  e a costa africana (Figura 1), provenientes de Picaut et al. (1985) e Servain et al. (1987); uma série de dados médios mensais da posição da ZCIT ao longo de  $35^\circ\text{W}$  sobre o Atlântico Tropical (YZCIT) de 1971 a 1987 (Uvo e Nobre, 1987); e uma série de médias mensais da posição

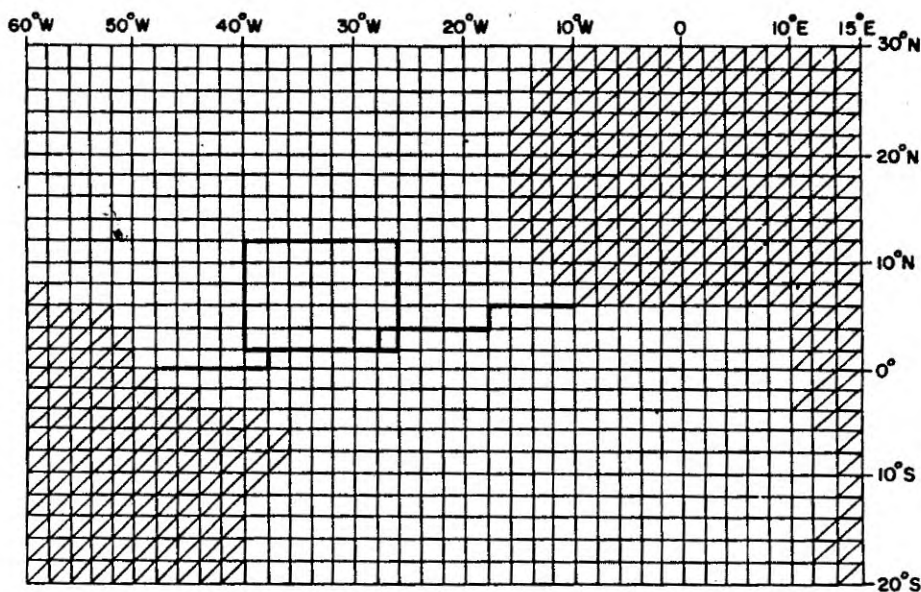


FIG. 1 - Região de estudo.

latitudinal da Zona de Confluência dos Alísios ( $Y_{ZCA}$ ) (Uvo e Nobre, 1987).

Foram calculados coeficientes de correlação entre as séries da posição da ZCIT e as séries de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  para cada ponto da grade em que são apresentados os dados.

Por ser de maior interesse para o período chuvoso no NNE, foram correlacionadas as séries das posições mensais da ZCIT de dezembro a maio com a TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$ , considerando "lags" de -3 a 1, isto é, a série da posição da ZCIT em um dado mês foi correlacionada com as séries de  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM dos três meses anteriores, do próprio mês e do mês imediatamente posterior

Foi também calculada a autocorrelação da série da posição da ZCIT considerando "lags" de 0 a 11, isto é, a série de dados da posição da ZCIT de um certo mês foi correlacionada consigo mesma, com a série do mês seguinte e assim por diante até o cálculo da correlação com a série formada pela posição da ZCIT do 11º mês subsequente.

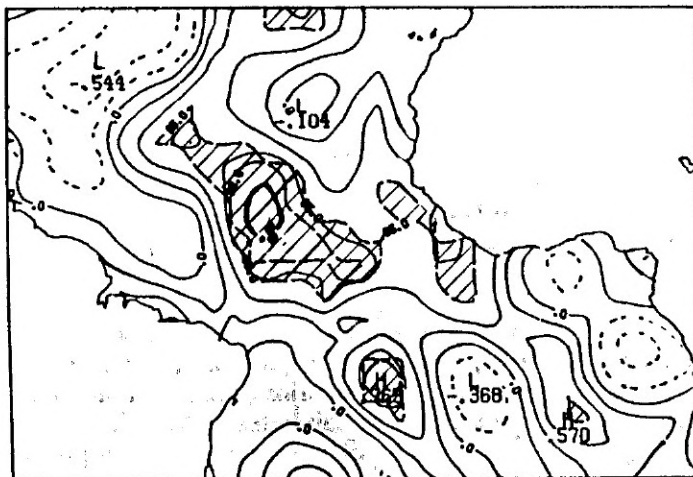
O mesmo tipo de correlação foi feito considerando a série da posição da ZCIT com as séries médias espaciais de  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM em uma região do Atlântico Tropical (mostrada na Figura 1) e sobre todo o Atlântico Tropical Norte escolhidos por terem apresentado maior incidência de altas correlações durante as análises precedentes. As séries de  $Y_{ZCIT}$  e  $Y_{ZCA}$  foram também correlacionadas usando a mesma técnica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

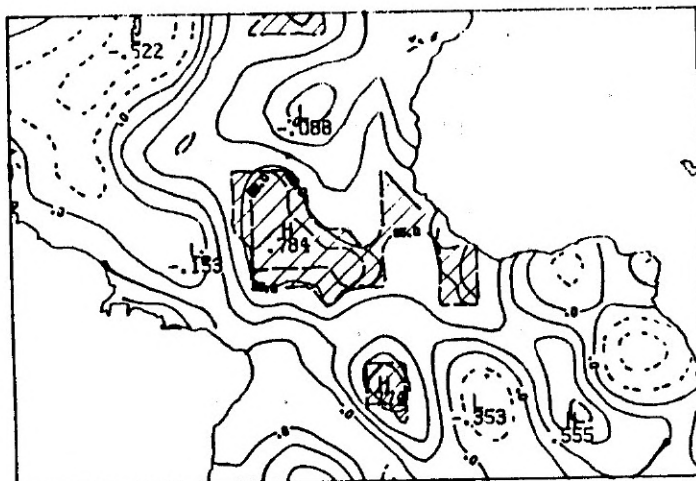
#### a) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $\tau_y$

A posição da ZCIT apresentou-se muito bem correlacionada com  $\tau_y$ , principalmente na região próxima ao equador. Este fato já era esperado, pois a posição da confluência dos ventos alísios (onde  $\tau_y = 0$ ) também está intimamente associada à posição da ZCIT, de tal forma que, nas imediações do equador, estaremos correlacionando duas estimativas diferentes para o mesmo fenômeno.

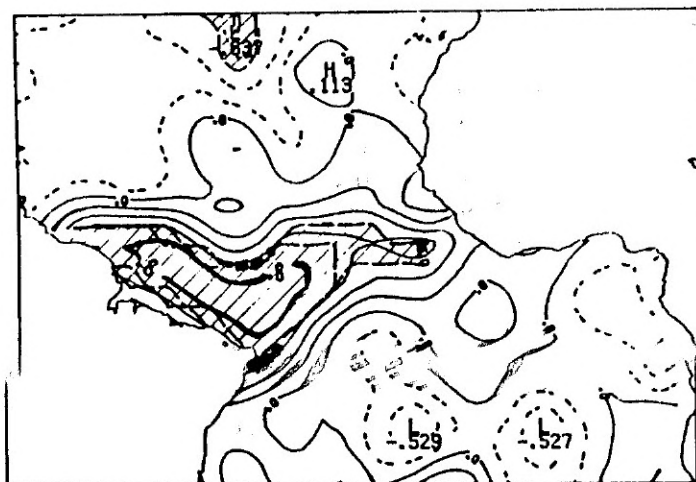
Foi interessante observar que núcleos de alta correlação (aproximadamente 0,8) apareceram quando se correlacionou a posição da ZCIT em janeiro com  $\tau_y$  em dezembro (Figura 2a) e janeiro (Figura 2b), isto é, com  $\tau_y$  precedendo  $Y_{ZCIT}$ . Por outro lado,  $Y_{ZCIT}$  em janeiro apareceu também muito bem correlacionada com  $\tau_y$  de fevereiro, apresentando um núcleo de correlação acima de 0,8 ao longo de toda a costa norte do Nordeste (Figura 2c). Como já frisado, isto era de se esperar pois a ZCIT e a Zona de Confluência dos alísios representam o mesmo sistema de circulação atmosférica. Essas correlações são também observadas na Figura 3, que apresenta um quadro de correlação entre a posição da ZCIT, sobre 35°W, mês a mês, e  $\tau_y$  também mês a mês, considerando defasagens de 1 a 11 meses no núcleo de máxima correlação sobre o Atlântico (Figura 1). Nota-se que essas duas grandezas se mostram muito bem correlacionadas nos primeiros meses do ano, principalmente com abril e maio, com correlações acima



a)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em dezembro



b)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em janeiro



c)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em fevereiro

FIG. 2 - Isolinhas de correlação entre a posição da ZCIT e a Tensão de Cisalhamento Meridional. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2. As áreas hachuradas possuem significância estatística acima de 95%.

de 0,6 até o segundo mês subsequente e os meses de dezembro e janeiro, e com correlação acima de 0,6 com o primeiro mês subsequente.

O mês de janeiro apresenta algumas áreas de correlação acima de 0,6 apenas na costa norte do Nordeste para a posição da ZCIT com  $\tau_y$  em janeiro, bem como uma área ao longo do equador para a posição da ZCIT em janeiro com  $\tau_y$  em fevereiro. No entanto, quando se considera a posição da ZCIT no mês de fevereiro, as correlações decrescem bastante. Essa diminuição nas correlações pode ser notada no diagrama de correlação (Figura 3) onde o mês de fevereiro apresenta a menor correlação com o primeiro mês subsequente.

