

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: 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 2015 a Julho de 2016

### Resumo

Este estudo objetivou identificar a atuação e influência dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), formados no Nordeste Brasileiro, na nebulosidade e/ou precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Utilizaram-se dados das componentes do vento horizontal, ao nível de 200 hPa, para os meses de verão austral de 2002 a 2007 (cinco verões). Identificou-se um significativo total de dias (100 dias) com atuação direta desses sistemas no CLA. Observou-se que ocorreram casos nos quais esses sistemas foram deslocados e/ou escoados para o CLA através da atuação da Alta da Bolívia e, em alguns desses casos, existiu uma co-atuação de um Sistema de Alta Pressão de Altos Níveis. A maioria dos verões estudados (três dentre os cinco verões) não teve janeiro como mês de maior atuação dos VCANs, supostamente contrário ao indicado pela literatura (Ramirez, 1997), porém, é preciso considerar que apenas os dias com atuação desses sistemas especificadamente no CLA foram contabilizados. Através da análise de imagens de satélite, foi observado que um VCAN é bem definido por seu centro e sua periferia, onde, respectivamente, se observa pequena e grande nebulosidade. A análise da precipitação no período considerado neste estudo mostrou que, em média, no mês de dezembro, 20% dos dias com precipitação e 40% dos dias sem precipitação no CLA podem ser associados à atuação da periferia e do centro de um VCAN, respectivamente. Para janeiro, 18% e 31%, respectivamente; e para fevereiro, 15% e 5%.

## 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 a níveis inferiores (Kousky e Gan, 1981). Os VCANs são conhecidos por sua ambiguidade, uma vez que podem produzir acumulados significativos de chuva, justificados pela convecção gerada em sua periferia, mas 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 adjunto (Gan, 1983). A origem e manutenção desses sistemas meteorológicos podem ser atreladas, dentre outros, à intensificação da crista associada à Alta da Bolívia (AB), segundo Kousky e Gan (1981).

A motivação desse estudo foi à forma como esse sistema meteorológico 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 no CLA; o objetivo do experimento citado seria a medição e posterior análise de vários elementos meteorológicos coletados no mês mais chuvoso no CLA, março. Localizado na cidade de Alcântara, no estado do Maranhão, o CLA é caracterizado por um regime de chuvas bem definido mesmo sofrendo influência de vários sistemas atmosféricos distintos, tais como, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e os VCANS, objeto da pesquisa. O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro e junho, sendo os meses de março e abril os mais chuvosos; e um período seco que acontece entre os meses de agosto e dezembro, sendo o mês de julho um mês de transição entre esses períodos (Marques e Baungartner, 2008).

Assim, neste estudo, o objetivo foi verificar a influência dos VCANs na atmosfera do CLA, focando nebulosidade e precipitação, no período de cinco verões, estação de maior ocorrência, sobretudo no mês de janeiro (Ramirez, 1997), de 2002 a 2007.

## 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° x 2,5° de latitude por longitude. Os campos de vorticidade relativa foram gerados através do software Grid Analysis and Display System (GrADS), disponível em (<http://opengrads.org/index.php>), utilizando o nível de 200 hPa. A vorticidade relativa foi calculada de 06 em 06 horas em todos os pontos de grade no domínio de 55°W-10°W, 10°N-30°S. A borda do sistema foi considerada como a isolinha da vorticidade relativa de  $-2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  (Silva, 2005).

Os VCANs obtidos foram confirmados pelos boletins mensais do Climanálise do CPTEC/INPE, onde era indicado em quais dias houve registro de VCAN. Dispondo dos dias onde foi identificado um VCAN nos domínios do CLA, e utilizando totais diários de precipitação do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) (Huffman et. al., 2001) do período estudado, foi possível obter uma estatística relacionada à atuação do VCAN na precipitação no CLA. A partir de imagens de satélite (IS) do GOES-8 (de 2002 a 2006) e GOES-12 (para 2007), no canal infravermelho, foi analisada como a nebulosidade no CLA é influenciada pela atuação de um VCAN. As IS do GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) foram obtidas através do acervo de imagens do CPTEC/INPE (<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>).

