

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Climatologia da probabilidade de ocorrência de convecção profunda para a região do Centro de Lançamento de Alcântara

Bolsista: Gabriel Miller de Oliveira (UNIFEI)

Orientador (a): Marcos Daisuke Oyama (IAE/ACA)

Período a que se refere o relatório: agosto de 2015 a julho de 2016

Resumo

O objetivo do trabalho consistiu em obter o ciclo anual médio de um índice, chamado de PCON, que indicaria a probabilidade de ocorrência de convecção profunda para a região do Centro de Lançamento de Alcântara. Para tal, foi implementada uma nova versão do modelo de parcela de ar. A nova versão contém parametrizações dos processos de autoconversão e entranhamento. A climatologia mensal de PCON foi obtida com base nas radiossondagens lançadas no CLA às 00 e 12 UTC, e foram realizados testes de sensibilidade aos parâmetros da autoconversão e do entranhamento. Os resultados mostraram que, às 12 UTC, os valores de PCON são altos durante todo o ano, e o ciclo anual não segue o de precipitação; às 00 UTC, os valores de PCON são bem mais baixos que os de 12 UTC, e o ciclo anual segue o de precipitação. A inclusão das parametrizações de autoconversão e entranhamento pouco influenciaram o ciclo de PCON às 00 UTC; às 12 UTC, o efeito foi de reduzir substancialmente os valores de PCON e introduzir somente uma pequena diferença entre os períodos chuvosos e secos no CLA. A questão sobre os processos responsáveis pela inibição de convecção profunda nas manhãs do período seco no CLA ainda estão em aberto.

Palavras chave: modelo de parcela, entranhamento, instabilidade, autoconversão.



1. Introdução

Entre os meses de março e maio, que corresponde ao outono austral, ocorre o trimestre chuvoso no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), quando eventos de convecção profunda são frequentes (Pereira et al., 2002). A convecção profunda no local é favorecida por fatores termodinâmicos, como a presença de instabilidade estática e umidade em baixos níveis, e também por fatores dinâmicos, como a convergência atmosférica associada à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e/ou de sistemas convectivos de mesoescala (Barros e Oyama, 2010).

Para avaliar o potencial de convecção profunda do ponto de vista termodinâmico, normalmente são utilizados índices de instabilidade, como a energia potencial disponível para convecção (*Convective Available Potential Energy*, CAPE) e o índice K. Para o CLA, o conhecimento e o uso desses índices seriam importantes para assistir a previsão de precipitação durante as campanhas de lançamento de foguetes no CLA, pois a ocorrência de chuva tem o potencial de restringir severamente as atividades durante as campanhas (Marques e Fisch, 2005). Utilizando dados de radiossondagens lançadas no CLA às 12 UTC, Oliveira e Oyama (2009) mostraram que o índice K possui um ciclo anual condizente com o da precipitação, mas essa relação não é válida para outros índices, como a CAPE.

Apesar da sua utilidade, os índices de instabilidade não incorporam explicitamente o processo de entranhamento, que teria um papel muito importante na transição de cúmulos rasos para profundos segundo estudos recentes (Wu et al., 2009). No trabalho de iniciação científica anterior (ago/2014 a jul/2015), Oliveira (2015) implementou um modelo de parcela de ar para estudar o efeito do entranhamento na transição da convecção em duas campanhas intensivas realizadas no CLA (uma em setembro e outra em março). Os resultados mostraram que o entranhamento possui um papel importante para explicar a ausência de convecção profunda durante a manhã no mês seco (setembro). Motivado por esses resultados, o objetivo do presente trabalho é definir um índice que indique a probabilidade de ocorrência de convecção profunda (PCON). O fator aleatório seria a forçante dinâmica, ou seja, para uma dada condição termodinâmica, maior (menor) probabilidade significaria a necessidade de menor (maior) ascendência nos níveis mais baixos da atmosfera para resultar em convecção

profunda. Especificamente, definido PCON, os objetivos são obter o seu ciclo anual para a região do CLA, e realizar testes de sensibilidade aos parâmetros referentes ao entranhamento e à autoconversão.