As correlações começam a crescer como um todo a partir de março, aparecendo correlações acima de 0,8 principalmente nas regiões equatoriais e no Atlântico Norte, nos meses de março, abril e maio. Para estes meses, não só as correlações simultâneas são altas mas também aquelas com o mês subsequente. Esse resultado pode ser observado através do diagrama da Figura 4 que apresenta a correlação da posição da ZCIT mês a mês com o valor médio de  $\tau_y$  para o Atlântico Tropical Norte (Figura 1).

As Figuras 3 e 4 diferenciam-se apenas pelo número de pontos de grade utilizados para o cálculo da média espacial de  $\tau_y$ . Na Figura 3, apenas uma pequena região do Atlântico Tropical Norte foi considerada (Figura 1); na Figura 4, todo o Atlântico Tropical Norte foi considerado. Como resultado, as Figuras 3 e 4 são bastante semelhantes, apresentando seus valores de máximas correlações nos mesmos meses; no entanto, como esperado, as correlações da Figura 4 possuem valores mais baixos.

#### b) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $\tau_x$

A posição da ZCIT e  $\tau_x$  mostraram-se, em geral, menos correlacionadas que ZCIT e  $\tau_y$ , principalmente quando se consideravam correlações não simultâneas. Algumas exceções surgiram sobretudo ao considerar a posição da ZCIT em março e maio.

A posição da ZCIT em março mostrou-se bem correlacionada com  $\tau_x$  no mesmo mês, principalmente no Atlântico Norte e Atlântico Equatorial próximo à costa brasileira, o que indica que quanto mais forte o vento zonal no Atlântico Norte e mais fraco no Atlântico Equatorial, próximo à costa brasileira, mais ao sul a ZCIT se posicionará.

Neste caso, foi também observado um pequeno núcleo de forte correlação (acima de 0,8) no centro do Atlântico Norte, que relaciona  $\tau_x$  em dezembro com a posição da ZCIT em janeiro e  $\tau_x$  em janeiro com a posição da ZCIT no mesmo mês (Figura 5 a,b), o que indica que a partir de  $\tau_x$  de dezembro, poder-se-ia estimar a posição

da ZCIT em janeiro (esse núcleo aparece numa posição muito próxima à dos núcleos de forte correlação entre a posição da ZCIT e  $\tau_y$  nesses mesmos meses); entretanto, a posição da ZCIT em janeiro não se mostrou bem correlacionada com a qualidade da estação chuvosa no NNE (Uvo & Nobre, 1989).

Notou-se que o padrão de dipolo, com correlações positivas no Atlântico Norte e negativas no Atlântico Sul, esteve presente durante quase todo o período estudado, principalmente nas correlações de ZCIT com  $\tau_x$  no mês anterior e com  $\tau_x$  no mesmo mês indicando que ventos mais fortes no Atlântico Norte e mais fracos no Atlântico Sul estariam ligados a posições mais ao sul da ZCIT (Figura 5 a,b). Para a posição da ZCIT nos meses de abril e maio, no entanto, o padrão de dipolo aparece também quando se relaciona a posição da ZCIT com  $\tau_x$  nos 2 e 3 meses anteriores, respectivamente.

#### c) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e TSM

Analisando a correlação entre a posição da ZCIT e a TSM, nota-se que, a partir de fevereiro, apresenta-se um padrão de dipolo no Atlântico Sul, indicando que temperaturas mais frias no Atlântico Norte e mais quentes no Atlântico Sul indicam posições mais ao sul da ZCIT (Figuras 6 a,b,c e d).

Notou-se que as correlações se tornam mais significativas a partir do mês de março, o que pode ser observado na Figura 7, prevalecendo as maiores correlações na área do Atlântico Tropical Norte.

Um forte núcleo de correlação negativa aconteceu ao sul do equador (ao longo dele), relacionando a TSM de dezembro com a ZCIT em janeiro, indicando que a TSM do Atlântico Sul em dezembro é importante para uma estimativa da posição da ZCIT em janeiro.

As correlações significativas entre a posição da ZCIT em um certo mês com a TSM dos meses seguintes, que aparecem a partir de março (Figura 7), indicam que há uma persistência nas características oceano-atmosféricas a partir de março, isto é, nesse mês define-se a qualidade da estação chuvosa. Assim, se em março mantêm-se os padrões de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  característicos de um ano chuvoso, esses padrões tendem a manter-se até maio; por outro lado, se os padrões são para anos seco em março, não mais se transformarão de modo geral em padrões de anos chuvosos.

Os resultados observados mostraram-se bastante coerentes com os resultados obtidos por Hastenrath & Heller (1977) e Servain & Seva (1987), que relacionaram a precipitação do NNE com a TSM e os ventos sobre o Atlântico Tropical.

#### d) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $Y_{ZCA}$



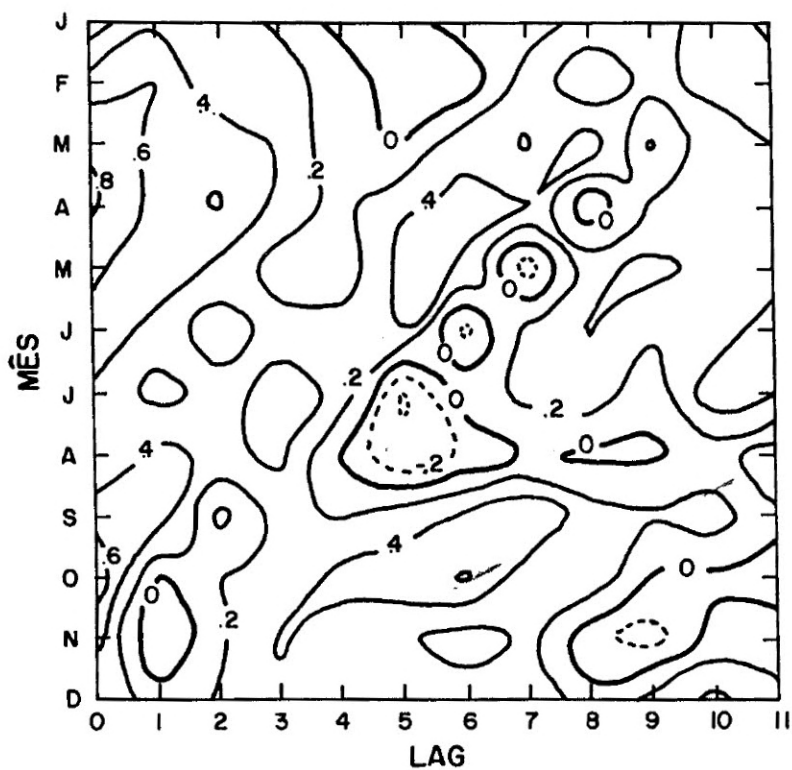


FIG. 3 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento meridional média na região BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

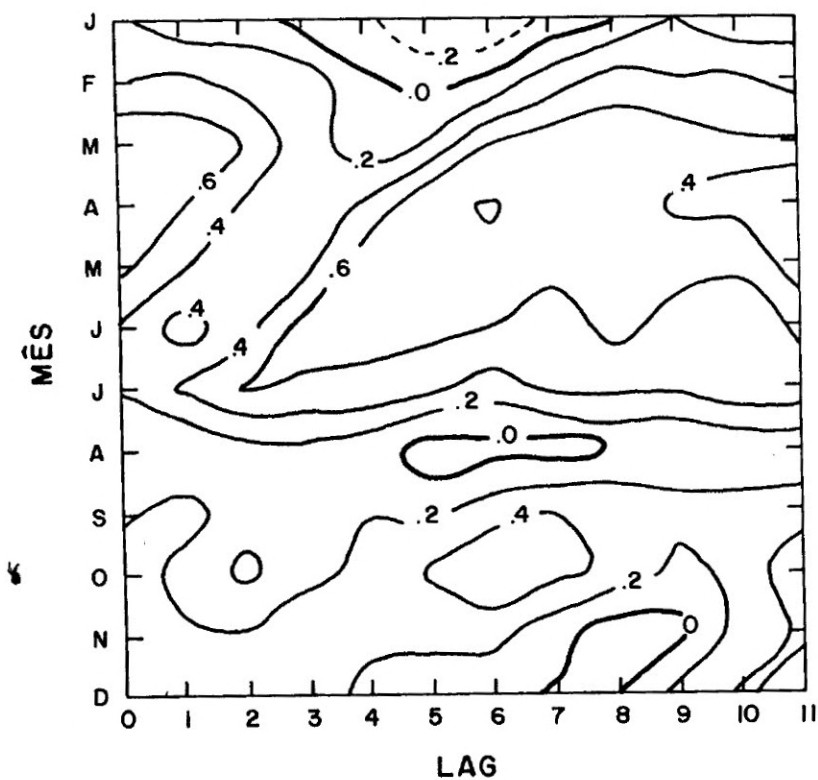
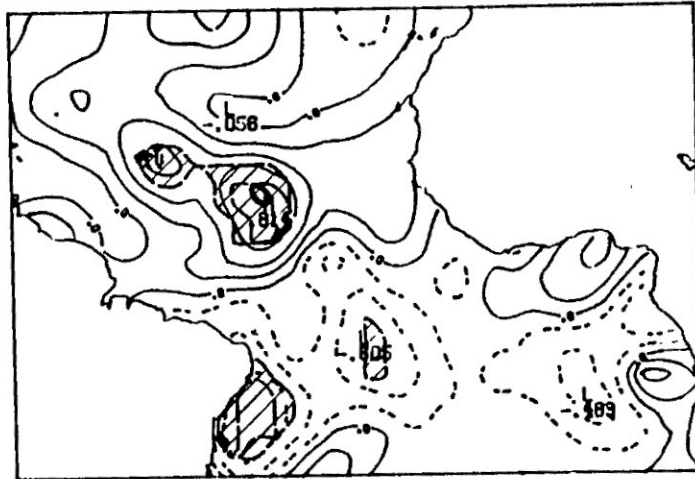
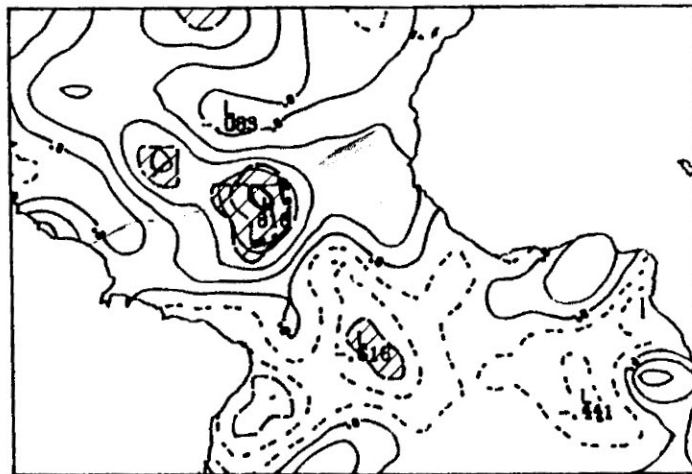


