

# Intrusão de Alta Vorticidade Potencial sobre o Oceano Atlântico Sul no Modelo de Circulação Geral do CPTEC

Tatiane F. BARBOSA<sup>1,2</sup>, Iracema F. A. CAVALCANTI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INMET – Brasília, Distrito Federal – [tatiane.felinto@inmet.gov.br](mailto:tatiane.felinto@inmet.gov.br)

<sup>3</sup>CPTEC/INPE - Cachoeira Paulista - São Paulo

**RESUMO:** Neste estudo foram analisados os padrões de alta vorticidade potencial (AVP) no nível isentrópico de 350 K (~200 hPa) sobre o Oceano Atlântico Sul (OAS), no período de verão entre 1979-2001. As reanálises ERA-40 foram utilizadas na análise observacional enquanto que três simulações com o Modelo de Circulação Geral (MCGA) do CPTEC foram utilizadas para análise das características representadas pelo modelo. Na identificação dos padrões de AVP considerou-se a incursão da VP em 350 K de -1,5 UVP atingindo a latitude de 10°S. O método de Funções Ortogonais Empíricas foi aplicado no campo de VP nestes dias para determinar os padrões de AVP sobre o OAS tropical e apenas a primeira componente (CP1) foi analisada. A CP1 apresentou um padrão de intrusão de AVP com orientação norte-sul sobre o OAS tropical próximo ao Nordeste do Brasil. O número de eventos identificados no MCGA correspondeu à metade do visto na observação. A importância dos ventos em altos níveis na região equatorial e nas latitudes médias do OAS é ressaltada nessa comparação, pois o vento zonal da região equatorial foi climatologicamente mais fraco e a corrente de jato mais intensa nos resultados do modelo. A variabilidade interanual dos eventos identificados na CP1 foi associada ao fenômeno ENOS.

**ABSTRACT:** Analysis of high potential vorticity (high-PV) patterns in the 350 K isentropic level over the South Atlantic Ocean (SAO) was performed in the summer season during 1979-2001. The ERA-40 reanalysis was used for the observational analysis and three simulations with the CPTEC Atmospheric General Circulation Model (AGCM) were analyzed to verify the model ability in representing the observed features. The high-PV cases were obtained from incursions of PV of -1.5 UVP at 350 K reaching the 10°S latitude. The Empirical Orthogonal Function (EOF) method was applied in the field of potential vorticity (PV) of the selected days to determine patterns of high-PV on the tropical OAS. The first mode (CP1) showed a pattern of high-PV intrusion with north-south orientation over the OAS, near the tropical northeastern Brazil. The events identified in the AGCM correspond to half of the observed. The importance of high level winds in the equatorial and middle latitudes of the SAO are emphasized in this comparison, because the equatorial zonal wind was climatologically weaker and jet stream stronger in the model results. The interannual variability of the events identified in CP1 were associated with ENSO.

## 1- INTRODUÇÃO

A ocorrência da quebra da onda de Rossby (QOR) que transporta ar da estratosfera subtropical para a alta troposfera tropical foi estudada por vários autores (Waugh e Funatsu, 2003; Rao et al., 2007; Barbosa et al., 2011). A QOR é caracterizada pela formação de uma língua de alta Vorticidade Potencial (AVP) geralmente na superfície isentrópica de 350 K (≈ 200 hPa), que penetra na região tropical (aproximadamente 10° N ou 10° S). Waugh e Polvani (2000) denominaram essas ocorrências de eventos de intrusão.

Estas intrusões de AVP apresentam impacto na convecção tropical. Waugh e Funatsu (2003) mostraram que a convecção transiente e a língua de VP ocorrem juntas, e a convecção é vista na vanguarda da língua de VP. O impacto destas intrusões sobre a precipitação do Nordeste brasileiro foi mostrado por Rao et al. (2007), os quais observaram que nos anos com maior ocorrência de eventos de intrusão sobre o oceano Atlântico Sul (OAS) houve uma redução de chuvas no norte do Nordeste Brasileiro. Este fato esteve associado à formação de um Vórtice Ciclônico em altos níveis sobre o OAS tropical.

