

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Continuação do estudo sobre a influência dos Vórtices
Ciclônicos de Altos Níveis na atmosfera de verão do
Centro de Lançamento de Alcântara

Bolsista: Bruna Ferreira Ramim

Orientador(a): Rosa de Fátima Cruz Marques

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2016 a Julho de 2017

Resumo

Neste estudo visaram-se analisar as características dos episódios de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) que influenciaram na atmosfera de verão do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Estes sistemas foram identificados no estudo precursor deste. Foram analisadas as características como extensão vertical, distância em relação ao CLA e deslocamento deste sistema meteorológico, bem como sua influência nas anomalias diárias de precipitação para o período estudado. Os VCANs analisados neste período seguiram o proposto pela literatura, sendo que sua extensão vertical foi em média desde o nível de 200 hPa até o nível de 600 hPa, e episódios de El Niño ou La Niña influenciaram esta característica, estendendo-os a níveis inferiores ou confinando-os a níveis mais altos, respectivamente. Observou-se no geral que o posicionamento do VCAN em relação ao CLA culminou em distintos padrões de anomalias na precipitação: quanto mais ao centro (borda) do VCAN estava o CLA, mais negativas (positivas) foram às anomalias observadas na precipitação diária. Existiram casos onde não foram observadas anomalias na precipitação diária. O deslocamento da maioria dos vórtices analisados foi para oeste, e observou-se inclinação para oeste conforme a altura, e em alguns casos, alinhamento vertical. Identificou-se a atuação da Alta da Bolívia (AB) em alguns dos vórtices, influenciando em seu deslocamento, e algumas configurações de frente foram observadas nos níveis baixos. Percebeu-se a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e um anticiclone em altos níveis em alguns casos, confirmado pelo Boletim Climanálise do CPTEC/INPE.

1. Introdução

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) são sistemas meteorológicos caracterizados por centros de pressão relativamente baixos que se originam na alta troposfera e podem se estender até os níveis médios (Kousky e Gan, 1981). Conforme observado por Aragão em 1975, os VCANs estendem-se desde o nível de 200 hPa até o nível de 700 hPa. Em geral, a circulação do vórtice inclina-se para oeste com a altura (Ramirez, 1996), concordando com as observações de Johnson e Snook, 1983, que também observaram que algumas vezes a circulação do vórtice é alinhada na vertical. Ramirez também observou que nos verões de El Niño (1982 – 1983; 1986 – 1987) os VCANs apresentaram maior extensão vertical da circulação fechada, atingindo o nível de 500 hPa, e nos verões de La Niña (1984 – 1985; 1988 – 1989) os VCANs ficaram confinados na alta troposfera. Os VCANs são conhecidos por sua ambiguidade, uma vez que podem produzir acumulados significativos de chuva, justificados pela convecção gerada em sua periferia, e também podem impedir a formação de nuvens e conseqüentemente precipitação, devido ao fato de que há movimento descendente de ar frio e seco em seu centro (Costa, 2009). A formação da maioria dos VCANs acontece na área que abrange a costa do NEB e Oceano Atlântico Sul adjacente (Gan, 1983). A origem e manutenção desses sistemas meteorológicos podem ser atreladas, dentre outros, à intensificação da crista associada à Alta da Bolívia (AB) (Kousky e Gan, 1981).

O CLA apresenta uma climatologia de precipitação bem definida com o período chuvoso se estendendo de janeiro a junho, sendo que, os meses de março e abril apresentam o maior acumulado de precipitação, em torno de 350 mm. Para o período seco, os meses de agosto a novembro compõem esse período, sendo julho e dezembro, os meses de transição (Marques e Baungartner, 2008).

O estudo precursor deste foi motivado pela forma como este sistema influenciou diretamente o tempo no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), inibindo a precipitação no experimento “Chuva” (<http://gpmchuva.cptec.inpe.br>), realizado em março de 2010. O período analisado foi de cinco verões (dezembro, janeiro e fevereiro), dos anos de 2002 a 2007, estação na qual há maior frequência de ocorrência desses sistemas no Nordeste Brasileiro (NEB) (Ramirez, 1996). Neste período detectou-se a atuação de VCANs no CLA

em um total de 100 dias. Assim, neste estudo objetiva-se analisar as características destes VCANs atuantes na atmosfera de verão do CLA, identificados no período estudado, tais como: extensão vertical, distância em relação ao CLA, sua inclinação com a altura, deslocamento e influência na anomalia de precipitação no CLA, e, assim, compará-los com as características gerais dos sistemas atuantes em outras regiões do NEB.

