

Vórtices Ciclônicos Desprendidos em Altos Níveis que Originam-se no Leste do Pacífico Tropical Sul - Parte I : Aspectos Sinóticos Relacionados a sua Formação

María Cleofé Valverde Ramírez

Nelson Jesus Ferreira

Manoel Alonso Gan

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Av. dos Astronautas, 1758 - Jd da Granja - São José dos Campos - São Paulo. CEP: 12227 - 010

e- mails: valverde@met.inpe.br, nelson@met.inpe.br, gan@met.inpe.br

ABSTRACT

The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) daily average reanalysis are used to study the synoptic features associated with formation of two upper tropospheric cut-off low (CL) in the Southeast Pacific Ocean. In the first case CL onset originates within a flow bifurcation at the upper level westerlies. In this context a ridge (R) in the southeast sector and a trough (T) in the northeast sector become part of the bifurcation. The advance of an cyclonic vortice in the southwestern sector of the bifurcation with a strong jet stream amplifies and accelerates R, making T northwest-southeast orientated, intensifying itself and originating the cut-off low. In the second case CL is originated as a remainder of a pre existing bifurcation over the South Pacific Ocean. In the both cases the coldest core of CL is located at 500 hPa, and the enhanced cyclonic vorticity anomaly is located at 300 hPa.

INTRODUÇÃO

Os vórtices ciclônicos de altos níveis caracterizam-se por apresentar um centro mais frio que sua periferia. Eles podem ser classificados como de tipo Palmém e Palmer. Estes tipos diferem um do outro devido ao lugar e época de formação. Os do tipo Palmer originam-se em latitudes tropicais e são mais frequentes no verão. No Brasil, esse tipo de sistema é encontrado na região Nordeste do Brasil. Os aspectos observacionais sobre sua formação e deslocamento foram documentados por Kousky e Gan, (1981), Gan (1982) e Ramírez et al. (1996). Os vórtices do tipo Palmén, formam-se em latitudes subtropicais e são comumente observados no inverno e primavera. Na literatura, eles também são conhecidos como vórtices desprendidos (VDs). Quando um cavado de latitudes médias penetra nos trópicos com uma inclinação meridional bem acentuada, essa inclinação faz com que a sua parte norte, que tem velocidade de deslocamento menor, atrase-se até desprender-se completamente. Consequentemente, forma-se uma circulação ciclônica fechada nessa parte (Palmén, 1949). Weldon (1983) define um tipo de mecanismo de formação para os VDs no Hemisfério Norte chamado de “Roll-over cycle”. Este mecanismo segue o modelo de Palmén, mas os VDs associados originam-se em situações de bifurcação, onde as correntes dos jatos polar e subtropical possuem um papel muito importante. A Figura 1 ilustra este mecanismo de formação adaptado para o Hemisfério Sul.

Os VDs tipo Palmén que afetam a América do Sul geralmente originam-se no Pacífico Sudeste ao sul de 20° S. Tipicamente, após cruzarem a Cordilheira dos Andes, eles deslocam-se sobre a Argentina, Paraguai e Sul do Brasil. Muitas das tempestades severas sobre o Rio de la Plata - Argentina (conhecidas como “Sudestadas”) e sul e sudeste do Brasil tem sido associadas a este tipo de sistemas (Necco, G., 1989; Cavalcanti, I.; 1985, Silva Dias et al, 1991). Existe apenas uma climatologia dos VD's sobre a América do Sul feita por Lourenço (1996), na qual ela descreve os aspectos relacionados ao deslocamento e formação desse tipo de sistema. Neste trabalho serão apresentados dois estudos de caso de VD, dando ênfases ao processo de formação. Acredita-se que toda pesquisa relacionada a um melhor entendimento deste sistema e consequentemente a sua previsão é de grande importância, por ser um sistema que atinge numa escala espacial maior, alterando consideravelmente as condições de tempo sobre países como Chile, Argentina, Uruguai, Paraguai e Sul de Brasil.

DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizadas as médias diárias das componentes zonal e meridional do vento, e temperatura dos dados reanalisados do NCEP (National Centers for Environmental Prediction), para os períodos de 8 a 16 de agosto de 1993, e 19 a 27 de outubro de 1999. Esses dados foram obtidos da homepage <http://www.cdc.noaa.gov> do NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado. A análise sinótica foi feita através da visualização dos campos de

vento, vorticidade relativa, e anomalias espacial de temperatura nos níveis de 250, 300, 500 e 850 hPa . Através destes campos foi possível inferir o tipo de escoamento característico e a intensificação dos sistemas. Os campos foram gerados através da rotina Grid Analysis and Display System (GRADS) (Doty, 1992).