2. Materiais e métodos

O modelo de parcela de ar prognostica a velocidade vertical, a temperatura, a razão de mistura (de vapor) e a razão de mistura de água líquida da parcela. O movimento vertical é forçado pelo empuxo (ou seja, pelas diferenças de temperatura virtual entre a parcela e o ambiente). Os processos termodinâmicos incluem o resfriamento/aquecimento adiabático, o aquecimento (resfriamento) diabático devido à condensação (evaporação) e a mistura isobárica devido ao entranhamento de ar do ambiente. O modelo é codificado na linguagem FORTRAN 90 e integrado numericamente com passo de tempo de 10 s. A versão inicial do modelo foi implementada por Oliveira (2015). Para o presente trabalho, utiliza-se uma nova versão do modelo, que inclui duas modificações.

A primeira consiste em implementar a parametrização de autoconversão de Kessler (1969). Na versão inicial, a cada passo de tempo, havia a remoção de 50% de condensado. Na nova versão, a remoção é feita parametrizando-se o processo em que as gotículas de nuvem são convertidas em gotas de chuva e deixam a parcela. A taxa de autoconversão (A) é dada por:

$$A = \begin{cases} \alpha \cdot (r_l - r_{lc}), & r_l \geq r_{lc} \\ 0, & r_l < r_{lc} \end{cases} \quad [1]$$

onde r_l é a razão de mistura de água líquida; α , igual a 10^{-3} s^{-1} ; e r_{lc} , igual 1 g kg^{-1} . O valor dos parâmetros α e r_{lc} segue a literatura. Nos testes de sensibilidade, o valor de r_{lc} é alterado.

A segunda consiste em passar de um valor fixo de entranhamento para um variável, dependente da umidade relativa do ambiente em que se encontra a parcela. Trata-se de uma parametrização utilizada pelo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF) e descrita em de Rooy et al. (2013). Nessa parametrização, a taxa de entranhamento é dada por:

$$\mu = \mu_0 \cdot (\beta - UR) \quad [2]$$

onde μ_0 é igual a 10^{-3} s^{-1} ; β , 130%; e UR , a umidade relativa do ambiente (%). Nos testes de sensibilidade, os resultados utilizando diferentes valores fixos de μ são comparados aos utilizando a parametrização dada pela Eq. 2.

Perfis verticais às 00 e 12 UTC (21 e 09 HL, respectivamente) obtidos de dados de radiossondagens lançadas no CLA são utilizados como entrada do modelo, e correspondem ao período de 20-ago-2001 a 05-nov-2013 (00 UTC) e de 02-jun-1989 a 07-nov-2013 (12 UTC). Cada perfil contém 40 níveis verticais (da superfície até 50 hPa). Os perfis contendo dados ausentes são excluídos.

O índice PCON é definido como:

$$\text{PCON} = \frac{\text{Área}}{10 \times \text{limiar}} \quad [3]$$

onde limiar refere-se à altura a partir do qual se considera a ocorrência de convecção profunda – no presente estudo, o limiar é de 5 km. No gráfico entre velocidade vertical inicial (W) e a altura atingida pela parcela (Z) (Fig. 1), a área (hachurada) sob a curva, limitada pelo limiar de $z = 5 \text{ km}$, corresponde à Área da Eq. 3. O denominador do lado direito da Eq. 3 consiste em toda a área abaixo do limiar de $z = 5 \text{ km}$.

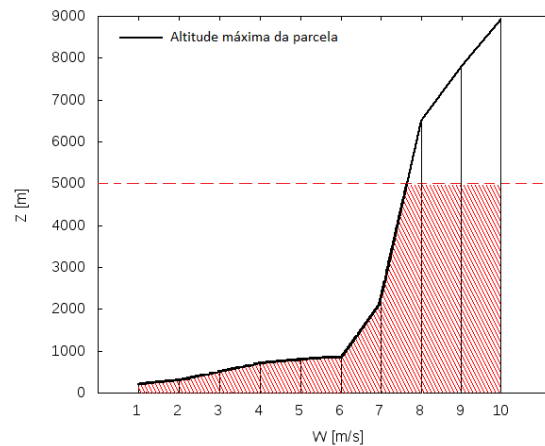


Fig. 1. Ilustração do cálculo de PCON. Maiores detalhes são encontrados no texto.