2. Materiais e métodos

Os dados utilizados neste estudo foram as componentes horizontais do vento (u e v) com frequência temporal de 6 horas, dos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) dos anos de 2002 a 2007. Estes dados são de reanálises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) disponibilizados em (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>) (Kalnay et al., 1996; Kistler et. al., 2001). Os dados estão disponíveis para o período de 1948 até o presente, nos vários níveis de pressão e estão dispostos em uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude por longitude. Utilizou-se também, os dados de precipitação diária do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) (Huffman et. al., 2001), versão 1.2; este conjunto de dados contém o valor da precipitação diária acumulada, considerando uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude por longitude. Estão disponíveis para o período de outubro de 1996 até o presente, com 2-3 meses de atraso para coleta e processamento de dados, e podem ser acessados em (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds728.3/>).

Os campos de vorticidade relativa, precipitação e anomalia de precipitação foram gerados por meio do software Grid Analysis and Display System (GrADS), disponível em (<http://opengrads.org/index.php>). Para os campos de vorticidade relativa utilizaram-se os diferentes níveis de pressão, em todos os pontos de grade no domínio de 55°W - 10°W , 10°N - 30°S , apenas para às 18 GMT (este horário foi escolhido por representar ao máximo a convecção do período diário). Os distintos níveis de pressão (200 hPa, 300 hPa, 400 hPa, 500 hPa, 600 hPa e 700 hPa) foram utilizados para identificar a extensão vertical dos VCANs. A borda do sistema foi considerada como a isolinha da vorticidade relativa de $-2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (Silva, 2005). Os campos gerados para o nível de pressão de 200 hPa foram utilizados também para calcular a distância do CLA em relação aos VCANs, sendo que primeiramente

identificado se o CLA estava próximo da borda ou do centro do VCAN, e assim calculou-se sua distância da borda ou do centro, respectivamente. Para este cálculo utilizou-se da ferramenta de retas no software PowerPoint, que possibilitou estimar a latitude e longitude do centro ou borda do VCAN. Sabendo-se a latitude e longitude do CLA, utilizou-se o software Excel para calcular as distâncias, utilizando-se a aproximação de que nas proximidades da Linha do Equador (aproximação razoável para a localização do CLA) um grau de latitude é aproximadamente igual a um grau de longitude, que é aproximadamente igual a 110 km. Com as distâncias horizontais e verticais calculadas e utilizando-se o teorema de Pitágoras, calculou-se a distância em linha reta do CLA à parte atuante do VCAN. As figuras geradas foram somente para um horário das 18 GMT, sendo assim, alguns dias identificados anteriormente com atuação de VCANs no CLA, devido à atuação desses sistemas nos demais horários analisados, foram desconsiderados neste estudo.

Geraram-se os campos de precipitação e de anomalia de precipitação (a sobreposição dos campos de precipitação e vorticidade relativa não se pôde fazer devido à diferença de pontos de grade na composição dos dados de vento e de precipitação; assim, analisou-se com os dois campos simultaneamente) plotando-se os dados do GPCP, em todos os pontos de grade no domínio de 60°W - 10°W , 3°N - 20°S . A troca do domínio melhorou o foco na área de interesse e os campos de vorticidade, mencionados acima, foram refeitos para este domínio. Na geração dos campos de precipitação utilizaram-se os dias em que houve atuação de VCAN no CLA (às 18 GMT). Para os campos de anomalia de precipitação, primeiramente realizou-se uma climatologia para cada dia em que foi identificada atuação de VCAN no CLA. Para esta climatologia utilizou-se média da precipitação diária do dia de interesse para os anos disponíveis nos dados do GPCP: para dias no mês de dezembro, de 1996-2014; para dias nos meses de janeiro e fevereiro, de 1997-2015.