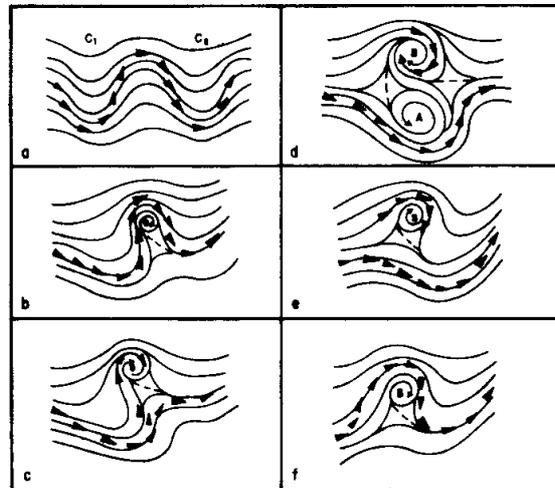


Fig. 1 – Mecanismo de formação “Roll-over cycle”, adaptado para o Hemisfério Sul. As setas indicam ventos fortes associados ao jato nos ventos do oeste (Weldon, 1991).

RESULTADOS: DESCRIÇÃO DOS EVENTOS

Foram analisadas duas situações meteorológicas associadas a presença de VDs. O primeiro deles atuou no período de 8 a 14 de agosto de 1993 e originou-se em 300 hPa, com a circulação fechada estendendo-se até 500 hPa. A configuração do escoamento associado a formação desse vórtice em 300 hPa (Fig. 2), mostra uma bifurcação do escoamento de oeste em torno de 117° W no dia 8. Observa-se também uma crista (C) a sudeste dessa bifurcação e um cavado (CV) a nordeste, próximo do litoral sul do Peru. Uma circulação ciclônica bem configurada (V1) que se estende até 850 hPa (campos não mostrados), localiza-se a sudoeste da bifurcação e um cavado de onda curta (CV1) localiza-se ao sudeste desta. Neste dia, observam-se duas correntes de jato bem definidas, uma com curvatura ciclônica e velocidades de até 70 m/s, em torno de 30-35° S sobre o Pacífico Sul e a segunda entre 35-40° S sobre o Atlântico Sul e parte do continente.

No dia 9 (Fig. 2), tanto V1 quanto C deslocam-se para leste, porém o setor leste de C torna-se mais alongado. A corrente de jato, ainda intensa, estende-se para leste acompanhando o deslocamento da onda (V1/C), contribuindo para que o CV e CV1 se alinhem na direção NW – SE, constituindo um só cavado. Por outro lado, o núcleo da corrente de jato sobre o Atlântico desloca-se para leste formando um novo ramo de ventos relativamente forte a nordeste do CV, perto do litoral sul do Peru.

No dia seguinte, o padrão de onda V1/C continua deslocando-se para leste, onde a crista amplifica-se ainda mais em seu setor sudeste, contribuindo para que o setor sul do cavado se movimente para leste. Desta forma, ocorre o desprendimento de uma parte do cavado e a correspondente formação do VD. O núcleo do jato sobre o Pacífico Sudeste desintensifica-se, mas estende-se espacialmente seguindo a curvatura anticiclônica da crista. O jato sobre o Atlântico Sul desloca-se para leste, mas um novo ramo forma-se sobre sul do Brasil, associado aos ventos fortes (35 m/s) a nordeste do VD. No nível de 500 hPa (não mostrado) a configuração de bifurcação tipo dipolo (VD/alta) está melhor definida.

No dia 11, o VD, totalmente desprendido do escoamento atinge a costa norte e central de Chile. A C amplifica-se e localiza-se ao sul do VD mantendo a bifurcação. O jato do Pacífico Sudeste segue o deslocamento da crista, unindo-se com o jato do Atlântico. Os ventos fortes no setor leste do VD permanecem. No dia seguinte, o VD localiza-se sobre a cordilheira dos Andes no norte do Chile. Os jatos do Pacífico e Atlântico Sul continuam unidos, e a área de ventos fortes ao Nordeste do VD não é mais visível.