FIG. 4 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento meridional média no Atlântico Tropical Norte. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.



a)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em dezembro



b)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em janeiro

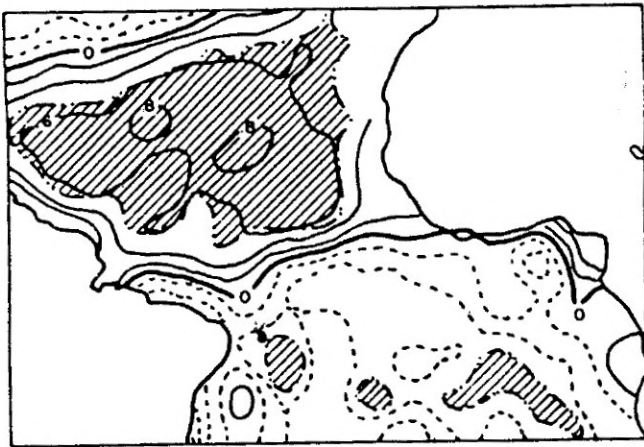
FIG. 5 - Isolinhas de correlação entre a posição da ZCIT e a Tensão de Cisalhamento Zonal. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 cm 0,2. As áreas hachuradas possuem significância estatística acima de 95%.



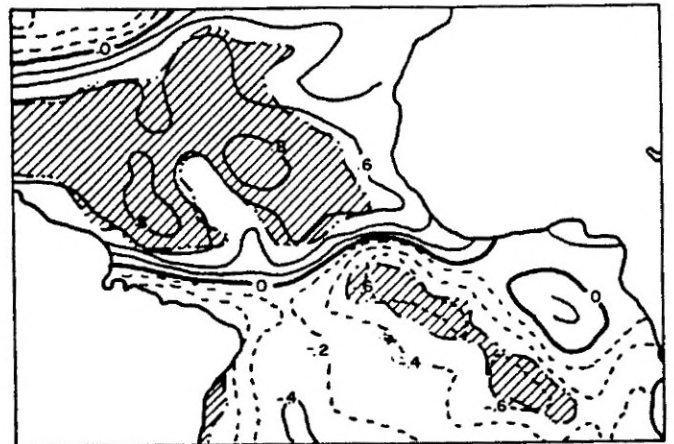
a) Yzcit em abril, SST em fevereiro



b) Yzcit em abril, TSM em março



c) Yzcit em abril, SST em abril



d) Yzcit em abril, SST em maio

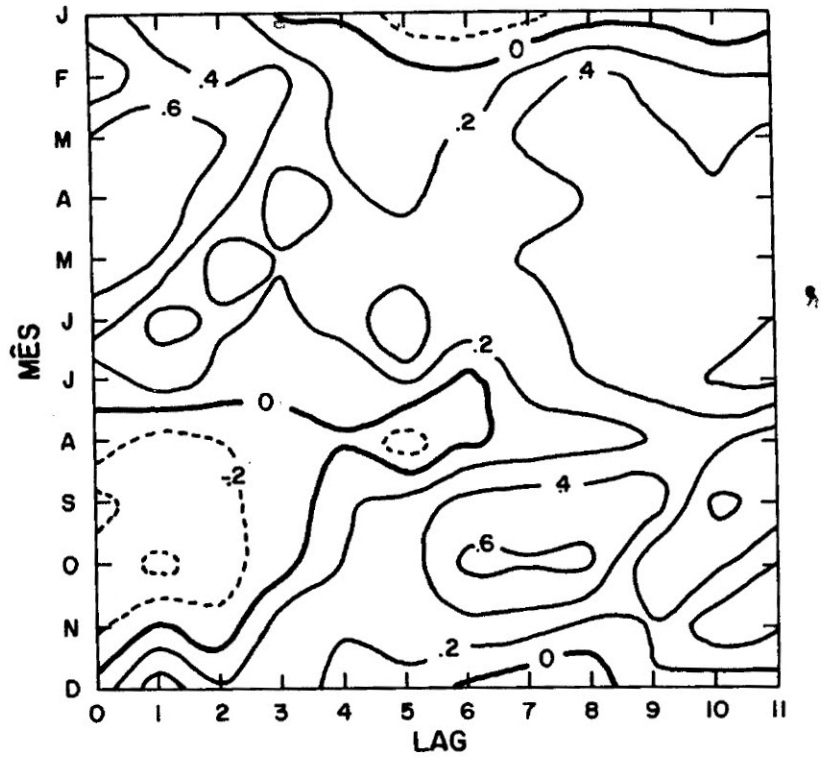


FIG. 7 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e tensão de cisalhamento zonal média na área BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

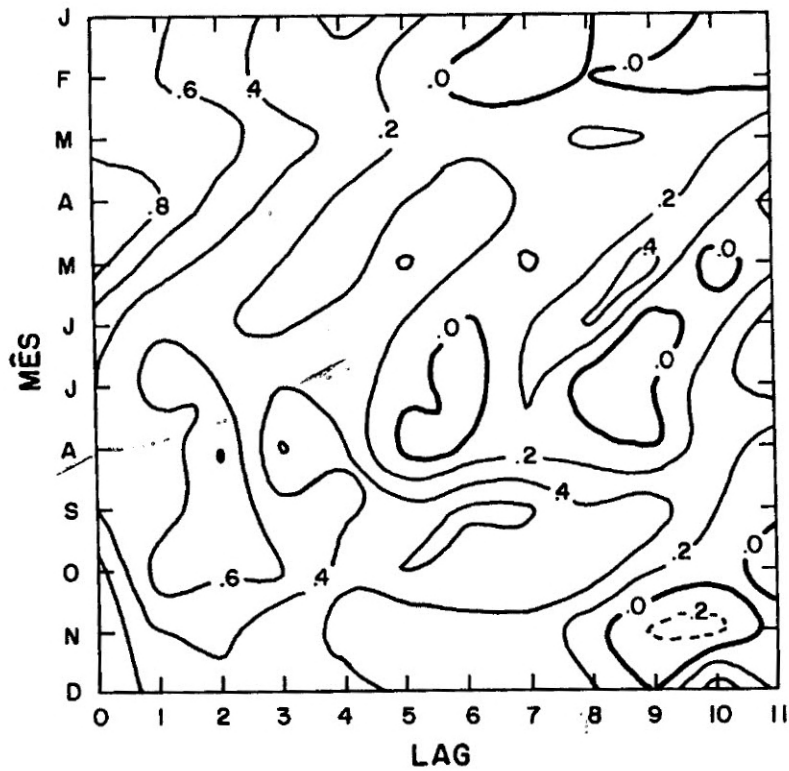


FIG. 8 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento Zonal média na área BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.



Analisando o gráfico de correlações entre  $Y_{zcit}$  e  $Y_{zca}$ , considerando "lags" de 0 a 11 meses (Figura 8), observou-se que esses dois fenômenos aumentam suas correlações a partir do mês de dezembro (acima de 0,5 com o mês subsequente), atingindo seu máximo no mês de março quando  $Y_{zcit}$  apresenta uma correlação de 0,64 com  $Y_{zca}$  de abril e 0,70 com  $Y_{zca}$  de maio, mostrando que as características do mês de março persistem até maio, corroborando a idéia que em março é que se define a qualidade da estação chuvosa.

Podemos notar também que a  $Y_{zcit}$  de fevereiro e a  $Y_{zca}$  de janeiro apresentam uma correlação de 0,63 e que a  $Y_{zcit}$  de março e a  $Y_{zca}$  de fevereiro apresentam uma correlação de 0,59. Isto mostra que a Zona de Confluência dos Alísios ( $Y_{zca}$ ) é um melhor precursor da posição da Banda de Nebulosidade Convectiva ( $Y_{zcit}$ ) e, portanto, da qualidade da estação chuvosa.