## 3. Resultados

Os campos de vorticidade relativa obtidos através do software GrADS em conjunto com os boletins do Climanálise mostram que no período dos cinco verões estudados, o total de dias em que houve atuação do sistema VCAN no CLA foi de 100 dias. Em oposição ao proposto pela literatura para o NEB (Ramirez, 1997), em três dos cinco verões analisados o mês de



janeiro não apresenta o maior número de dias com atuação de VCANs; todavia, é necessário se atentar ao fato de que foram contabilizados no total de dias apenas aqueles nos quais havia atuação de VCAN no CLA, desconsiderando a atuação do sistema no restante do NEB.

Dentre os três verões citados anteriormente, destaca-se que em um deles o mês com maior número de dias com atuação de VCANs foi fevereiro (ano 2006), com um total de 14 dias com atuação do sistema no CLA, resultado contrastante com o restante dos verões estudados, nos quais o mês de fevereiro apresenta o menor número de dias com atuação de VCANs no CLA. Para fevereiro de 2007 contabilizou-se dois dias; fevereiro de 2005 um dia de atuação de VCAN e sendo, fevereiro de 2003 e 2004 sem registro de atuação desse sistema.

Ressalta-se que os meses de dezembro de 2002, 2003 e 2006 foram os meses com VCANs, relativamente, bastante duradouros: 10, 15 e 14, respectivamente. Entretanto, em janeiro de 2006, ocorreu o VCAN com maior duração nas proximidades do CLA, um total de 21 dias, tornando esse verão (dezembro de 2006, janeiro e fevereiro de 2007) o com maior número de dias de atuação do sistema em estudo.

Os dados analisados de precipitação no CLA indicaram que, no período estudado, os VCANs influenciaram em 17% dos dias com precipitação diferente de zero e em 29% dos dias com precipitação nula. Na média mensal, a influência desses sistemas na precipitação foi de 20% nos dias com precipitação e 40% nos dias sem precipitação, no mês de dezembro; 18% nos dias com precipitação e 31% nos dias sem precipitação, no mês de janeiro e 15% nos dias com precipitação e 5% nos dias sem precipitação, no mês de fevereiro. Essa estatística possibilita compreender como a atuação de um VCAN pode influenciar no regime de chuvas no NEB, e em especial no CLA, concordando com o previsto na literatura. A análise das IS possibilitou a identificação do padrão de nebulosidade de acordo com a distribuição dos centros e bordas do VCANs: nas periferias observou-se grande nebulosidade e nos centros observou-se pouca ou nenhuma nebulosidade, fato que concorda com o encontrado na literatura. Os dias em que se observou intensa nebulosidade no CLA estão, como esperado, de acordo com os dias em que, segundo os dados de precipitação, há acúmulo de chuva no CLA.

Um exemplo dos resultados obtidos neste estudo apresenta-se na Figura 1, na qual a isolinha roxa representa a vorticidade relativa limiar considerada como borda do sistema:  $-2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Esta figura mostra um dia, 10 de janeiro de 2007, de atuação de um VCAN no CLA nos quatro horários analisados. Em janeiro de 2007, esse sistema se destacou pela grande duração. A Figura 2 apresenta o mês de janeiro de 2007 do boletim do Climanálise sobre a atuação dos VCANs, exemplificando como se validou os resultados obtidos nesse estudo.