Os modelos numéricos são ferramentas importantes nos estudos de variabilidade climática, previsões climáticas e sazonais e também para descrever características atmosféricas associadas a fenômenos atmosféricos. As simulações com o Modelo de Circulação Geral (MCGA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) têm mostrado grande habilidade em representar as principais características de circulação de verão sobre a AS, como Alta da Bolívia, Zona de Convergência do Atlântico Sul, Cavado do Nordeste e o deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (Cavalcanti, et al., 2002).

Neste estudo, o MCGA-CPTEC é utilizado com o intuito de mostrar a capacidade deste modelo em simular os padrões de AVP sobre o OAS e comparar com os resultados observados com a reanálise ERA-40 (Barbosa, 2011). O conhecimento da capacidade do modelo em simular tais eventos é útil no entendimento do impacto destas intrusões sobre a circulação da AS e conseqüentemente na precipitação.

## **2- MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado para o verão (dez-jan-fev) de 1979 a 2001. Utilizou-se dados de temperatura e vento da reanálise do Projeto ERA-40 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF; Uppala et al., 2005). Este conjunto de dados foi utilizado na análise observacional e apresenta uma resolução de  $1,125^{\circ} \times 1,125^{\circ}$  de longitude e latitude e 23 níveis na vertical.

Os resultados do MCGA-CPTEC foram analisados no intuito de verificar a habilidade deste modelo em representar os padrões de AVP sobre o OAS. Utilizaram-se três integrações com condições atmosféricas iniciais obtidas das análises do NCEP para os dias 18 (MCGA-I18), 20 (MCGA-I20) e 22 (MCGA-I22) de janeiro de 1950. Estas simulações constam de uma integração de 50 anos com resolução de T62 L28, ou seja, resolução horizontal de ~200 km próximo ao equador e 28 níveis na vertical. As características e formulação das parametrizações e aspectos numéricos deste modelo é descrito em Cavalcanti et al. (2002).

A VP foi calculada por meio dos campos de vento e temperatura em níveis isobáricos de acordo com Hoskins et al. (1985) e interpolado em seguida para a superfície isentrópica de 350

K. Este nível isentrópico ocorre próximo ao nível isobárico de 200 hPa em praticamente todas as latitudes (Tomas e Webster, 1994).

Os padrões de AVP sobre o OAS foram identificados usando a VP para o horário das 12 UTC. Os dias em que a VP de  $-1,5$  UVP ( $UVP=10^{-6} \text{ K m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ) no nível isentrópico de 350 K atingiu a latitude de  $10^\circ\text{S}$  foram selecionados, e em seguida aplicou-se a técnica de Função Ortogonal Empírica (EOF) nos campos de VP. Os padrões espaciais ou *loadings* e as séries temporais (scores) foram analisadas para o modo com maior variância explicada.

Alguns parâmetros relacionados ao vento zonal foram determinados para mostrar a relação dessa variável com os padrões de AVP, tais como média do vento zonal na região equatorial ( $U_m$ ) e média zonal do vento zonal ( $[U_m]_z$ ) em 200 hPa. O  $U_m$  consiste numa média na área  $10^\circ\text{S}$  a  $10^\circ\text{N}$  e  $35^\circ\text{W}$  a  $10^\circ\text{W}$  e  $[U_m]_z$  é determinado para as longitudes entre  $90^\circ\text{E}$  e  $10^\circ\text{E}$ .

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas simulações utilizando o MCGA-CPTEC são selecionados 125 dias (Tabela 1) nos quais há incursão de AVP em direção à região equatorial para o membro MCGA-I18, seguidos de 110 e 97 dias para o MCGA-I20 e MCGA-I22, respectivamente. As simulações com MCGA-CPTEC apresentam um número menor de dias com AVP na região tropical em relação ao ERA-40. Na análise observacional (ERA-40) foram encontrados 287 dias com AVP em  $10^\circ\text{S}$  (Tabela 1). O menor número intrusões de AVP no MCGA pode estar associado ao vento zonal na região equatorial ser mais fraco no modelo do que nas observações. A média do vento zonal na região equatorial ( $U_m$ ) é de  $\sim 8 \text{ m s}^{-1}$  nas simulações com o MCGA e  $11 \text{ m s}^{-1}$  nos resultados com o ERA-40. Tomas e Webster (1994) mostraram que ventos de oeste na região equatorial são de suma importância para a propagação de ondas entre trópicos-extratropicais, a qual ocorre quando os “dutos de oeste” se formam. Outro fator de relevância é a intensidade da corrente de jato em latitudes médias, o qual é mais intenso nas simulações com o MCGA-CPTEC, visto na Figura 1 da média zonal da componente zonal do vento ( $[U_m]_z$ ). Barbosa et al. (2011) mostraram que o Jato Subtropical pode atuar como uma barreira para a propagação de ondas quase-estacionárias e consequentemente na incursão de AVP para o OAS tropical.