Uvo e Nobre (1989) mostraram que  $Y_{zcit}$  não é, por si só, um bom precursor da qualidade da estação chuvosa. No entanto, a  $Y_{zca}$  tem-se mostrado um melhor precursor. Esse resultado está ligado ao fato de que  $Y_{zcit}$  apresenta oscilações significativas numa escala de tempo de 10 a 20 dias (Uvo e Nobre, 1989). Os valores de  $Y_{zca}$  foram determinados numa escala de tempo mensal e com precisão de 2° de latitude, de tal forma que se filtraram oscilações de alta frequência tanto espacial quanto temporalmente. Além disso, a  $Y_{zca}$  é resultado de um fenômeno de escala espacial maior que  $Y_{zcit}$  propriamente dita; assim, sofre menor influência de fenômenos de escala menor. Desta forma, pode-se diferenciar melhor a  $Y_{zca}$  de um ano seco da  $Y_{zca}$  de um ano chuvoso já nos meses de janeiro e fevereiro.

#### 4. CONCLUSÕES

Observando os resultados das correlações calculadas neste trabalho entre a posição da Zona de Convergência Intertropical com a temperatura da superfície do mar e as tensões de cisalhamento zonal e meridional sobre o Atlântico Tropical, observou-se que as mais altas correlações aconteceram, geralmente, quando se considera a posição da ZCIT entre março e maio, indicando que nesses meses existe uma persistência das características de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$ , determinado-se, então, a qualidade da estação chuvosa do Nordeste. Em outras palavras, se em março as condições oceano-atmosféricas indicarem um ano chuvoso, essas condições deverão permanecer até maio, gerando uma estação chuvosa de boa qualidade, no entanto, se em março as condições oceano-atmosféricas indicam um ano seco, essas não mais se modificarão e teremos provavelmente uma estação chuvosa de pluviometria deficiente.

No entanto, a posição da ZCIT no mês de janeiro mostrou-se muito bem correlacionada com  $\tau_x$  e  $\tau_y$  em dezembro e janeiro, numa região do Atlântico centrada em aproximadamente 35°W e 10°N, mostrando que a posição da ZCIT em janeiro poderia ser inferida pelos ventos de dezembro. Porém, segundo Uvo e Nobre (1989), a posição da ZCIT em janeiro não é altamente correlacionada com a precipitação durante a estação chuvosa na região norte do Nordeste brasileiro, de tal forma que essa informação seria de utilidade apenas marginal como elemento precursor da qualidade da estação chuvosa.

Os resultados indicam que através da análise de todos os elementos (Temperatura da Superfície do Mar, Tensões de Cisalhamento Zonal e Meridional e posição da Zona de Confluência dos Alísios), de forma conjunta, no mês de março, poder-se-ia ter uma idéia da qualidade da estação-chuvosa na região do semi-árido brasileiro.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- HASTENRATH, S.; HELLER, J. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435):77-92, 1977.
- PICAUT, J.; SERVAIN, J.; LECOMTE, P.; SEVA, S.; ROUGIER, G. Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1964-1979. Hawaii, Université de Bretagne Occidentale/University of Hawaii, 1985. 467p.
- SERVAIN, J.; SEVA, M. On relationships between Tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. *Ocean Air Interactions*, 1(sf):183-190, 1987.
- SERVAIN, J.; SEVA, M.; LUKAS, S.; ROUGIER, G. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1980-1984. *Ocean - Air Interactions*, 1(9sf):109-182, 1987.
- UVO, C.R.B.; NOBRE, C.A. A Zona de Convergência Intertropical (zcit) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro. In CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 2; Buenos Aires, 1987. Anais.
- UVO, C.R.B.; NOBRE, C.A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise*, 4(7):34-40, 1989.

PARTE II: A INFLUÊNCIA DOS VENTOS E TSM DO ATLÂNTICO TROPICAL

Cíntia Regina Bertacchi Uvo e  
Carlos A. Nobre

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
São José dos Campos - SP

RESUMO

Esta é a segunda parte de um trabalho que visa estabelecer a influência da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Atlântico Tropical sobre a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro (NNE). Nesta fase procurou-se determinar relações entre a posição da ZCIT e as tensões de cisalhamento zonal ( $\tau_x$ ) e meridional ( $\tau_y$ ) do vento à superfície e a temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical. Observou-se que a posição da ZCIT está correlacionada a  $\tau_y$  e a TSM em algumas regiões do Atlântico Tropical, nos primeiros meses do ano. Durante a estação chuvosa do NNE (março, abril e maio), a posição da ZCIT está correlacionada a  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM numa região que compreende grande parte do Atlântico Tropical Norte. Evidenciou-se, ainda, que é a posição da ZCIT nos meses de abril e maio que define a qualidade da estação chuvosa no NNE.

ABSTRACT

*This is the second part of a paper that intends to establish the influence of the Tropical Atlantic Intertropical Convergence Zone (ITCZ) position on the northern Northeast Brazil (NNE) rainfall. In this part we have determined the relationships between the ITCZ position and the meridional ( $\tau_y$ ) and zonal ( $\tau_x$ ) surface wind stresses and the sea surface temperature (TSM) over Tropical Atlantic. We have observed that the ITCZ position presents high correlations with  $\tau_y$  and TSM in some regions of the Tropical Atlantic in the earlier part of the year. During NNE's rainy season (March, April, and May), the ITCZ position is well correlated with  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  and TSM in a large area of the Tropical North Atlantic. Adding to the conclusions of Part I, it has become*

1. INTRODUÇÃO

A influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a precipitação na região norte do Nordeste brasileiro (NNE) - região do semi-árido - é bastante conhecida e aceita.

Na parte I deste trabalho (Uvo e Nobre, 1989) foi mostrado que anos secos no NNE estão ligados ao retorno da ZCIT para suas posições mais ao norte em fins de março e anos chuvosos, à permanência dela em suas posições mais ao sul durante os meses de abril e maio, de tal forma, que para prever a qualidade da estação chuvosa, seria necessário prever quando a ZCIT iniciaria seu retorno para o norte.

Adicionalmente, Uvo e Nobre (1989) mostraram que os deslocamentos da ZCIT nos meses que antecedem a estação chuvosa não parecem estar muito bem relacionados com a qualidade da estação. Observou-se também que, além das variações interanuais, as variações intra-sazonais parecem influenciar a época de término da estação chuvosa, mesmo em anos com precipitação próxima à normal.

Estas constatações nos levaram a procurar o que causa o retorno antecipado da ZCIT, gerando um ano seco no NNE ou a sua permanência em suas posições ao sul, acarretando um ano chuvoso, isto é, como as migrações da ZCIT no Atlântico Tropical estão relacionadas com as anomalias de circulação atmosférica e de temperatura da superfície do mar de grande escala.

Com este objetivo, este trabalho apresenta a análise de correlações entre a posição da ZCIT, considerando-a como a posição média da banda de nebulosidade convectiva sobre o Atlântico Tropical, com as tensões de cisalhamento zonal ( $\tau_x$ ) e meridional ( $\tau_y$ ) do vento à superfície e a temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Atlântico Tropical.

2. METODOLOGIA

Para o cálculo das correlações foram utilizadas séries de dados mensais de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  numa grade de  $2^\circ \times 2^\circ$  sobre o Atlântico Tropical entre  $30^\circ\text{N}$ ,  $20^\circ\text{S}$ ,  $60^\circ\text{W}$  e a costa africana (Figura 1), provenientes de Picaut et al. (1985) e Servain et al. (1987); uma série de dados médios mensais da posição da ZCIT ao longo de  $35^\circ\text{W}$  sobre o Atlântico Tropical (YZCIT) de 1971 a 1987 (Uvo e Nobre, 1987); e uma série de médias mensais da posição

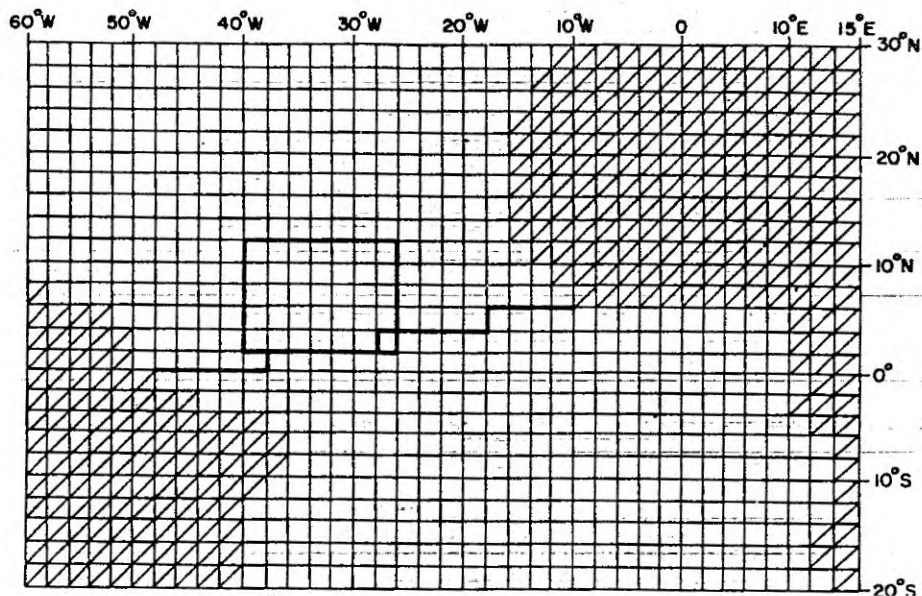


FIG. 1 - Região de estudo.

latitudinal da Zona de Confluência dos Alísios ( $Y_{ZCA}$ ) (Uvo e Nobre, 1987).