No dia 13 observa-se que o VD depois de cruzar a Cordilheira dos Andes, apresenta uma ligeira desconfiguração no escoamento, formando um cavado. No entanto, intensifica-se na vertical podendo ser observado até 850 hPa (não

mostrado). Os jatos no Pacífico e Atlântico continuam unidos, cruzando o sul do continente com um núcleo intenso ao sul da C. No dia seguinte o VD desloca-se um pouco para nordeste atingindo o NE da Argentina, Paraguai e Uruguai. A C movimentou-se mais rápida e localiza-se sobre o Atlântico Sul. No dia 15, o VD localiza-se sobre o sul do Brasil e, pode observar-se o VD novamente fechado. Nos dias seguintes (16 e 17) observa-se apenas um cavado no oceano estendendo-se até 500 hPa.

O campo de vorticidade relativa em 300 hPa (Fig. 3) mostra que antes do fechamento do VD no Pacífico Sudeste (dia 9 a 10), a C intensificou-se (aumenta o núcleo da vorticidade positiva). No dia 10 observa-se a intensificação tanto da C como do VD que ainda continua unido ao CV. Depois de 24 horas, o desprendimento do VD é evidente, a área de forte vorticidade ciclônica está isolada e a crista enfraquece. Os campos de temperatura (não mostrados) confirmam que a anomalia desprendida constituía-se de ar muito frio. Esse vórtice originou-se de uma situação de bifurcação, onde a C nos níveis altos e médios não apresentou uma extensão espacial característica de bloqueio. Entretanto, no nível de 850 hPa detectou-se uma alta associada a C que ao atingir o sul do Brasil adveceu ar frio causando geadas (Climanalise, 1993).