3. Resultados

O estudo dos VCANs do período analisado mostrou, em muitos casos, a presença da Alta da Bolívia (AB), como já identificado no estudo anterior, mas também a presença de configuração de sistemas frontais, pois a formação clássica desse sistema é devido à intensificação da crista associada à AB, decorrente da incursão de sistemas frontais para

latitudes baixas (Kousky e Gan, 1981). Os VCANs estendem-se, em média, desde o nível de 200 hPa até o nível de 600 hPa, conforme proposto na literatura (Aragão, 1975). Os VCANs dos anos de 2002 – 2003 (anos com evento de El Niño moderado, de acordo com [2]), em sua maioria, se estenderam até os níveis de 500 e 600 hPa. Os VCANs do ano de 2007 (ano com evento de La Niña moderado, de acordo com [2]), em sua maioria, ficaram confinados nos altos níveis, nos níveis de 300 e 400 hPa, concordando com os resultados de Ramirez, 1996. A maioria dos VCANs analisados neste período apresentou deslocamento para oeste, concordando com a literatura. A figura 1 apresenta um exemplo da análise da extensão vertical dos VCANs, para o dia 15 de janeiro de 2007, às 18 GMT. Pode-se observar nesta figura que a circulação fechada do vórtice é encontrada apenas nos níveis de 300 e 400 hPa, podendo-se observar uma inclinação para oeste com a altura. Observa-se ainda no nível de 200 hPa, altos níveis, um anticiclone. De acordo com o Boletim do Climanálise do CPTEC/INPE para o mês de janeiro, disponível em [3], este dia faz parte de um longo episódio de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) observado naquele mês; as configurações de um anticiclone em altos níveis e a ZCAS ao sul estão associadas a um deslocamento regular do VCAN (Ramirez, 1996).

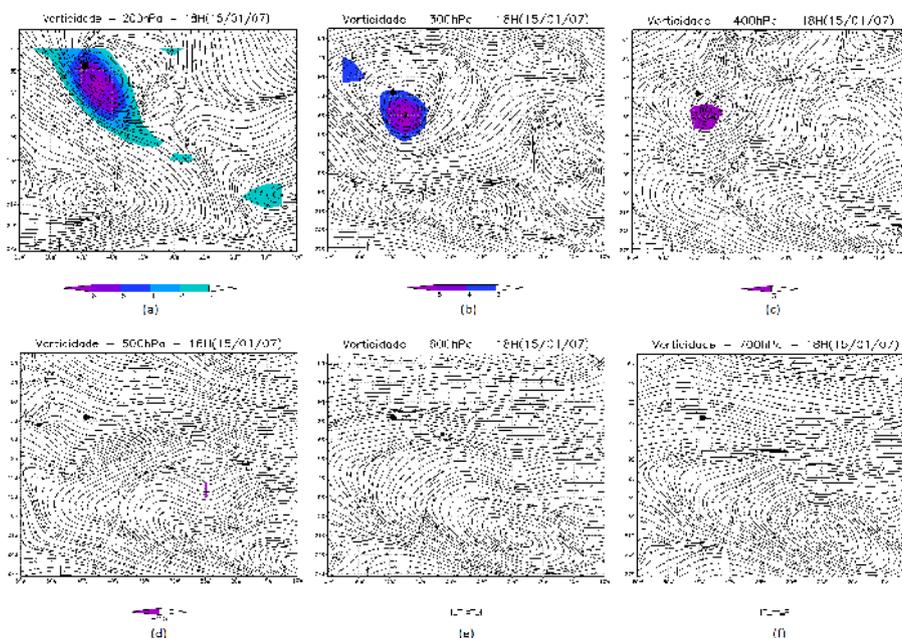


Figura 1 – Campo de vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), para o dia 15 de janeiro de 2007, ao nível de 200, 300, 400, 500, 600 e 700 hPa (a, b, c, d, e, f, respectivamente).