Foram calculados coeficientes de correlação entre as séries da posição da ZCIT e as séries de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  para cada ponto da grade em que são apresentados os dados.

Por ser de maior interesse para o período chuvoso no NNE, foram correlacionadas as séries das posições mensais da ZCIT de dezembro a maio com a TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$ , considerando "lags" de -3 a 1, isto é, a série da posição da ZCIT em um dado mês foi correlacionada com as séries de  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM dos três meses anteriores, do próprio mês e do mês imediatamente posterior.

Foi também calculada a autocorrelação da série da posição da ZCIT considerando "lags" de 0 a 11, isto é, a série de dados da posição da ZCIT de um certo mês foi correlacionada consigo mesma, com a série do mês seguinte e assim por diante até o cálculo da correlação com a série formada pela posição da ZCIT do 11º mês subsequente.

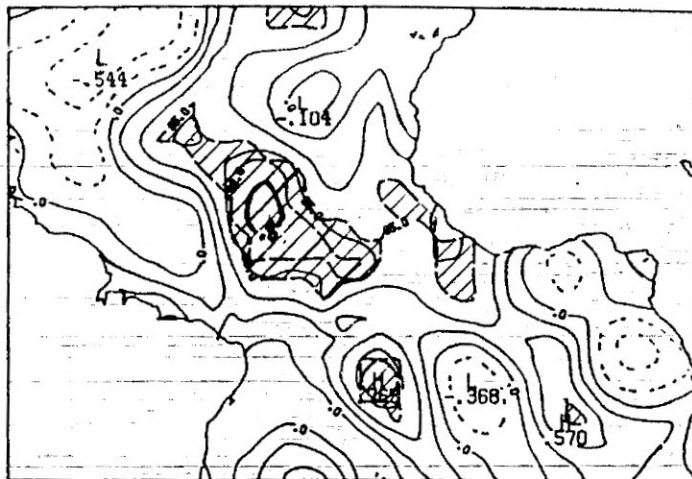
O mesmo tipo de correlação foi feito considerando a série da posição da ZCIT com as séries médias espaciais de  $\tau_x$ ,  $\tau_y$  e TSM em uma região do Atlântico Tropical (mostrada na Figura 1) e sobre todo o Atlântico Tropical Norte escolhidos por terem apresentado maior incidência de altas correlações durante as análises precedentes. As séries de  $Y_{ZCIT}$  e  $Y_{ZCA}$  foram também correlacionadas usando a mesma técnica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

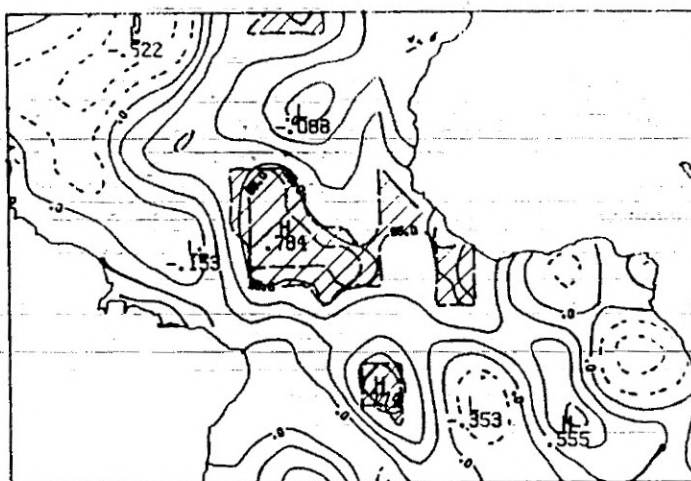
#### a) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $\tau_y$

A posição da ZCIT apresentou-se muito bem correlacionada com  $\tau_y$ , principalmente na região próxima ao equador. Este fato já era esperado, pois a posição da confluência dos ventos alísios (onde  $\tau_y = 0$ ) também está intimamente associada à posição da ZCIT, de tal forma que, nas imediações do equador, estaremos correlacionando duas estimativas diferentes para o mesmo fenômeno.

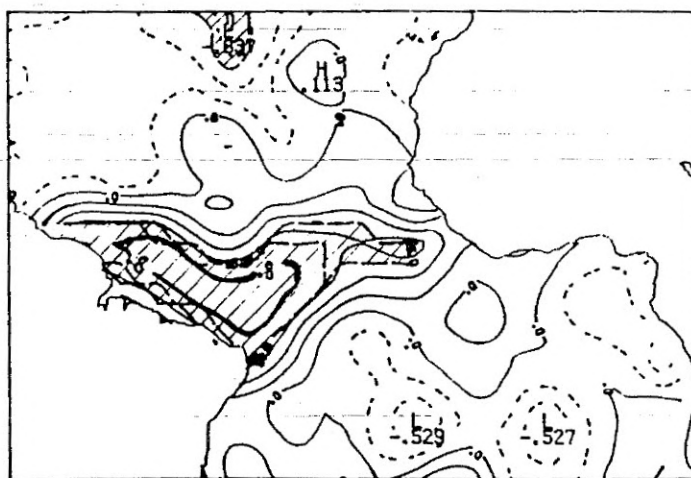
Foi interessante observar que núcleos de alta correlação (aproximadamente 0,8) apareceram quando se correlacionou a posição da ZCIT em janeiro com  $\tau_y$  em dezembro (Figura 2a) e janeiro (Figura 2b), isto é, com  $\tau_y$  precedendo  $Y_{ZCIT}$ . Por outro lado,  $Y_{ZCIT}$  em janeiro apareceu também muito bem correlacionada com  $\tau_y$  de fevereiro, apresentando um núcleo de correlação acima de 0,8 ao longo de toda a costa norte do Nordeste (Figura 2c). Como já frisado, isto era de se esperar pois a ZCIT e a Zona de Confluência dos alísios representam o mesmo sistema de circulação atmosférica. Essas correlações são também observadas na Figura 3, que apresenta um quadro de correlação entre a posição da ZCIT, sobre 35°W, mês a mês, e  $\tau_y$  também mês a mês, considerando defasagens de 1 a 11 meses no núcleo de máxima correlação sobre o Atlântico (Figura 1). Nota-se que essas duas grandezas se mostram muito bem correlacionadas nos primeiros meses do ano, principalmente com abril e maio, com correlações acima



a)  $\Upsilon_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em dezembro



b)  $\Upsilon_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em janeiro



c)  $\Upsilon_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em fevereiro

FIG 7 - Isolinhas de correlação entre a posição da ZCIT e a Tensão de Cisalhamento Meridional. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2. As áreas hachuradas possuem significância estatística acima de 95%.



de 0,0 até o segundo mês subsequente e os meses de dezembro e janeiro, e com correlação acima de 0,6 com o primeiro mês subsequente.

O mês de janeiro apresenta algumas áreas de correlação acima de 0,6 apenas na costa norte do Nordeste para a posição da ZCIT com  $\tau_y$  em janeiro, bem como uma área ao longo do equador para a posição da ZCIT em janeiro com  $\tau_y$  em fevereiro. No entanto, quando se considera a posição da ZCIT no mês de fevereiro, as correlações decrescem bastante. Essa diminuição nas correlações pode ser notada no diagrama de correlação (Figura 3) onde o mês de fevereiro apresenta a menor correlação com o primeiro mês subsequente.

As correlações começam a crescer como um todo a partir de março, aparecendo correlações acima de 0,8 principalmente nas regiões equatoriais e no Atlântico Norte, nos meses de março, abril e maio. Para estes meses, não só as correlações simultâneas são altas mas também aquelas com o mês subsequente. Esse resultado pode ser observado através do diagrama da Figura 4 que apresenta a correlação da posição da ZCIT mês a mês com o valor médio de  $\tau_y$  para o Atlântico Tropical Norte (Figura 1).

As Figuras 3 e 4 diferenciam-se apenas pelo número de pontos de grade utilizados para o cálculo da média espacial de  $\tau_y$ . Na Figura 3, apenas uma pequena região do Atlântico Tropical Norte foi considerada (Figura 1); na Figura 4, todo o Atlântico Tropical Norte foi considerado. Como resultado, as Figuras 3 e 4 são bastante semelhantes, apresentando seus valores de máximas correlações nos mesmos meses; no entanto, como esperado, as correlações da Figura 4 possuem valores mais baixos.

#### b) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $\tau_x$

A posição da ZCIT e  $\tau_x$  mostraram-se, em geral, menos correlacionadas que ZCIT e  $\tau_y$ , principalmente quando se consideravam correlações não simultâneas. Algumas exceções surgiram sobretudo ao considerar a posição da ZCIT em março e maio.