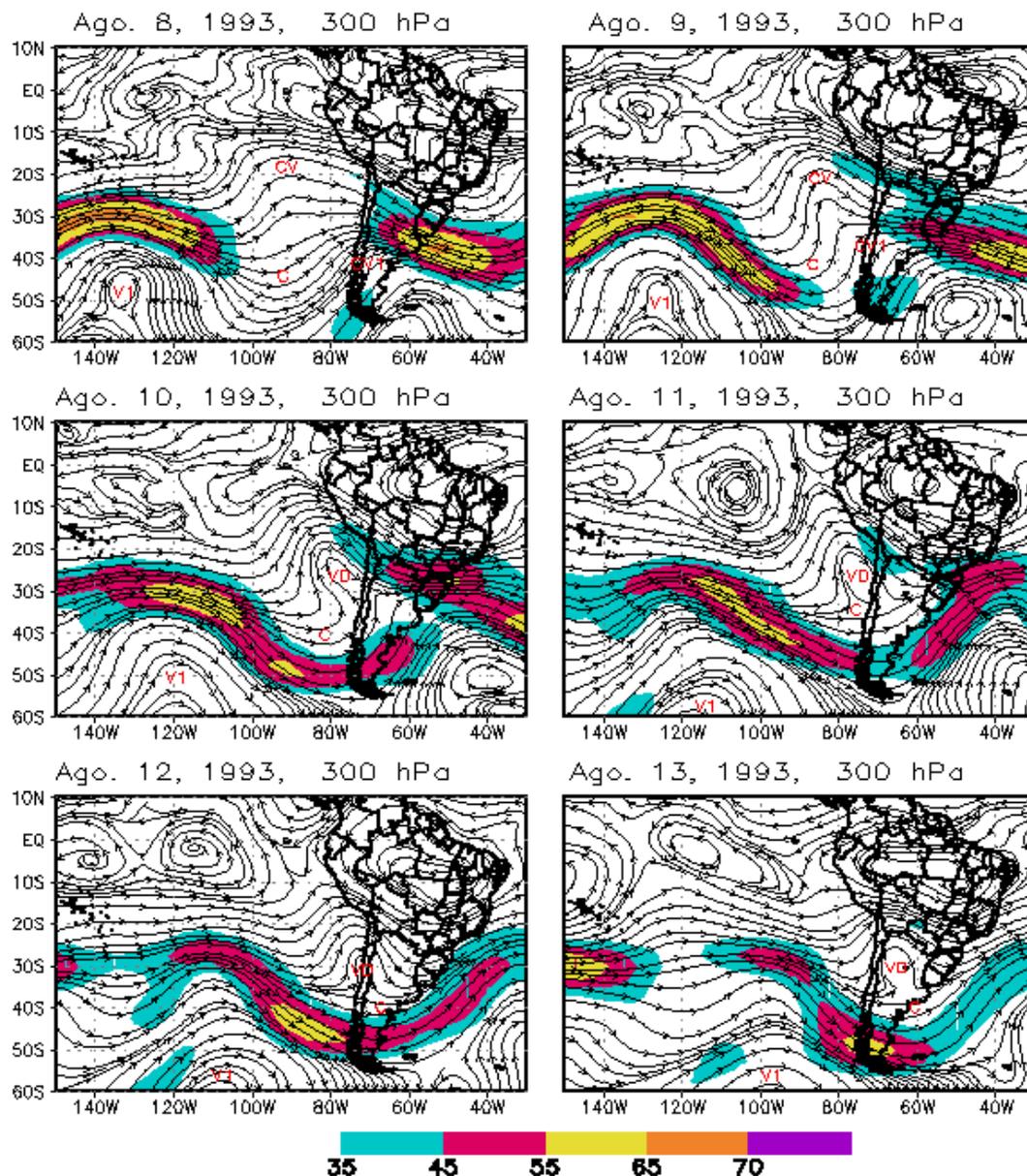


Fig. 2 - Campo de Linhas de Corrente, no nível de 300 hPa, do período do 8 a 16 de agosto de 1993. As regiões coloridas indicam ventos com velocidades acima de 35 m/s.

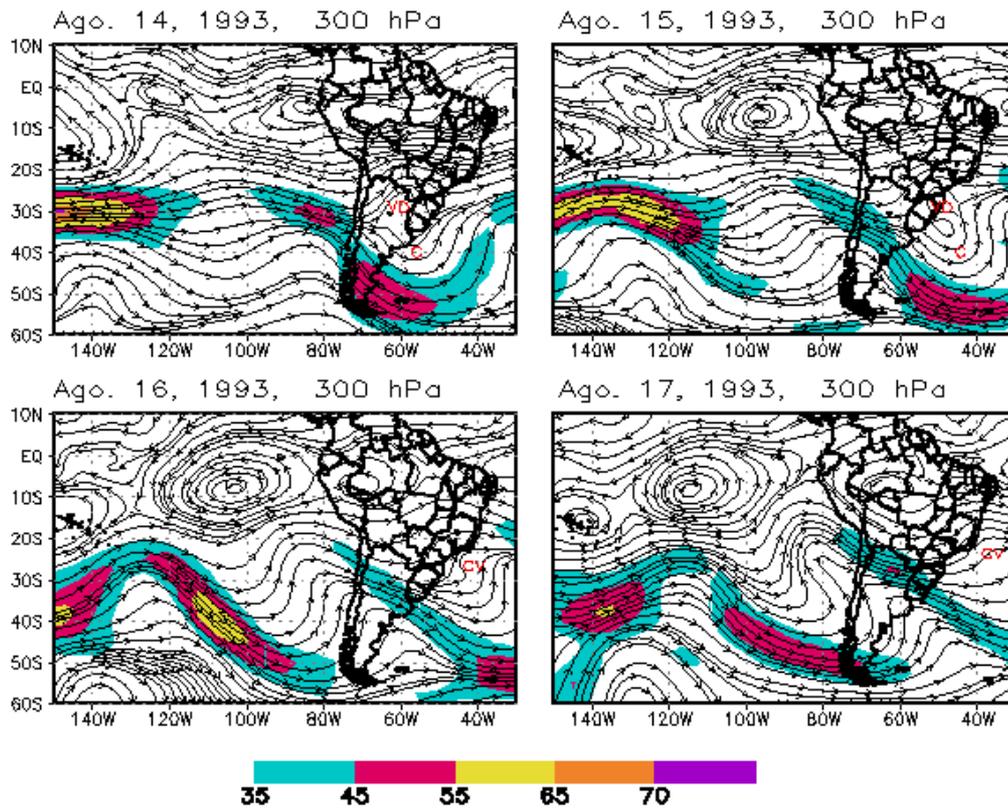


Fig. 2 - Continuação.