A figura 2 apresenta o deslocamento do mesmo VCAN da figura 1, onde se pode observar o deslocamento para oeste do VCAN. A figura 3 mostra a distância do VCAN em relação ao CLA. Pode-se perceber que o CLA (destacado pelo ponto preto) está localizado próximo ao centro deste VCAN, concordando com trabalhos anteriores, pois o acumulado diário de precipitação para este dia, foi de 0,0131981 mm (precipitação quase nula, uma vez que corresponde ao acumulado diário), visto que no centro deste sistema meteorológico a precipitação é inibida. A distância da parte da borda do VCAN mais próxima do CLA está representada pela linha amarela; as linhas vermelhas representam a latitude e longitude da borda, neste caso, 3,5°S e 48°W.

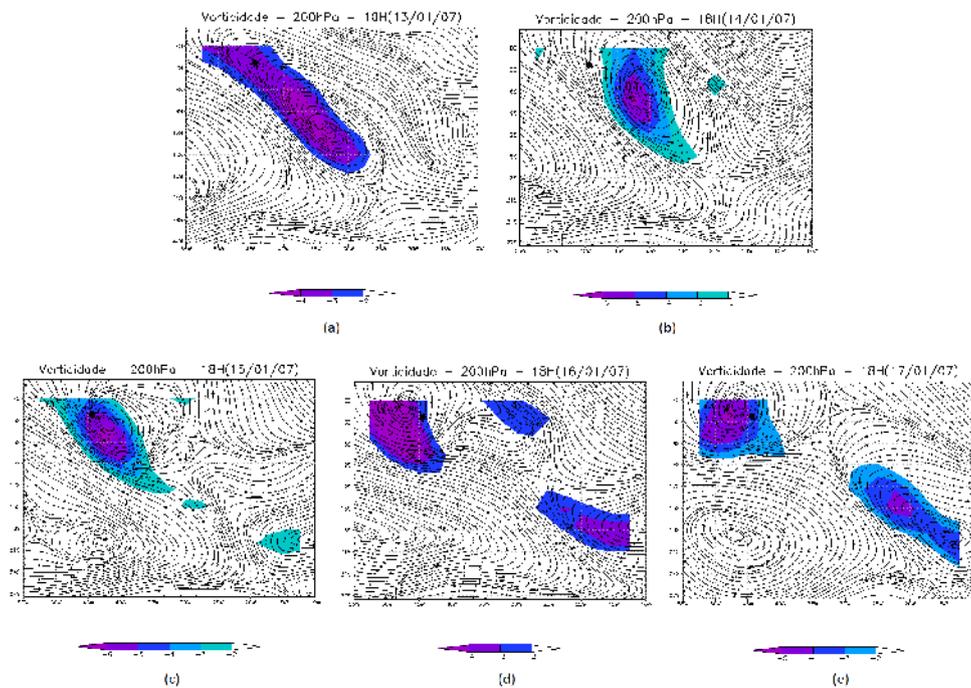


Figura 2 – Campo de vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), para os dias 13, 14, 15, 16 e 17 de janeiro de 2007, ao nível de 200 hPa (a, b, c, d, e, respectivamente).

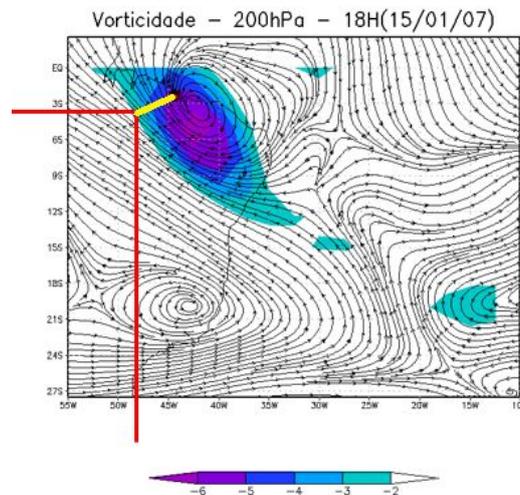


Figura 3 – Campo de vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), para o dia 15 de janeiro de 2007, ao nível de 200 hPa.

Com as distâncias calculadas e dispondo dos totais acumulados de precipitação diária, conforme o esperado observou-se que quanto mais distante do centro, ou seja, mais perto da borda do sistema maiores são as chances de precipitação e maiores são os acumulados de precipitação. A distância mínima estimada do CLA em relação aos centros dos VCANs para ocorrer precipitação é de 209 km e a distância mínima estimada do CLA em relação às bordas dos VCANs para se observar acumulados de precipitação é de 416 km.