A posição da ZCIT em março mostrou-se bem correlacionada com  $\tau_x$  no mesmo mês, principalmente no Atlântico Norte e Atlântico Equatorial próximo à costa brasileira, o que indica que quanto mais forte o vento zonal no Atlântico Norte e mais fraco no Atlântico Equatorial, próximo à costa brasileira, mais ao sul a ZCIT se posicionará.

Neste caso, foi também observado um pequeno núcleo de forte correlação (acima de 0,8) no centro do Atlântico Norte, que relaciona  $\tau_x$  em dezembro com a posição da ZCIT em janeiro e  $\tau_x$  em janeiro com a posição da ZCIT no mesmo mês (Figura 5 a,b), o que indica que a partir de  $\tau_x$  de dezembro, poder-se-ia estimar a posição

da ZCIT em janeiro (esse núcleo aparece numa posição muito próxima à dos núcleos de forte correlação entre a posição da ZCIT e  $\tau_y$  nesses mesmos meses); entretanto, a posição da ZCIT em janeiro não se mostrou bem correlacionada com a qualidade da estação chuvosa no NNE (Uvo & Nobre, 1989).

Notou-se que o padrão de dipolo, com correlações positivas no Atlântico Norte e negativas no Atlântico Sul, esteve presente durante quase todo o período estudado, principalmente nas correlações de ZCIT com  $\tau_x$  no mês, anterior e com  $\tau_x$  no mesmo mês indicando que ventos mais fortes no Atlântico Norte e mais fracos no Atlântico Sul estariam ligados a posições mais ao sul da ZCIT (Figura 5 a,b). Para a posição da ZCIT nos meses de abril e maio, no entanto, o padrão de dipolo aparece também quando se relaciona a posição da ZCIT com  $\tau_x$  nos 2 e 3 meses anteriores, respectivamente.

#### c) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e TSM

Analisando a correlação entre a posição da ZCIT e a TSM, nota-se que, a partir de fevereiro, apresenta-se um padrão de dipolo no Atlântico Sul, indicando que temperaturas mais frias no Atlântico Norte e mais quentes no Atlântico Sul indicam posições mais ao sul da ZCIT (Figuras 6 a,b,c e d).

Notou-se que as correlações se tornam mais significativas a partir do mês de março, o que pode ser observado na Figura 7, prevalecendo as maiores correlações na área do Atlântico Tropical Norte.

Um forte núcleo de correlação negativa acontece ao sul do equador (ao longo dele), relacionando a TSM de dezembro com a ZCIT em janeiro, indicando que a TSM do Atlântico Sul em dezembro é importante para uma estimativa da posição da ZCIT em janeiro.

As correlações significativas entre a posição da ZCIT em um certo mês com a TSM dos meses seguintes, que aparecem a partir de março (Figura 7), indicam que há uma persistência nas características oceano-atmosféricas a partir de março, isto é, nesse mês define-se a qualidade da estação chuvosa. Assim, se em março mantêm-se os padrões de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$  característicos de um ano chuvoso, esses padrões tendem a manter-se até maio; por outro lado, se os padrões são para anos seco em março, não mais se transformarão de modo geral em padrões de anos chuvosos.

Os resultados observados mostraram-se bastante coerentes com os resultados obtidos por Hastenrath & Heller (1977) e Servain & Seva (1987), que relacionaram a precipitação do NNE com a TSM e os ventos sobre o Atlântico Tropical.

#### d) Correlações entre $Y_{ZCIT}$ e $Y_{NNE}$



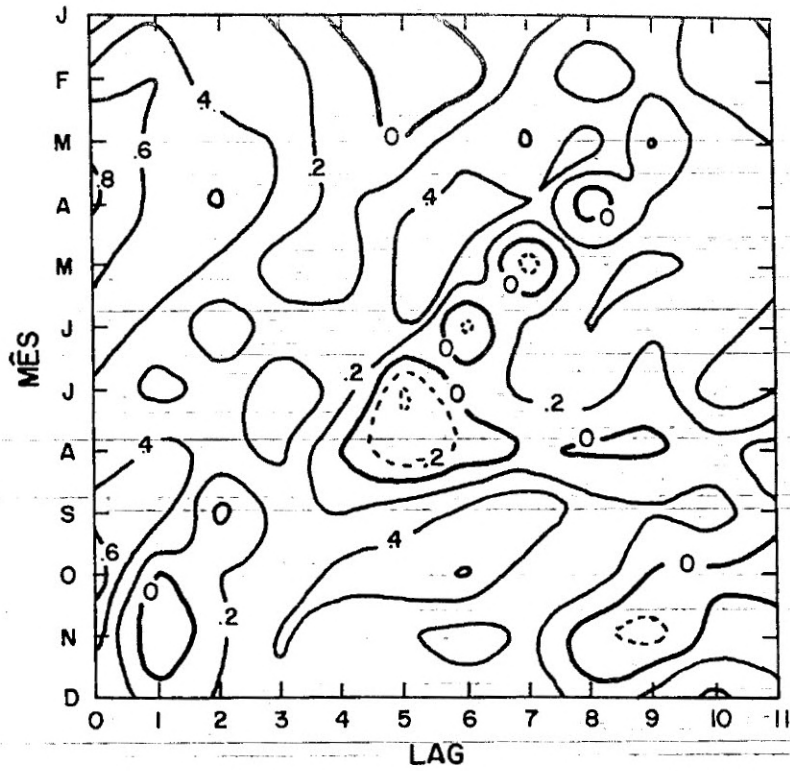


FIG. 3 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento meridional-média na região BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

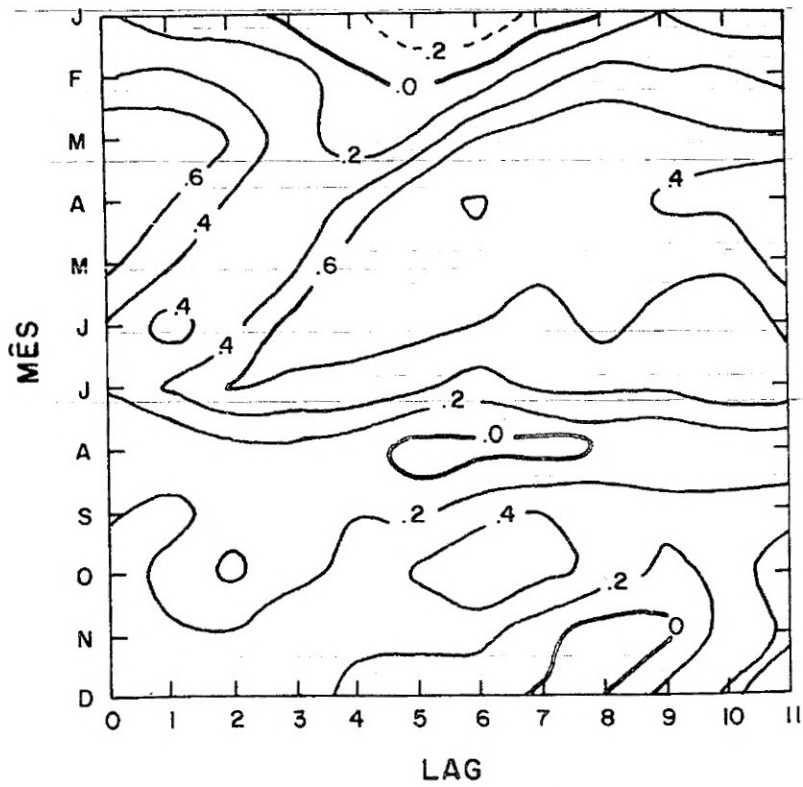
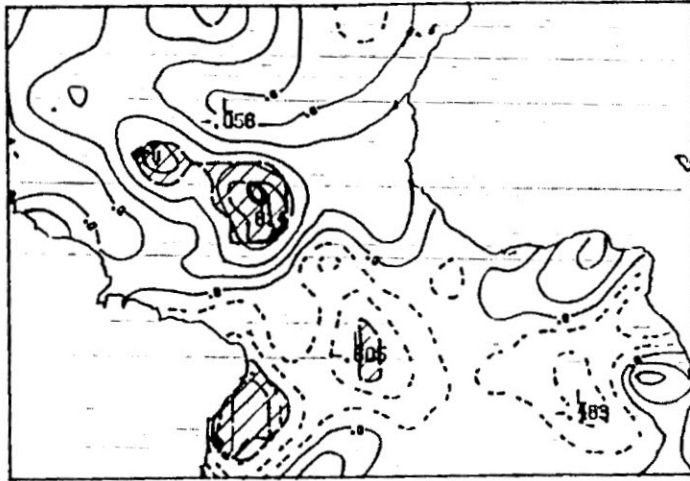
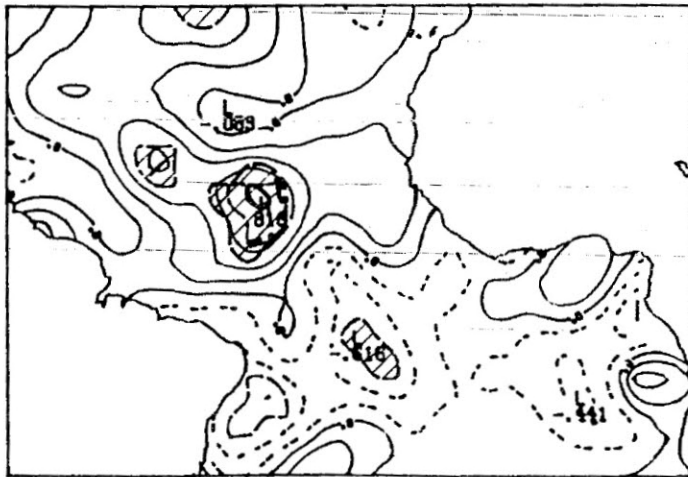