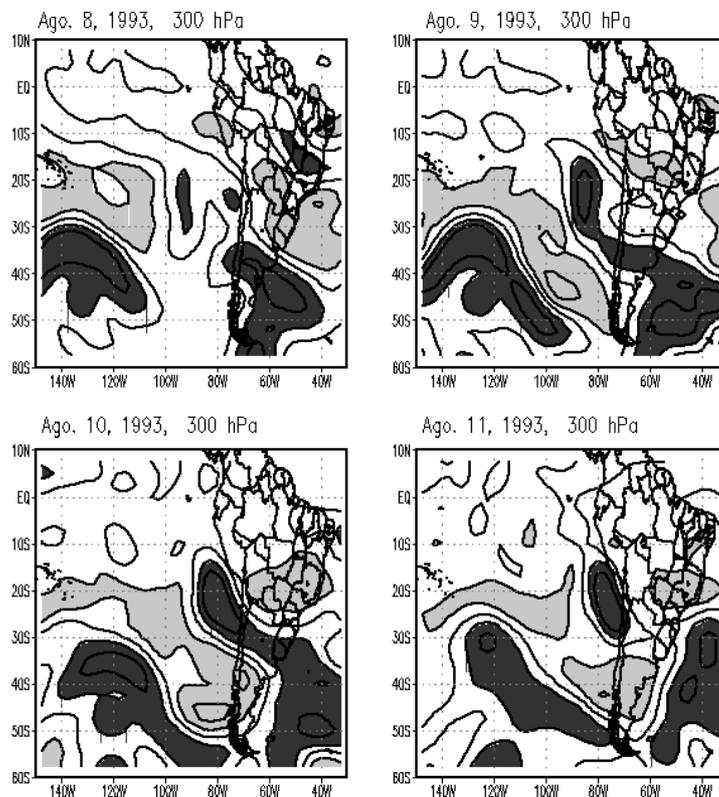


Fig.3 - Campos de vorticidade relativa no nível de 300 hPa. As áreas escuras (claras) indicam valores menores (maiores) que $3 \times 10^{-5} s^{-1}$ ($3 \times 10^{-5} s^{-1}$).

O segundo caso de VD desenvolveu-se no período de 19 a 27 de outubro de 1999 (Fig. 4). Neste caso o VD forma-se da preexistência de uma bifurcação sobre o Pacífico Tropical Sul, entre 12°- 45°S e 90°- 130°W (dia 19), onde a configuração tipo dipolo (C/VD1) associada a bifurcação é observada até 500 hPa (dia 19). Observa-se o jato subtropical na entrada da bifurcação, com o ramo mais intenso (de até 70 m/s) seguindo a curvatura anticiclônica da C. O jato subtropical sobre o Atlântico está ausente, porém observa-se um ramo de ventos fortes (40 m/s) cruzando a costa central de Chile, no setor sudeste do CV, o qual favoreceu na formação do VD1.

No dia 20 a bifurcação adquire uma orientação NW - SE, onde o avanço da circulação anticiclônica (CA), acompanhada do jato intenso em seu setor sul, separa a parte sul do CV do VD1. A área de ventos fortes (40m/s) associado ao CV no Chile Central diminui.

No dia seguinte a bifurcação sobre o Pacífico Tropical Sul desconfigura-se. Entretanto, em seu deslocamento para leste acompanhado do jato polar, CA posiciona-se ao sul do CV, originando o VD. Esta configuração forma uma segunda bifurcação de menor escala sobre o litoral leste do Chile e áreas oceânicas vizinhas. No campo de 500 hPa (não mostrado) a configuração de padrão dipolo está melhor caracterizada.

No dia 22 o VD cruza a cordilheira dos Andes e apresenta uma desconfiguração no escoamento. A bifurcação secundária não apresenta mais o padrão dipolo. No dia 23 observa-se o VD novamente configurado sobre o nordeste da Argentina, estendendo-se até 850 hPa (campos não mostrados). O jato fraco desloca-se para o sul da América do Sul.

No dia 24, aparentemente desconfigurado, o VD localiza-se sobre centro de Argentina. Entretanto, o campo de vorticidade mostra que ele permanece intenso (campo não mostrado). No nível de 850 hPa ele não está mais caracterizado. Posteriormente (dia 26), o vórtice desloca-se sobre continente até alcançar o Uruguai e Sul do Brasil. No dia 27 o VD dissipou-se restando apenas um cavado em altos níveis sobre o oceano Atlântico. Como no caso anterior, a C associada a bifurcação foi observada como uma alta em 850 hPa, causando declínios de temperatura ao se deslocar pelo sudeste de Brasil (Climanalise, 1999).

Os campos de vorticidade relativa (Fig. 5) deste caso também mostra uma intensificação da CA (dia 20): um núcleo de vorticidade anticiclônica é evidente nessa área antes do fechamento do VD. A faixa de vorticidade ciclônica ao norte de CA mostra a união do VD1 com o cavado. Já no dia 21 observa-se a fratura do cavado, onde dois núcleos de vorticidade ciclônicas são evidentes e em um deles formou-se um novo VD. Os campos de temperatura (não mostrados) indicam anomalias frias mais fracas que o caso anterior.