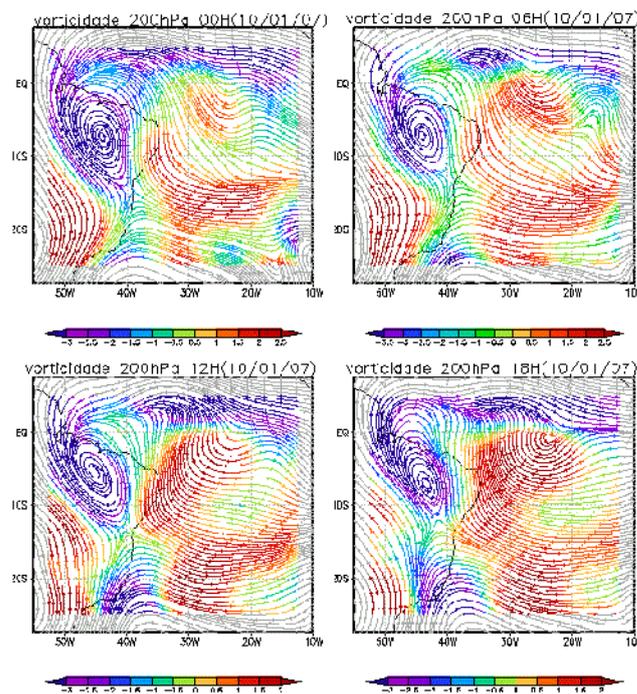


Figura 1 – Campo de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), para o dia 10 de janeiro de 2007, ao nível de 200 hPa.

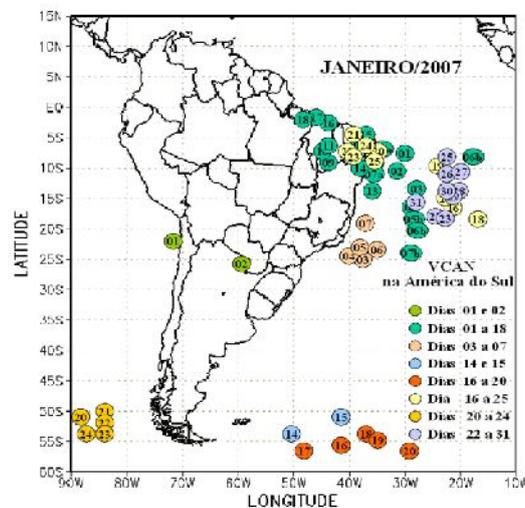


Figura 2 – Boletim do Climanálise do CPTEC/INPE para o mês de janeiro de 2007.

Nota-se que, como encontrado nesse estudo (Figura 1), a atuação de um VCAN no dia 10 de janeiro de 2007, sendo este, com grande duração (01 a 18 de janeiro de 2007) (Figura 2). Entretanto, observa-se que nos primeiros dias o VCAN encontra-se no oceano Atlântico sul fora do alcance da área de influência na atmosfera do CLA. A figura 3 apresenta a atuação de um VCAN na região do CLA. Neste VCAN pode-se verificar o que os resultados deste trabalho mostraram, ou seja, que em alguns dias, a atuação de VCANs no CLA foi acompanhada com o deslocamento para leste da Alta da Bolívia (Figura 3), condizente com o encontrado na literatura, que atrela a atuação dos vórtices com a AB e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) à influencias no regime pluviométrico no NEB (Ferreira et al., 2009).