FIG. 4 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento meridional-média no Atlântico Tropical Norte. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

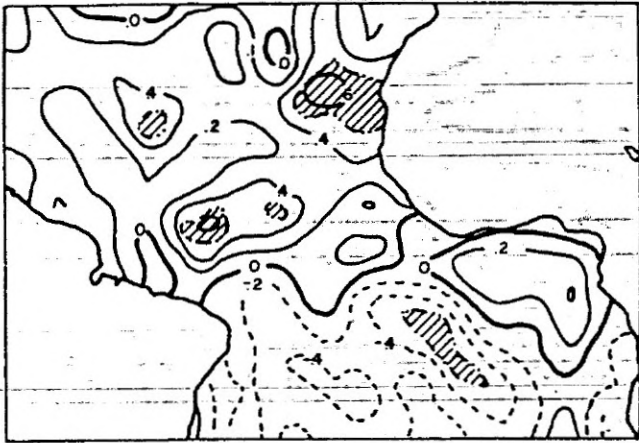


a)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em dezembro

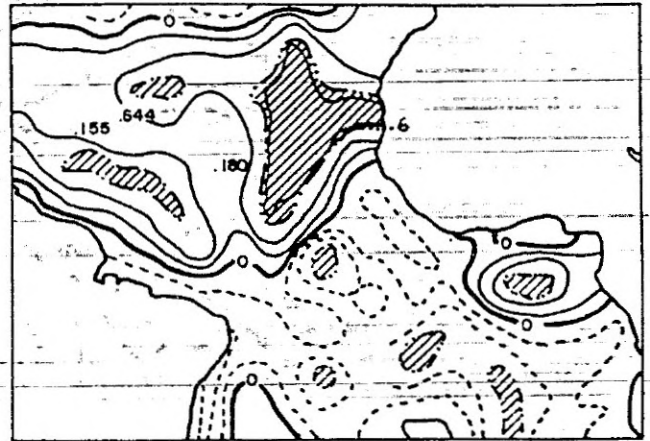


b)  $Y_{ZCIT}$  em janeiro,  $\tau_y$  em janeiro

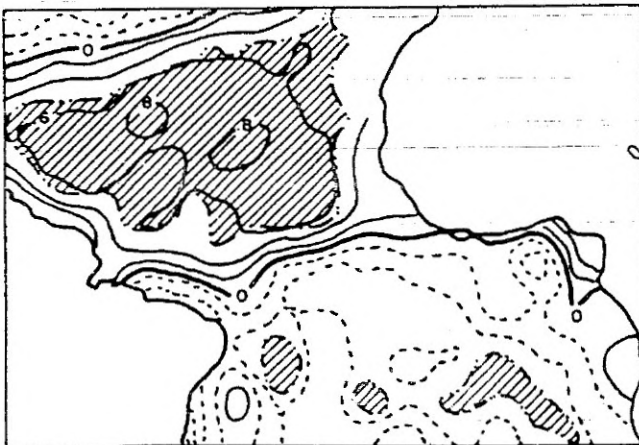
FIG 5 - Isolinhas de correlação entre a posição da ZCIT e a Tensão de Cisalhamento Zonal. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2. As áreas hachuradas possuem significância estatística acima de 95%.



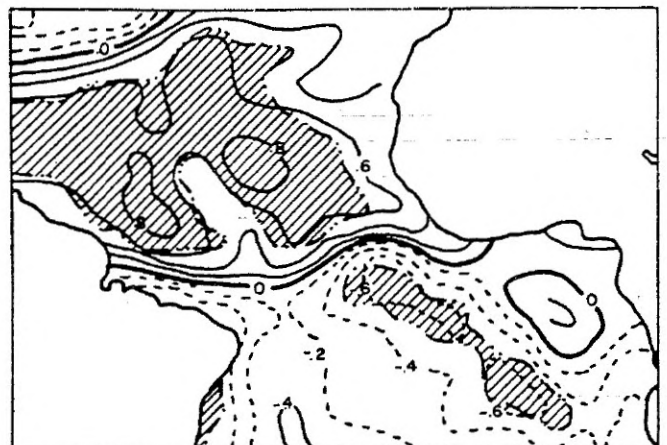
a) Yzcit em abril, SST em fevereiro



b) Yzcit em abril, TSM em março



c) Yzcit em abril, SST em abril



d) Yzcit em abril, SST em maio

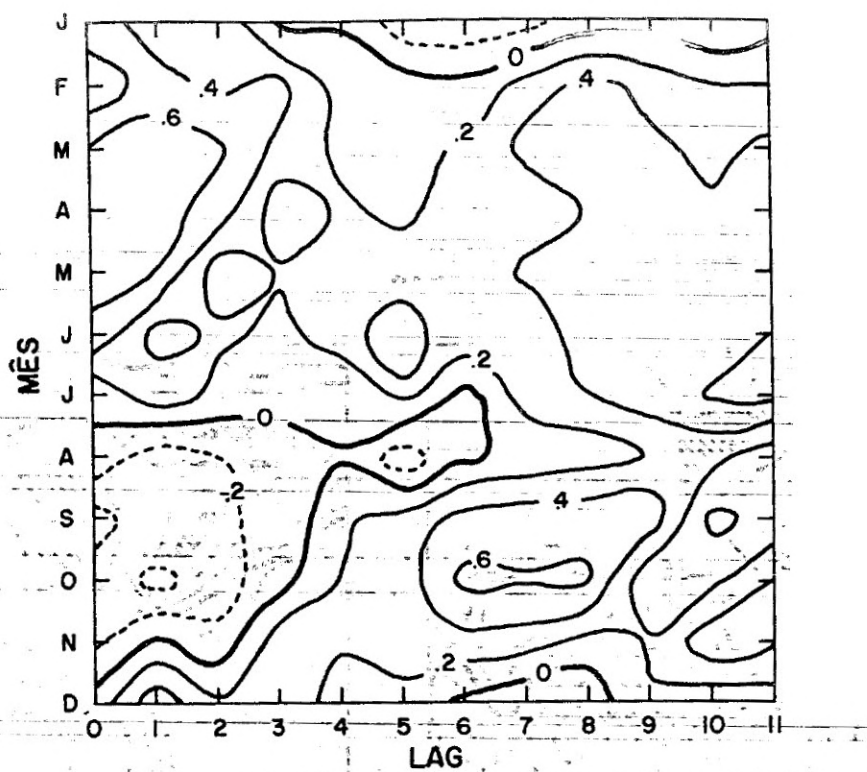


FIG. 7 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e tensão de cisalhamento zonal média na área BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

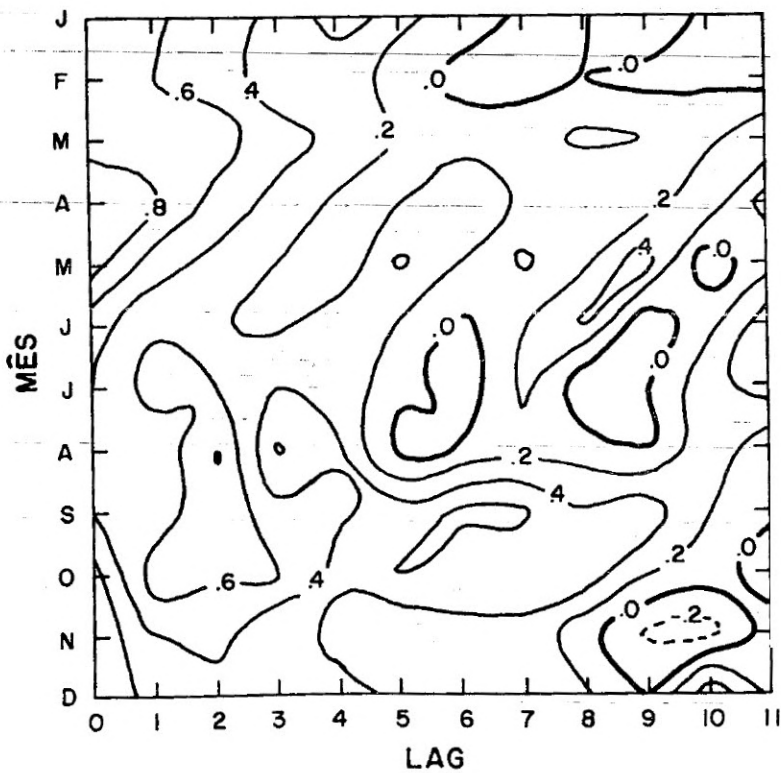


FIG. 8 - Diagrama de correlação entre posição da ZCIT e Tensão de Cisalhamento Zonal média na área BE. As isolinhas possuem espaçamento de 0,2 em 0,2.

Analisando o gráfico de correlações entre  $Y_{zcit}$  e  $Y_{zca}$ , considerando "lags" de 0 a 11 meses (Figura 6), observou-se que esses dois fenômenos aumentam suas correlações a partir do mês de dezembro (acima de 0,5 com o mês subsequente), atingindo seu máximo no mês de março quando  $Y_{zcit}$  apresenta uma correlação de 0,64 com  $Y_{zca}$  de abril e 0,70 com  $Y_{zca}$  de maio, mostrando que as características do mês de março persistem até maio, corroborando a idéia que em março é que se define a qualidade da estação chuvosa.