Uma característica comum a ambos os VDs na sua fase inicial, foi a existência de uma área de ventos fortes (35 m/s a 45 m/s) em seu setor Nordeste. Num estudo recente feito por Funatsu (2000), para um estudo de caso de ciclogênese sobre o Sul de Brasil, originado por um VD proveniente do Pacífico, encontrou-se também um jato associado ao vórtice, mas em seu setor norte. A diferença entre esses VDs é que os deste trabalho não causaram ciclogênese em superfície. Uma explicação para a presença e contribuição do jato no setor norte ou nordeste dos VDs foi dado por Bell e Keyser (1990) que analisaram uma baixa despreendida na média troposfera sobre leste dos EUA. Os autores encontraram que na fase inicial do VD existe a propagação de um sistema de jato-onda curta, o qual também ajuda a definir o desprendimento do vórtice. Isto acontece através da conversão de vorticidade potencial de cisalhamento associada ao jato em vorticidade potencial de curvatura associada a forma do cavado.

Características relacionadas a sua estrutura vertical indicaram que para o primeiro caso de VD o eixo do sistema estendendo-se de baixo para cima, apresentou uma inclinação para leste durante todo seu tempo de vida. No segundo caso, o eixo do VD teve uma inclinação com a altura para leste até o dia 23 (fase madura). A partir do dia 24 o eixo alinhou-se na vertical tendo uma estrutura barotrópica equivalente, semelhante ao caso estudado por Funatsu (2000). Além disso, foi observado para os ambos VDs anomalias de temperatura negativas mais intensas em 500 hPa, e anomalias de vorticidade mais negativa em 300 hPa. Esta característica também foi observada nos vórtices de origem tropical (Gan, 1982, Ramirez et al. 1998)