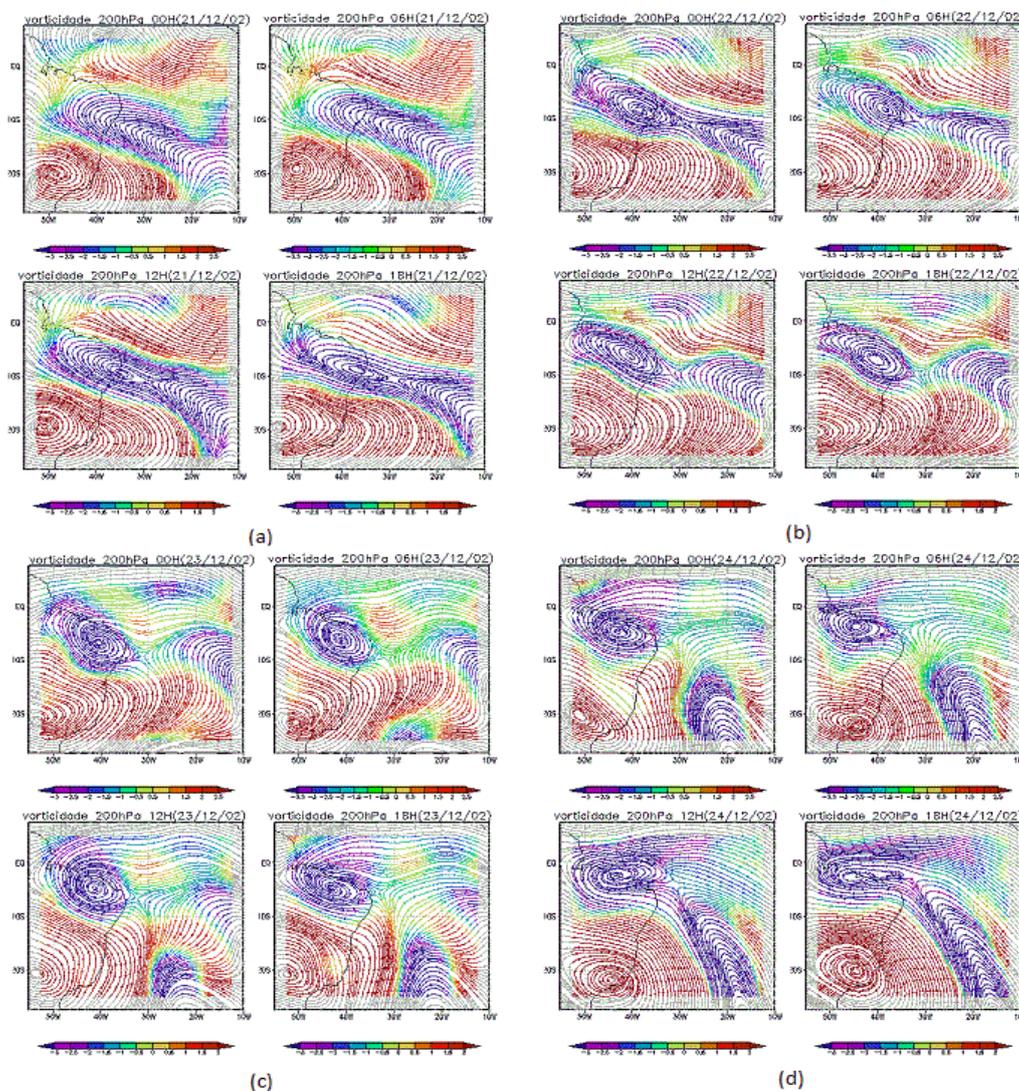


Figura 3 – Campo de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para os dias 21, 22, 23 e 24 de dezembro de 2002 (a, b, c, d, e respectivamente), ao nível de 200 hPa.

Em alguns resultados, sobretudo nos meses de dezembro, observou-se que em conjunto com a AB, existe outro sistema de alta pressão que possibilita um “corredor de escoamento” para o VCAN, alongando-o até o CLA. Esse outro sistema de alta pressão, aparenta ser derivado do ramo norte de uma Bifurcação Inter-hemisférica (BI) que ocorre nas vizinhanças do Equador, denominada AN (Ferreira et al., 2009), mas neste estudo foi denominado como um Sistema de Alta Pressão de Altos Níveis.

O padrão encontrado para a nebulosidade observada devido à atuação de um VCAN está disposto nas figuras 4 e 5, que mostram nas IS qual parte do sistema é atuante no CLA. A nebulosidade observada no CLA nos dias em destaque nas figuras é condizente com os dados de precipitação (16,2 mm e 0 mm para as figuras 4 e 5, respectivamente). Destaca-se a ausência de nebulosidade no centro do VCAN e a presença da mesma nas bordas do sistema.