Dois testes de sensibilidade são realizados. No primeiro, o ciclo anual de PCON obtido utilizando o método de retirada de 50% do condensado a cada passo de tempo é comparado

aos ciclos obtidos utilizando a parametrização de autoconversão para dois valores de r_{lc} (0 e 1 g kg^{-1}). No segundo, os ciclos obtidos utilizando três valores fixos de μ (2×10^{-4} , 5×10^{-4} e 10^{-3} s^{-1}) são comparados ao ciclo obtido utilizando a parametrização do ECMWF (Eq. 2).

3. Resultados

A Fig. 2 mostra o ciclo anual médio de PCON para o CLA considerando as duas versões do modelo de parcela: a inicial, implementada por Oliveira (2015), e a nova, que incorpora a autoconversão de Kessler e a parametrização de entranhamento do ECMWF. No horário de 00 UTC, o ciclo anual se mantém praticamente o mesmo para ambos os modelos; no de 12 UTC, a mudança para a nova versão diminui consideravelmente os valores de PCON e introduz uma pequena diferença (na ordem de 10 pontos percentuais) entre os períodos chuvoso e seco.

Enfocando os ciclos obtidos com a nova versão, os valores de PCON às 00 UTC, se comparados aos referentes às 12 UTC, são substancialmente menores. Isso pode estar associado ao fato da coluna atmosférica no início da noite (00 UTC, 21 HL) ser menos instável que na manhã (12 UTC, 09 HL). Em relação à sazonalidade, o ciclo anual às 00 UTC se assemelha ao da precipitação, com valores bem distintos entre os períodos chuvoso (valores maiores) e seco (valores menores). Às 12 UTC, embora haja uma pequena sazonalidade, os valores de PCON são relativamente altos durante todo o ano. Isso significa que, no período da manhã, sempre haveria condições termodinâmicas favoráveis à convecção profunda, o que não concorda com o ciclo anual de precipitação. A falta de uma variação sazonal expressiva de PCON assemelha-se à encontrada por Oliveira e Oyama (2009) para alguns índices de instabilidade, como a CAPE, e mostra que a inclusão do entranhamento não é condição suficiente para inibir a convecção profunda durante a manhã no período seco (isso vai de encontro ao obtido por Oliveira, 2015, com base em dados para um período curto).

Em julho, particularmente às 12 UTC, ocorre um máximo de PCON. Trata-se de um resultado intrigante, para o qual não temos uma explicação definitiva. Julho é o mês em que há o maior potencial de ocorrência de microexplosões sobre o CLA, de acordo com Monteiro (2014), mas não há relação direta entre microexplosões e potencial de convecção profunda.



Os efeitos da inclusão das parametrizações de autoconversão e entranhamento podem ser avaliadas por meio dos testes de sensibilidade. A Fig. 3 mostra o ciclo anual de PCON para diferentes formas de retirada de condensado. “Fator = 0,5” corresponde à retirada de 50% de condensado para cada passo de tempo, o que é uma retirada muito rápida de condensado da parcela e se aproximaria de um processo pseudo-adiabático. A parametrização de autoconversão permite uma retirada mais lenta, ou seja, o condensado permaneceria por mais tempo na parcela, permitindo a ocorrência de evaporação de gotículas (para saturar o ar entranhado) e, assim, reduzindo o empuxo. Isso levaria a uma menor ascensão da parcela, resultando em menores valores de PCON, o que está coerente com o mostrado como “Kessler” na Fig. 3. Quanto maior r_{ic} , maior é a permanência de condensado, o que reduz a altura atingida pela parcela e, conseqüentemente, PCON. Embora haja redução dos valores de PCON, a inclusão da autoconversão introduz somente uma pequena diferença de PCON entre os períodos chuvoso e seco.