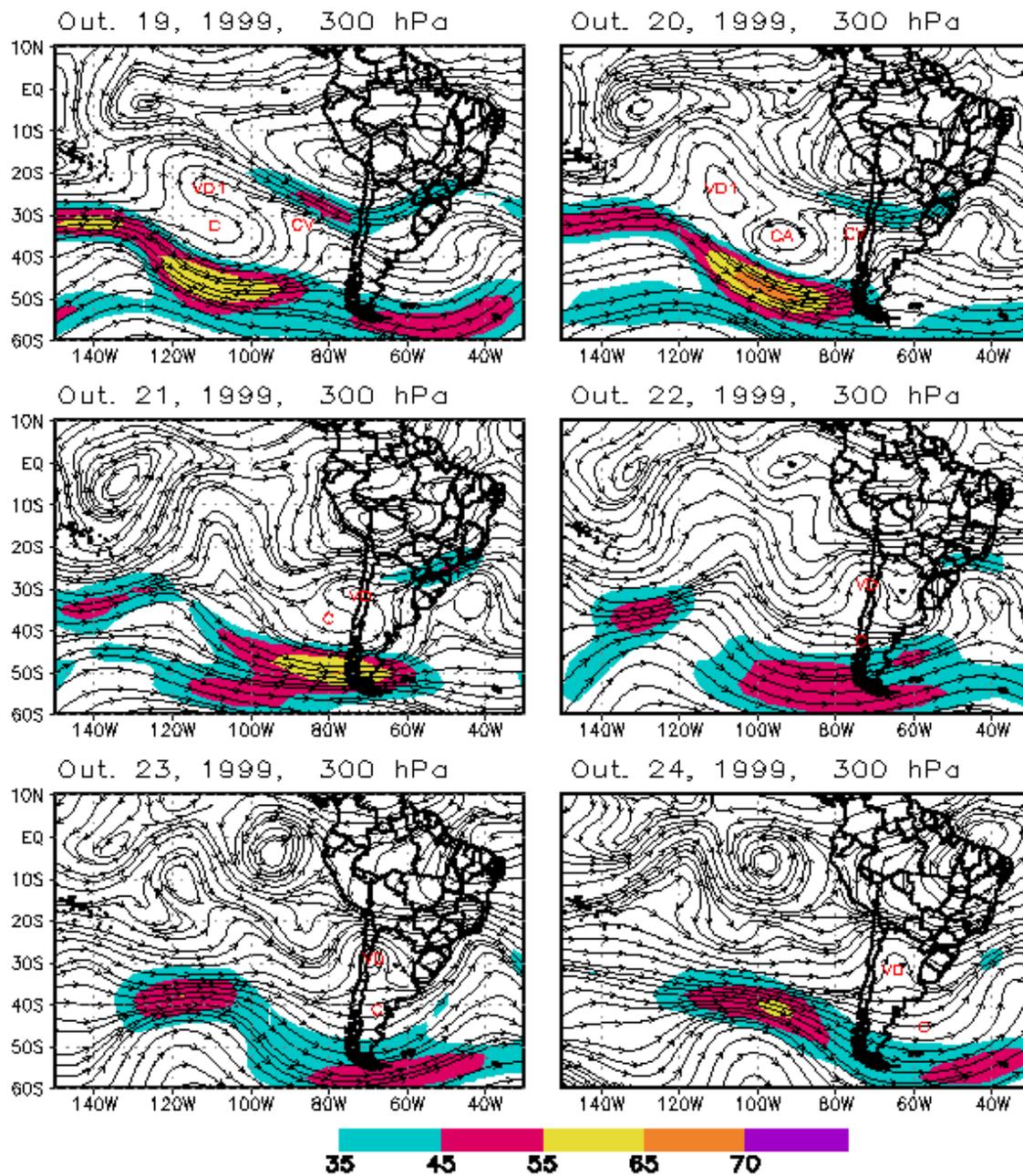


Fig. 4 - Campo de Linhas de Corrente, no nível de 300 hPa, do período do 19 a 27 de outubro de 1999. As regiões coloridas indicam ventos com velocidades acima de 35 m/s.

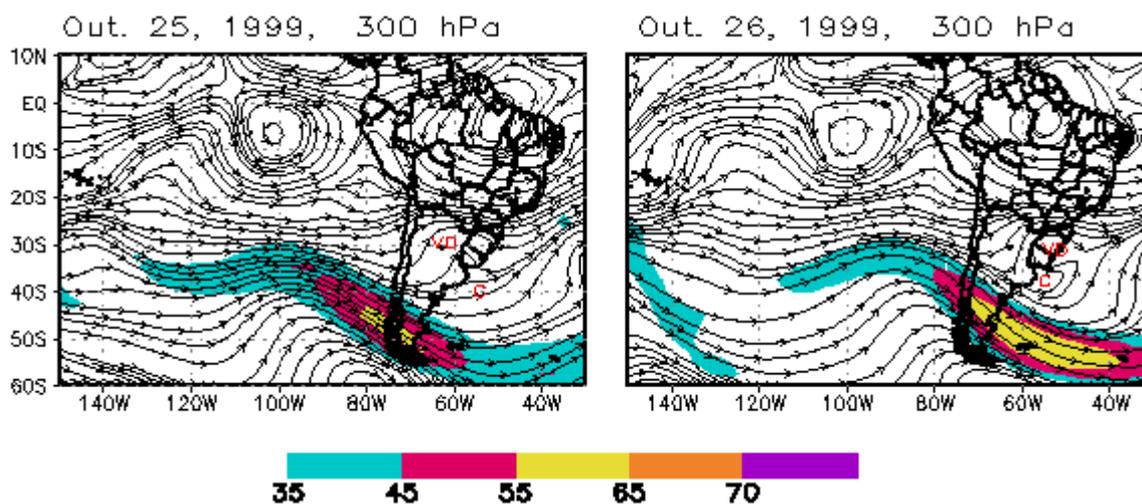


Fig. 4 – Continuação.