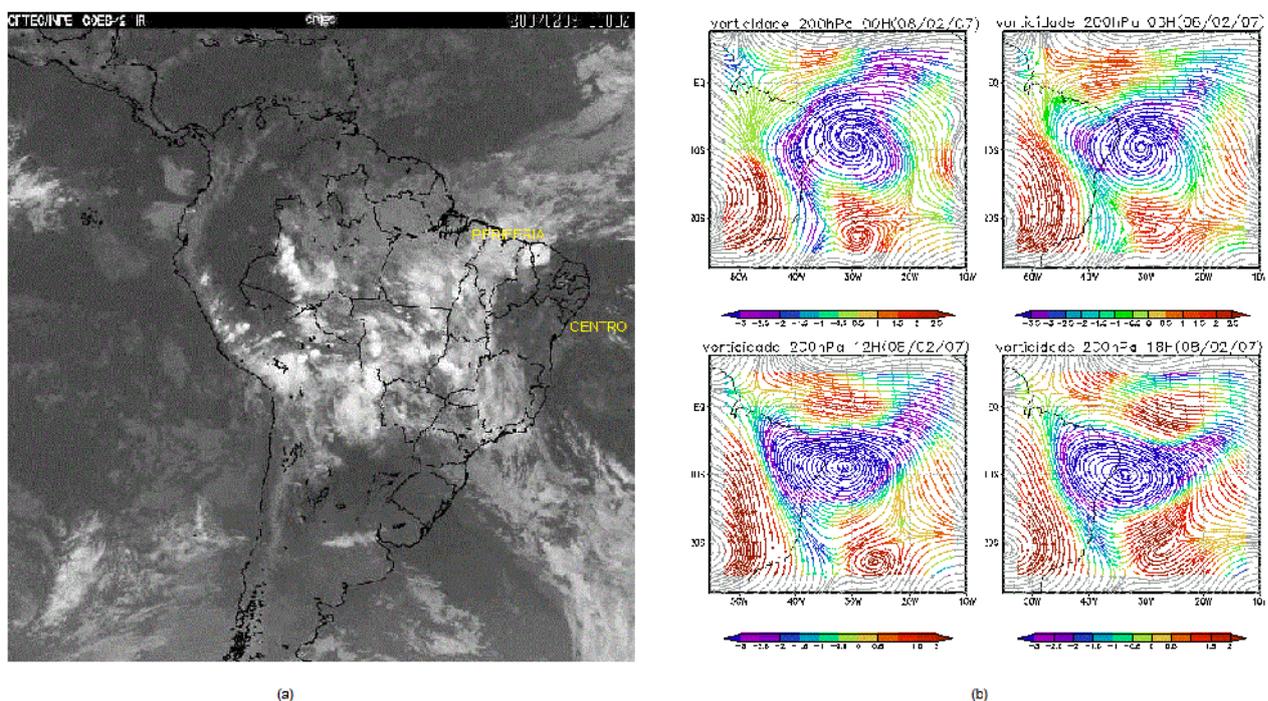


Figura 4 – IS GOES-12 do dia 08/02/2007 (4a) e a comparação com o campo de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), para o mesmo dia, ao nível de 200 hPa (4b).