A variância explicada do primeiro modo (CP1) corresponde a 24,6%; 22,9%; 24,8% e 20,7% para as simulações MCGA-I18, MCGA-I20, MCGA-I22 e ERA-40, respectivamente. O padrão espacial (*loading*) da CP1 (Figura 2) apresenta uma incursão de vortacidade em direção ao Nordeste no MCGA-I18 cujo sinal depende dos coeficientes na série temporal (Figura não mostrada). As simulações desta intrusão com o MCGA-CPTEC apresentam maior incursão em direção ao continente, atingindo grande parte do leste do NEB, enquanto que na análise observacional (Figura 2d) a incursão de AVP é restrita ao sul do NEB. As amplitudes positivas dos scores são representativas do padrão espacial correspondente à presença de VP ciclônica no MCGA-I18 e ERA-40 e anticiclônica no MCGA-I20 e MCGA-I22.

Foram selecionados 22 casos de eventos de AVP para o MCGA-I18 (Tabela 2) de acordo com o critério de  $1 \times \sigma$  dos *scores*. No MCGA-I20 e MCGA-I22, considerou-se os valores negativos dos *scores* devido à necessidade de representar o padrão ciclônico associado ao campo espacial dos *loadings*. Desta forma, 22 e 15 eventos de AVP foram selecionados para os MCGA-I20 e MCGA-I22, respectivamente. O número de eventos de AVP com incursão para os trópicos encontrados na análise observacional é o dobro dos eventos simulados pelo MCGA (Tabela 2). Como visto anteriormente, este fato pode estar associado ao forte “duto de oeste” observado no OAS nos dados do ERA-40, o que não ocorre nos resultados do modelo.

Os eventos de AVP associados à CP1 apresentam alta correlação com o IOS (Tabela 2). Similar ao observado no ERA-40 (Tabela 2), a maioria dos casos de AVP na região tropical simulados pelo MCGA está associada aos eventos de ENOS. A correlação entre o número de eventos e o IOS é de -0,45, -0,59 e -0,49 para os membros MCGA-I18, MCGA-I20 e MCGA-I22 (estatisticamente significativo ao nível de 95%). A variabilidade dos eventos de AVP também apresenta forte relação com o  $U_m$  na região tropical, cuja correlação com o número de eventos é 0,59; 0,60 e 0,61 para as simulações com o MCGA-I18, MCGA-I20 e MCGA-I22, respectivamente. Estes valores são maiores que os observados na análise com o ERA-40 (Tabela 2).

#### 4- CONCLUSÕES

O MCGA-CPTEC reproduziu satisfatoriamente o primeiro padrão de AVP sobre o OAS, o qual foi similar ao visto na análise observacional com a reanálise ERA-40. O número de dias com incursão de AVP em direção à região tropical e de eventos identificados na primeira componente das três inicializações do modelo foram menores do que os identificados no ERA-40. Este fato pode estar associado à menor intensidade do vento zonal na região equatorial no modelo. Outra característica marcante do modelo é a maior intensidade da corrente de jato, a qual pode atuar como uma barreira na propagação de ondas quase estacionárias sobre o OAS (Barbosa et al., 2011).

Tabela 1 – Número de dias (Ne) com  $-1,5$  UVP atingindo  $10^\circ\text{S}$  e média do vento zonal ( $U_m$ ) em 200 hPa.