A análise dos campos de anomalia da precipitação em conjunto com os campos de vorticidade relativa mostrou que, na maioria dos casos, quanto mais ao centro (borda) do VCAN o CLA está posicionado, mais intensa é a anomalia negativa (positiva) de precipitação. Em alguns casos, o posicionamento do CLA em relação ao VCAN não ocasionou anomalias na precipitação diária. As figuras a seguir mostram os campos de vorticidade (fig. 4a e 5a), precipitação (4b e 5b) (os verdes mais escuros e as cores mais vermelhas representam maiores acumulados de precipitação) e anomalia de precipitação (4c e 5c) (os valores negativos (positivos), nas cores mais azuladas (vermelhas), para exemplificar os resultados discutidos. A figura 4 apresenta os campos gerados neste estudo para o VCAN já discutido acima; nela podemos observar o CLA posicionado perto do centro do VCAN (4a) confirmando a inibição da precipitação ocasionada por este posicionamento, pouca precipitação acumulada (4b), atrelada a estas observações uma anomalia negativa da precipitação diária (4c, ~10mm abaixo da média climatológica para os anos de 1997-2015).

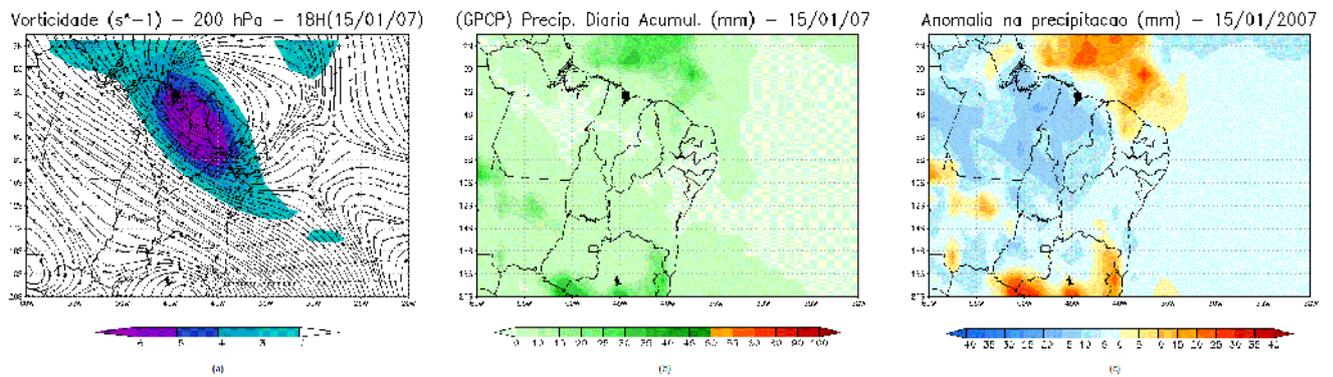


Figura 4 – Campos de vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), precipitação diária acumulada e anomalia na precipitação diária (a, b, c respectivamente), para o dia 15 de janeiro de 2007.

A figura 5 apresenta os campos gerados neste estudo para o VCAN atuante no CLA no dia 08 de fevereiro de 2007. Nesta figura podemos observar o CLA posicionado próximo à borda do VCAN (5a), confirmando a precipitação ocasionada por este posicionamento; valores altos de precipitação acumulada (5b), atrelado a estas observações uma anomalia positiva da precipitação diária (5c, $\sim 10\text{mm}$ acima da média climatológica para os anos de 1997-2015).