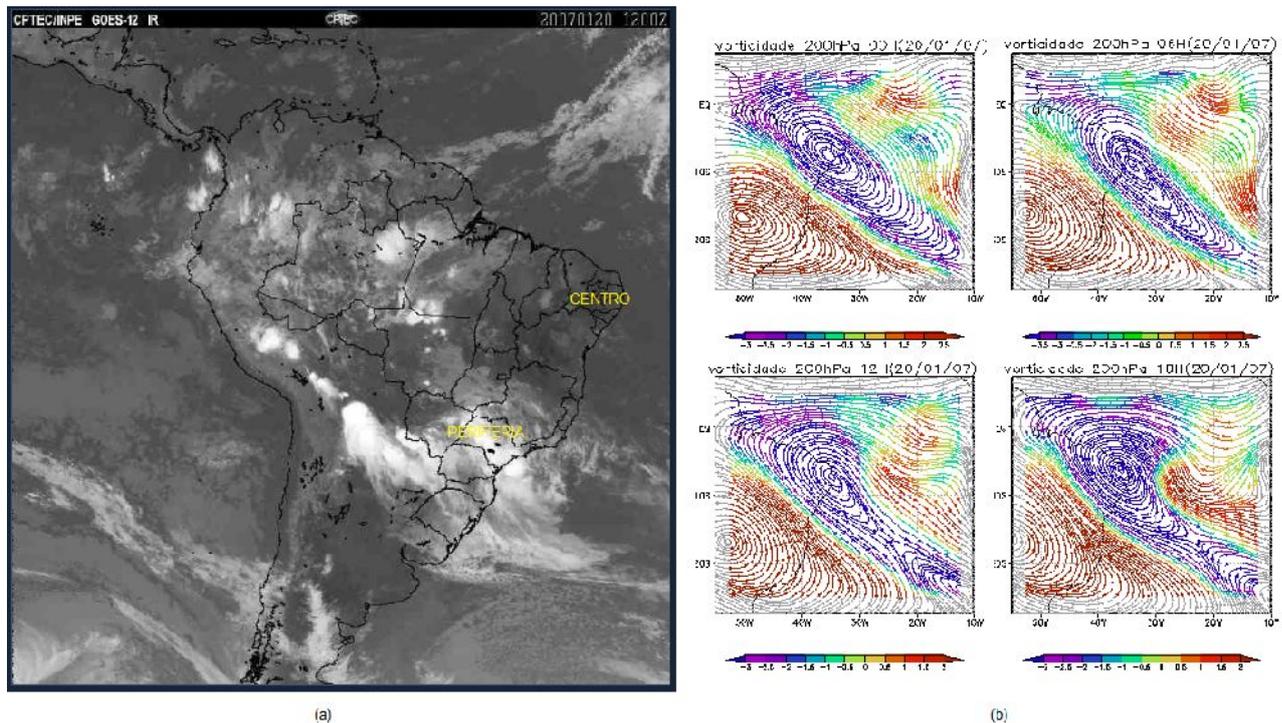


Figura 5 – IS GOES-12 do dia 20/01/2007 (5a) e a comparação com o campo de vorticidade relativa ( $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), para o mesmo dia, ao nível de 200 hPa (5b).

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos representam bem a realidade descrita pelos boletins do Climanálise. Foram constatados 100 dias com atuação de VCANs no CLA no período analisado, número bem acima do que era esperado. Constatou-se que em janeiro não foi, nos verões estudados, o mês com maior atuação dos VCANs no CLA. Observou-se que em alguns casos estudados, há a atuação de um sistema de alta pressão que escoia/desloca o VCAN até o CLA, muitas vezes criando um vórtice duplo. O sistema de alta pressão é, conforme a literatura, a AB. Há ainda, outro sistema de alta pressão (identificado neste estudo como Sistema de Alta Pressão de Altos Níveis) que foi observado em alguns dias com VCAN e que, juntamente com a AB, cria um “corredor de escoamento” para o sistema, deslocando-o até o CLA. Os VCANs que atuam no CLA influenciam significadamente o regime pluviométrico do local, sobretudo nos meses de dezembro e janeiro. Esses sistemas são bem caracterizados pela distribuição de nebulosidade em uma IS: seus centros apresentam pouca ou nenhuma nebulosidade e suas bordas apresentam grande e geralmente intensa nebulosidade, assim, a nebulosidade no CLA,

quando sob influência de um VCAN, fica sujeita à condição de o local estar sob o domínio do centro ou periferia do VCAN. Desse modo, neste estudo foi possível concluir que os VCANs influenciam diretamente na nebulosidade e, por consequência, na precipitação do CLA.

## 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>>

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

COSTA, S. B. **Balancos 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.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. **Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara-MA.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.2, 193-203, 2007.

COUTINHO, M. D. L. **Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação e climatologia.** 2008. 119p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

FERREIRA, N. J. RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. L. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J. Silva, M. G. A. J.; Silva Dias, M. A. F. (eds) **Tempo e Clima no Brasil.** Oficina de Textos, 2009, p. 75-93

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.

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. Estudo das variáveis meteorológicas associadas à posição da ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo: SBMET, 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.