A Fig. 4 mostra a sensibilidade do ciclo anual de PCON a diferentes representações do entranhamento. O aumento do entranhamento reduz o empuxo, levando as parcelas a atingirem alturas menores e, assim, diminuindo PCON. A parametrização do ECMWF (de Rooy, 2013) corresponde a um maior entranhamento às 12 UTC, e menor às 00 UTC. Novamente, a inclusão da parametrização do ECMWF introduz somente uma pequena diferença de PCON entre os períodos chuvoso e seco.

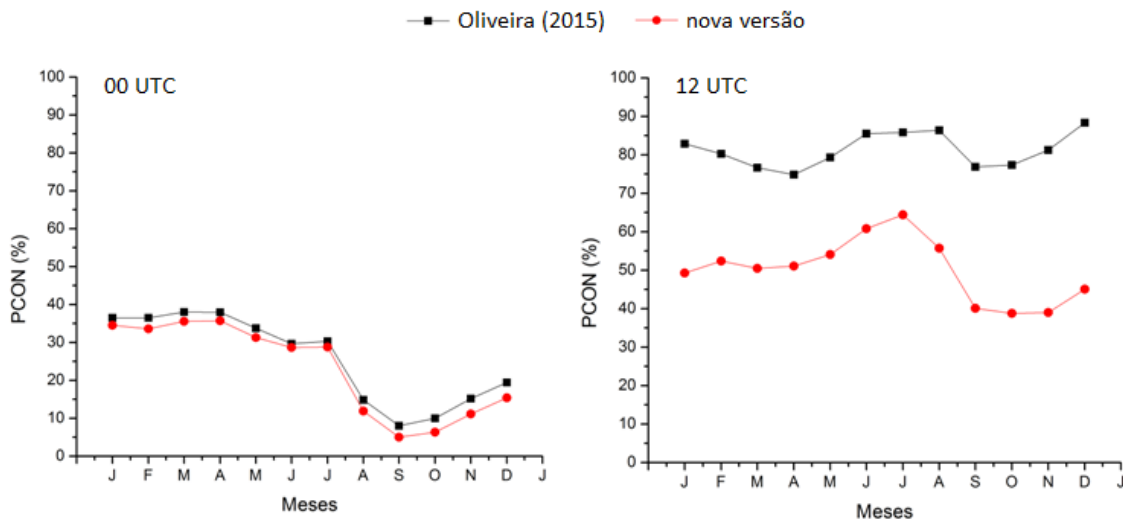


Fig. 2. Ciclo anual de PCON utilizando a versão inicial do modelo (linha preta) e a nova versão (linha vermelha), para os horários de 00 UTC (esquerda) e 12 UTC (direita).