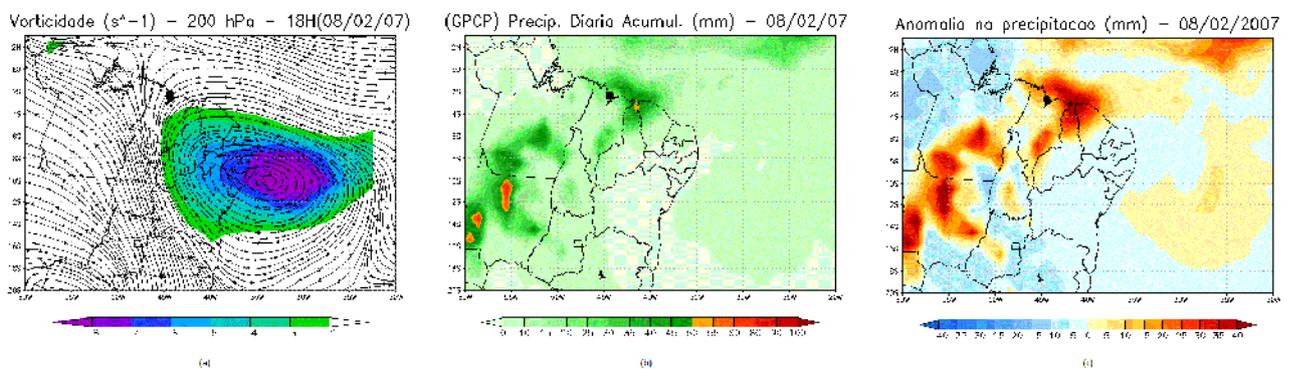


Figura 5 – Campos de vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), precipitação diária acumulada e anomalia na precipitação diária (a, b, c respectivamente), para o dia 08 de fevereiro de 2007.

4. Conclusões

Os VCANs estudados neste período apresentam extensão vertical, em média, do nível de 200 hPa até o nível de 600 hPa, conforme proposto na literatura (Aragão, 1975). Em alguns anos observou-se uma tendência de o VCAN estar mais confinado aos altos níveis ou se estender a níveis mais inferiores, podendo isto estar relacionado aos episódios dos fenômenos La Niña e El Niño, respectivamente. A maioria dos VCANs apresenta inclinação para oeste com a

altura, e alguns apresentaram alinhamento vertical. O deslocamento da maioria dos vórtices analisados é para oeste, conforme a literatura. Os VCANs encontrados estão, em sua maioria, a leste e ao norte do CLA; em alguns casos, os VCANs estão a oeste e ao sul do CLA. No geral, quanto mais na borda ou próximo dela, e desse modo mais longe do centro do VCAN, estava o CLA, mais intensos foram os acumulados de chuva e mais positivas foram as anomalias observadas na precipitação diária; quanto mais no centro do VCAN estava o CLA, menores foram os acumulados de chuva e mais negativas foram as anomalias observadas na precipitação diária. Em muitos dos casos estudados existiu a presença da AB em altos níveis, e nos níveis mais inferiores pode-se notar uma configuração de sistema frontal. Estes sistemas, bem como a ZCAS, interferem na formação e deslocamento do VCAN, e podem influenciar em sua extensão vertical.

Referências

[1] Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/experimentos-sobre-dados-meteorologicos-no-cla/>> e <<http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/alcantara/local.html>>

[2] Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>

[3] **Boletim Mensal Climanálise**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) (www.cptec.inpe.br/climanálise).

Aragão, J. O. R. **Um estudo a estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. 219 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos, 1975.

COSTA, S. B. **Balanços de vorticidade e energia aplicados aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no Oceano Atlântico Tropical Sul e adjacências**. 2009. 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil**. 1983. 80p. Dissertação

(Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1983.

HUFFMAN, G. J.; MORRISSEY, M., BOLVIN, D. T.; JOYCE, R.; MCGAVOCK, B.; SUSSKIND, J. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 2, p. 36-50, 2001.

JOHNSON, D. R.; SNOOK, J. S. A quasi-Lagrangian analysis of the mass and angular momentum balance of an upper troposphere vortex over eastern Brazil. American Meteorological society. p. 210-214, 1983.

KALNAY et al., The NCEP/NCAR 40 – year reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 77, No.3, pp.437-471, 1996.

KISTLER, R. et.al, The NCEP-NCAR 50 – year reanalysis: monthly means CD-rom and documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol.82, No. 2, pp. 247-267, 2001.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, p. 538-551, 1981.

MARQUES, R. F. C.; BAUNGARTNER, C. As Influências da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Centro de Lançamento de Alcântara. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1996. 132p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

SILVA, L. A. **A influência do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.