Podemos notar também que a  $Y_{zcit}$  de fevereiro e a  $Y_{zca}$  de janeiro apresentam uma correlação de 0,63 e que a  $Y_{zcit}$  de março e a  $Y_{zca}$  de fevereiro apresentam uma correlação de 0,59. Isto mostra que a Zona de Confluência dos Alísios ( $Y_{zca}$ ) é um melhor precursor da posição da Banda de Nebulosidade Convectiva ( $Y_{zcit}$ ) e, portanto, da qualidade da estação chuvosa.

Uvo e Nobre (1989) mostraram que  $Y_{zcit}$  não é, por si só, um bom precursor da qualidade da estação chuvosa. No entanto, a  $Y_{zca}$  tem-se mostrado um melhor precursor. Esse resultado está ligado ao fato de que  $Y_{zcit}$  apresenta oscilações significativas numa escala de tempo de 10 a 20 dias (Uvo e Nobre, 1989). Os valores de  $Y_{zca}$  foram determinados numa escala de tempo mensal e com precisão de 2° de latitude, de tal forma que se filtraram oscilações de alta frequência tanto espacial quanto temporalmente. Além disso, a  $Y_{zca}$  é resultado de um fenômeno de escala espacial maior que  $Y_{zcit}$  propriamente dita; assim, sofre menor influência de fenômenos de escala menor. Desta forma, pode-se diferenciar melhor a  $Y_{zca}$  de um ano seco da  $Y_{zca}$  de um ano chuvoso já nos meses de janeiro e fevereiro.

#### 4. CONCLUSÕES

Observando os resultados das correlações calculadas neste trabalho entre a posição da Zona de Convergência Intertropical com a temperatura da superfície do mar e as tensões de cisalhamento zonal e meridional sobre o Atlântico Tropical, observou-se que as mais altas correlações aconteceram, geralmente, quando se considera a posição da ZCIT entre março e maio, indicando que nesses meses existe uma persistência das características de TSM,  $\tau_x$  e  $\tau_y$ , determinado-se, então, a qualidade da estação chuvosa do Nordeste. Em outras palavras, se em março as condições oceano-atmosféricas indicarem um ano chuvoso, essas condições deverão permanecer até maio, gerando uma estação chuvosa de boa qualidade, no entanto, se em março as condições oceano-atmosféricas indicam um ano seco, essas não mais se modificarão e teremos provavelmente uma estação chuvosa de pluviometria deficiente.

No entanto, a posição da ZCIT no mês de janeiro mostrou-se muito bem correlacionada com  $\tau_x$  e  $\tau_y$  em dezembro e janeiro, numa região do Atlântico centrada em aproximadamente 35°W e 10°N, mostrando que a posição da ZCIT em janeiro poderia ser inferida pelos ventos de dezembro. Porém, segundo Uvo e Nobre (1989), a posição da ZCIT em janeiro não é altamente correlacionada com a precipitação durante a estação chuvosa na região norte do Nordeste brasileiro, de tal forma que essa informação seria de utilidade apenas marginal como elemento precursor da qualidade da estação chuvosa.

Os resultados indicam que através da análise de todos os elementos (Temperatura da Superfície do Mar, Tensões de Cisalhamento Zonal e Meridional e posição da Zona de Confluência dos Alísios), de forma conjunta, no mês de março poder-se-ia ter uma idéia da qualidade da estação chuvosa na região do semi-árido brasileiro.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- HASTENRATH, S.; HELLER, J. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435):77-92, 1977.
- PICAUT, J.; SERVAIN, J.; LECOMTE, P.; SEVA, S.; ROUGIER, G. Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1964-1979. Hawaii, Université de Bretagne Occidentale/University of Hawaii, 1985: 467p.
- SERVAIN, J.; SEVA, M. On relationships between Tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. *Ocean Air Interactions*, 1(sf):183-190, 1987.
- SERVAIN, J.; SEVA, M.; LUKAS, S.; ROUGIER, G. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1980-1984. *Ocean - Air Interactions*, 1(9sf):109-182, 1987.
- UVO, C.R.B.; NOBRE, C.A. A Zona de Convergência Intertropical (zcit) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro. In CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 2; Buenos Aires, 1987. Anais.
- UVO, C.R.B.; NOBRE, C.A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise*, 4(7):34-40, 1989.



## NOTAS

1 - A confiabilidade das análises de precipitação e temperatura é menor na Amazônia e no norte do Centro-Oeste, onde a densidade da rede de observações é pequena. Não são traçadas as isoietas e isoterms nas áreas sem informações.

2 - As figuras provenientes do CAC/NWS (Washington) baseiam-se em procedimentos de análise numérica, utilizando dados de ar superior e outros dados recebidos via GTS (dados de satélites, aviões etc.). A confiabilidade dos campos de circulação (análises) é incerta em áreas onde os dados são esparsos.

3 - Na figura correspondente à ROL mensal, estimada no topo da atmosfera, os valores de ROL são modulados principalmente por temperatura e cobertura de nuvens. Como nos Trópicos os gradientes horizontais de temperatura são geralmente pequenos, a ROL nestas regiões é primariamente função da distribuição da cobertura de nuvens. Os valores da ROL são menores sobre as principais áreas convectivas dos Trópicos, onde nuvens altas, médias e cúmulos-nimbos são predominantes. Por outro lado, os valores da ROL são relativamente altos sobre as áreas oceânicas dos ventos alísios, onde as nuvens são tipicamente estratos-cúmulos ou cúmulos dos alísios que se elevam somente 1 ou 2 km acima da superfície. Os valores máximos ocorrem sobre os desertos onde não há cobertura de nuvens e as temperaturas da superfície são as mais altas. Sobre as regiões convectivamente ativas, anomalias de ROL negativas (positivas) indicam, em geral, atividade convectiva, isto é, precipitação acima (abaixo) da média.

4 - A posição da ZCIT sobre o Atlântico Tropical vem sendo determinada desde os primeiros números do Boletim "CLIMANÁLISE" devido a sua importância para o monitoramento da precipitação na região norte do Nordeste brasileiro, a qual possui sua estação chuvosa nos meses de março, abril e maio.

A determinação desta posição é feita analisando-se a latitude dos topos de nuvens convectivas sobre o oceano a partir de imagens de satélite. Essa determinação apresenta erros devido, principalmente, à largura da banda de nuvens convectivas e, desta forma, a técnica e os meios usados para monitorar a posição da ZCIT vêm sendo modificados constantemente com o objetivos de se diminuir os erros envolvidos.

Até o número 2 vol.4 do Boletim, a posição da ZCIT era determinada através de imagens no canal infra-vermelho (IV) de satélites da série NOAA que abrangem todo o Atlântico Tropical, de tal forma que pode-se monitorar a ZCIT em toda a sua extensão sobre o Atlântico. Eram selecionadas algumas imagens diárias que apresentavam uma melhor configuração da banda convectiva e apresentadas no Boletim posições da ZCIT estimadas a partir dessas imagens.

Atualmente, uma nova técnica de determinação da posição da ZCIT vem sendo aplicada.

Essa técnica, desenvolvida pelo CRODT/ORSTOM, utiliza imagens digitais IV do satélite METEOSAT. São usadas 8 imagens diariamente e, ao fim de 5 dias, é gerada uma imagem chamada Síntese, utilizando-se as 40 imagens obtidas na pênclada em questão.

A imagem Síntese é uma imagem digital onde, em cada ponto (pixel) é retida apenas a temperatura mais alta encontrada no mesmo ponto das 40 imagens utilizadas para criá-la. Pronta essa imagem, ela é apresentada numa tela colorida para que possamos então determinar a posição da ZCIT, obtendo-se diretamente uma posição média da ZCIT a cada 5 dias.

Essa técnica diminui os erros na determinação da ZCIT, pois torna a banda de nuvens convectivos mais estreita eliminando as oscilações latitudinais da ZCIT com período menor que 5 dias, apresentando apenas as posições em que a ZCIT permaneceu durante os 5 dias em questão.

5 - No cálculo das normais de precipitação para o sul da Bahia, utiliza-se um pequeno número de anos das séries históricas de precipitação para algumas estações. Portanto, os desvios de precipitação em relação à normal não refletem desvios de médias de longo período.

6 - A posição do centro da Alta da Bolívia é estimada subjetivamente através das imagens do satélite GOES-E no canal IV. A área encerrada por latitudes e longitudes limítrofes na qual se encontra o centro da Alta Bolívia é aquela na qual a imagem do satélite apresenta nuvens do tipo cúmulos-nimbos em uma forma arredondada, isto é, sem bigornas, o que indica ventos de altos níveis razoavelmente fracos. É dentro desta área que se determina a provável posição do centro da Alta.

7 - Alguns erros foram observados no último número (Vol. 4, nº 9) e são corrigidos a seguir: —

Página 9: as Figuras 10 e 11 estão invertidas.

Página 53: as curvas da Figura 5 estão invertidas. A que está em linha cheia de ser em linha tracejada e corresponde a (E-P) desmatado; a que está em linha tracejada deve ser em linha cheia e corresponde a (E-P) controle.