	MCGA-I18	MCGA-I20	MCGA-I22	ERA-40
Ne	125	110	97	287
$U_m$	7,9	8,1	8,0	11

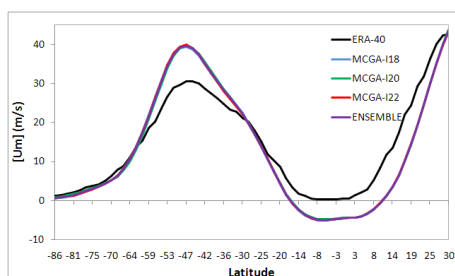


Figura 1 – Média zonal do vento zonal  $[U_m]_z$  (m s<sup>-1</sup>) entre 90°W e 0°.

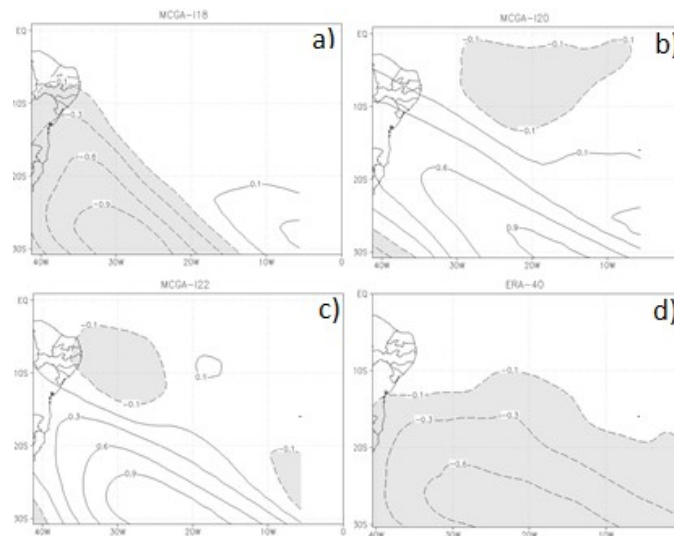


Figura 2 – Padrão Espacial (*loading*) para a CP1. a) MCGA-I18, b) MCGA-I20, c) MCGA-I22, d) ERA-40

Tabela 2 – Correlação entre Número de eventos (Ne), IOS e vento zonal médio na região equatorial ( $U_m$ ) para a CP1.

CP1	MCGA-I18	MCGA-I20	MCGA-I22	ERA-40
Ne X IOS	-0,45	-0,59	-0,49	-0,36
Ne X $U_m$	0,59	0,60	0,61	0,45
IOS X $U_m$	-0,85	-0,86	-0,78	-0,80
Ne	22	22	15	42

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, T.F., RAO, V.B., CAVALCANTI, I.F.A. Interannual variability of high potential vorticity in South Atlantic. **Atmospheric Science Letters**, v. 12, n. 4, p. 368-374, 2011. DOI: 10.1002/asl.352
- CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A. SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A. TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; MANZI, A. O.; TARASOVA, T.; PEZZI, L. P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C. C.; SANCHES, M. B.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.
- HOSKINS, B. J. MCINTYRE, M. E., ROBERTSON, A. W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 111, n. 470, p. 877-946, 1985.
- RAO, V. B., FRANCHITO, S. H., BARBOSA, T. F. Impact of high potential vorticity intrusions into the tropical upper troposphere in South Atlantic on precipitation over northeast Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L06704, doi: 10.1029/2006GL027873, 2007.
- TOMAS, R. A.; WEBSTER, P. J. Horizontal and vertical structure of cross-equatorial wave propagation. **Journal of the Atmosphere Sciences**, v. 51, n. 11, p. 1417 – 1430, 1994.
- UPPALA, S. M. et al. The ERA-40 re-analysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.131, n. 612, p. 2961-3012, 2005.
- WAUGH, D. W; FUNATSU, B. M. Intrusions into the tropical upper troposphere: Three-dimensional structure and accompanying ozone and OLR distributions. **Journal of the Atmosphere Sciences**, v. 60, n. 4, p. 637 – 653, 2003.
- WAUGH, D. W; L. M. POLVANI. Climatology of intrusions into the tropical upper troposphere. **Geophysical of Research Letter**, v. 27, n. 23, p. 3857-3860, 2000.