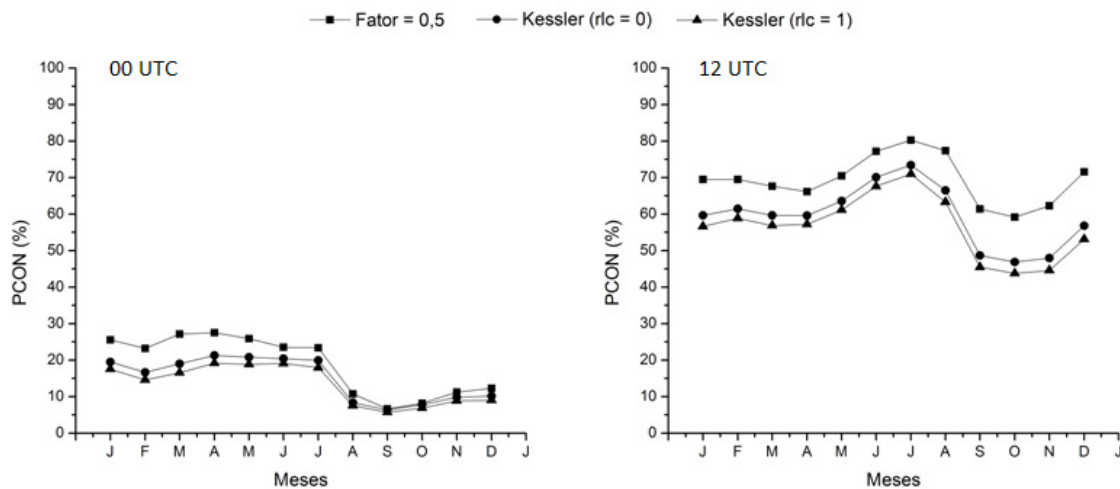


Fig. 3. Ciclo anual de PCON utilizando diferentes formas de retirada de condensado da parcela às 00 UTC (esquerda) e 12 UTC (direita). “Fator = 0,5”: 50% de toda água líquida é condensada a cada passo de tempo (quadrado); “Kessler”: parametrização de Kessler (1969) com r_{lc} igual a 0 (círculo) e 1 g kg^{-1} (triângulo).

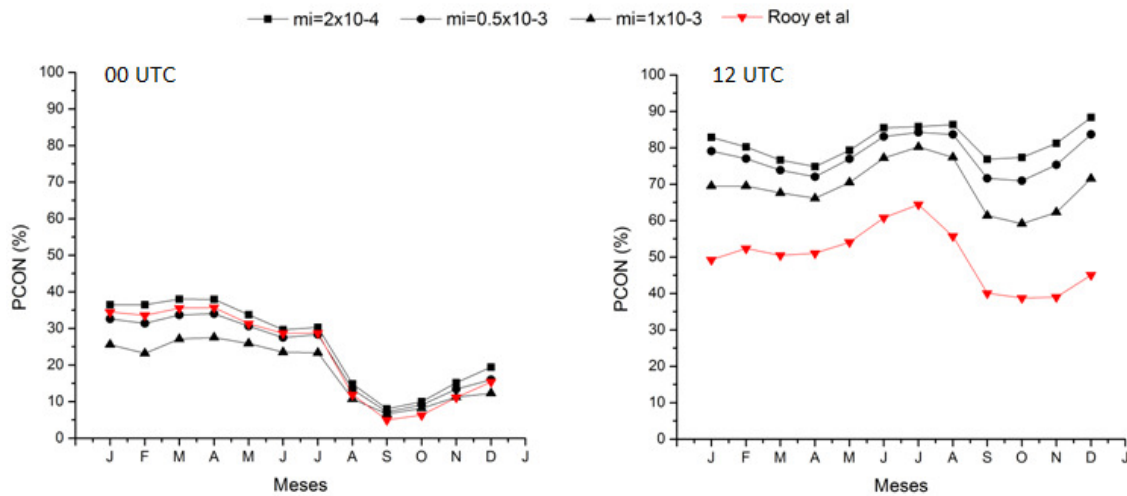


Fig. 4. Ciclo anual de PCON utilizando diferentes formas de entranhamento às 00 UTC (esquerda) e 12 UTC (direita). Linhas pretas: entranhamento fixo com os valores dados por “mi”. Linha vermelha: parametrização do ECMWF (de Rooy et al., 2013).

4. Considerações finais

Para o relatório final, finalizou-se a implementação da nova versão do modelo de parcela de ar. A nova versão contém a parametrização de autoconversão de Kessler (1969) e a parametrização de entranhamento do ECMWF (de Rooy et al., 2013). Foi obtida uma climatologia mensal de PCON com base nas radiossondagens lançadas no CLA às 00 e 12 UTC, e foram realizados testes de sensibilidade aos parâmetros da autoconversão e do entranhamento.