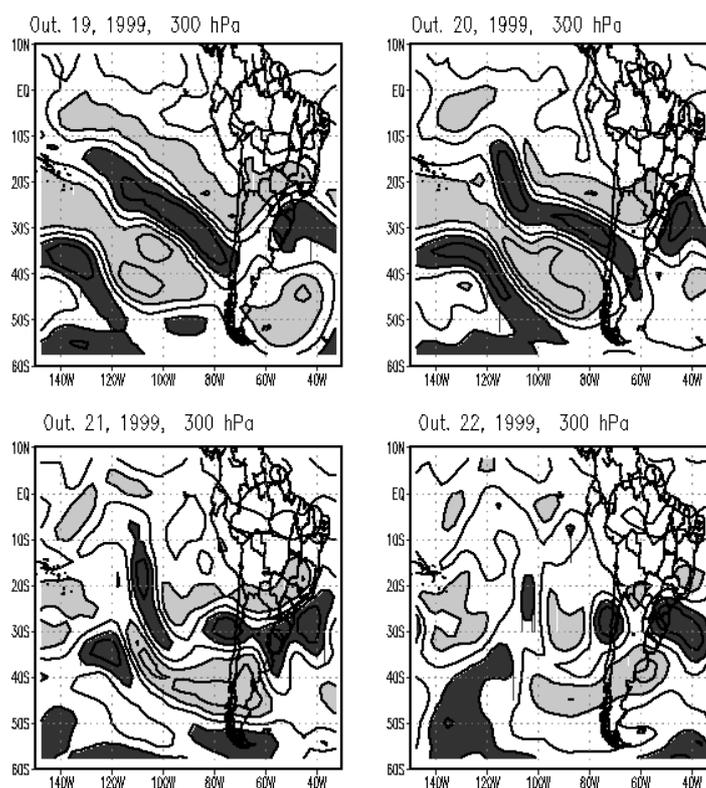


Fig.5 - Campos de vorticidade relativa no nível de 300 hPa. As áreas escuras (claras) indicam valores menores (maiores) que $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ($3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$).

CONCLUSÕES

Os dois casos de VD apresentados neste trabalho ilustram um mecanismo de formação em concordância com Palmén (1949). Desta forma, ocorre um deslocamento rápido do setor sul do cavado, devido a amplificação da crista, tal que o setor norte do mesmo fica defasado e ocorre o desprendimento de ar frio. No entanto, na presente situação, o cavado frio formou parte de um padrão de escoamento característico de bifurcação, acompanhado da ramificação do jato como referenciado por Weldon (1991).

No primeiro caso, o avanço de uma circulação ciclônica (V1) que estende-se até 850 hPa a sudoeste da bifurcação, e a presença de um jato intenso no seu setor norte, contribuíram para a intensificação e a amplificação da C. Isto deslocou o setor sul do cavado para leste até desprender-se de seu setor norte. Assim, ocorreu uma fratura do cavado que originou o VD. Em escala sinótica geralmente os jatos incrementam o gradiente horizontal de temperatura, cisalhamento do vento e vortacidade relativa, corrente acima do cavado do qual fazem parte. Neste estudo, o jato com curvatura ciclônica contribuiu para a intensificação da vortacidade ciclônica corrente abaixo de V1 (Fig. 4, dia 9), onde por sua vez o jato ao se estender anticiclonicamente ao redor da crista também contribuiu para a intensificação da vortacidade anticiclônica corrente acima da crista, amplificando-a. Isto contribuiu para a intensificação do setor norte do cavado dando origem ao VD. Dinamicamente este mecanismo de transporte de energia do jato para a onda pode ser explicado através da teoria de conservação da vortacidade potencial (Bell e Bossart, 1993).

O segundo caso analisado, exceto pela escala espacial envolvida e pela presença de uma bifurcação já existente, é similar ao anterior. Observou-se que a amplificação e a intensificação da C associada a intensificação do jato contribuiu para a formação do VD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BELL, G. D. E BOSART, L.F. A case study diagnosis of the formation of an upper-level cut off cyclonic circulation over the eastern United States. **Monthly Weather Review**, V.121, n.6, p.1635-1655, 1993.
- CAVALCANTI, I. **Casos de intensa precipitação nas regiões sul e sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983**. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3743-RPE/498).
- DOTY, B. E. **Using the grid analysis and display system**. Center for ocean-land-atmosphere Interactions (COLA), Maryland, University of Maryland. Jan. 1992.
- FUNATSU, M.B. **Estudo sinótico dinâmico de uma ciclogênese usando vortacidade potencial**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 2000. (INPE-7264-TDI/706).
- GAN, M.A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2685-TDL/126).
- KOUSKY, V. E.; GAN, M.A; Upper Tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 36(6):538-551. 1981.
- LOURENÇO, M.C. **Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis que atuam no sul da América do Sul**. Dissertação de mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996. No Prelo.
- NECCO, G. Extratropical Weather System in South-America. **Fourth International Conference on Southern Hemispheres Meteorology and Oceanography**, Buenos Aires, 1989.
- PALMÉM, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. **Tellus**, 1: 22-31, 1949.
- RAMÍREZ VALVERDE, M.C.; KAYANO, M.; FERREIRA, N.J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. **Atmosfera**, 12: 75-88, 1999.

SILVA DIAS, M.A; GRAMMELSBACHER, E.A. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de Abril de 1991; um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 6(1-2), 1991.

WELDON, R. AND HELMES, S. Water Vapor Imagery. Interpretation and Applications to weather Analysis and Forecasting. **NOAA Technical Report Nesdis 57**. Washington. April, 1991.