Os resultados mostraram que:

- No horário de 12 UTC, os valores de PCON são altos durante todo o ano, e o ciclo sazonal não segue o de precipitação;
- No horário de 00 UTC, os valores de PCON são bem mais baixos que os referentes ao horário de 12 UTC, e o ciclo sazonal segue o de precipitação.
- A inclusão das parametrizações de autoconversão e de entranhamento do ECWF pouco influenciaram o ciclo de PCON às 00 UTC; às 12 UTC, o efeito foi de reduzir

substancialmente os valores de PCON e introduzir somente uma pequena diferença entre os períodos chuvosos e secos no CLA.

O intuito original do trabalho consistia em obter um índice que fosse baseado na ascensão de parcela de ar e, de forma semelhante ao índice K, tivesse um ciclo anual semelhante ao de precipitação. O índice utilizado – PCON – possui uma boa base física, mas não foi capaz de representar a esperada diferença na probabilidade de convecção entre os períodos chuvosos e secos. O ponto principal em aberto é elucidar por que a convecção profunda é suprimida na manhã dos períodos secos. Mesmo introduzindo um entranhamento relativamente realista, a convecção poderia se aprofundar na estação seca. O papel da divergência de umidade em baixos níveis na inibição da convecção, conhecida na escala climática, precisaria ser investigada no âmbito do modelo da parcela. Isso será realizado em trabalhos futuros.

5. Divulgação dos Resultados

Pretende-se elaborar um trabalho ao XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, que será realizado em nov-2016, contendo os resultados do presente relatório. O trabalho será submetido em ago-2016.

O trabalho “Fatores Termodinâmicos Associados à Convecção Profunda sobre a Região do CLA”, de Gabriel Miller de Oliveira e Marcos Daisuke Oyama, foi apresentado de forma oral no XXII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal de Itajubá, realizado no 20 de outubro de 2015 em Itajubá (MG). O trabalho refere-se à iniciação científica de ago-2014 a jul-2015.

O trabalho “O papel do entranhamento no aprofundamento da convecção sobre a região do CLA: estudo preliminar”, de Marcos Daisuke Oyama e Gabriel Miller de Oliveira, foi apresentado em forma de pôster no VI SIC – Simpósio Internacional de Climatologia, realizado entre 13 e 16 de outubro de 2015 em Natal (RN). Parte do trabalho refere-se à iniciação científica de ago-2014 a jul-2015.

O artigo “Eventos Extremos de Precipitação na região do Centro de Lançamento de Alcântara”, de Marcos Daisuke Oyama e Gabriel Miller de Oliveira, foi aceito em abr- 2016 para publicação na Revista Brasileira de Meteorologia. Parte do artigo foi elaborada durante a iniciação científica de ago-2013 a jul-2014.

Referências

- Barros S. S.; Oyama, M. D. Sistemas meteorológicos associados à ocorrência de precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 333-344, 2010.
- de Rooy, W. C. et al. Entrainment and detrainment in cumulus convection: an overview. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 139, n.1, p.1-19, 2013.
- Kessler, E. On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation. **Meteorological Monographs**, v. 10, n. 32, 1969, 88 p.
- Marques, R. F. C.; Fisch, G. F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 21-25, 2005.
- Monteiro, R. P. **Potencial de Ocorrência de Microburst na Região do Centro de Lançamento de Alcântara**. Relatório final de iniciação científica (PIBIC/IAE). São José dos Campos, 2014.
- Oliveira, F. P.; Oyama, M. D. Radiosounding-derived convective parameters for the Alcântara Launch Center. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 1, n. 2, p. 211-216, 2009.
- Oliveira, G. M. Fatores termodinâmicos associados a convecção profunda no Centro de Lançamento de Alcântara. Relatório final de iniciação científica (PIBIC/IAE). São José dos Campos, 2015.
- Pereira, E. I.; Miranda, I.; Fisch, G. F.; Machado, L. A. T.; Alves, M. A. S. **Atlas Climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 2002.
- Wu, C. M.; Stevens, B.; Arakawa, A. What controls the transition from shallow to deep convection? **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 66, n. 1, p. 1793-1806, 2009.