



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## **CICLO DIÁRIO DE PRECIPITAÇÃO COMO FUNÇÃO DE EVENTOS INTENSOS NO SUDESTE DA AMAZÔNIA**

Cláudio Moisés Santos e Silva<sup>1</sup>

---

### **RESUMO**

O ciclo diário sobre o Estado de Rondônia foi avaliado em termos de eventos intensos de precipitação. Utilizou-se um conjunto de 35 pluviômetros distribuídos em quatro redes de estações. O terceiro quartil dos dados acima da média foram considerados como intensos. O ciclo diário médio foi função dos eventos mais intensos, mostrando que o mecanismo de convecção local associado à propagação sistemas transientes de mesoescala são os principais moduladores do ciclo diário de precipitação.

**Palavras-chave:** Variabilidade Diária; Método dos Quartis; Eventos Intensos.

### **RAINFALL DIURNAL CYCLE AS A FUNCTION OF THE INTENSE EVENTS IN SOUTHEAST AMAZONIAN**

### **ABSTRACT**

The rainfall diurnal cycle over the State of Rondônia, Brazil, was evaluated as a function of intense events. A set of 35 rain gauges distributed in four networks were used. The third quartile above average was considered as intense events. The diurnal cycle was a function of the intense events, showing that the local convection associated to mesoscale transients systems are modulators of the diurnal cycles.

**Key words:** Diurnal Variability; Quartiles; Intense Events

---

Trabalho recebido em 05/03/2010 e aceito para publicação em 28/05/2010.

---

<sup>1</sup> Doutor em Meteorologia. Professor Adjunto I do Departamento de Física Teórica e Experimental e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Endereço: Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59078-970, Natal-RN. e-mail: claudio@dfte.ufrn.br.

## 1. INTRODUÇÃO

O ciclo diário de precipitação na Amazônia é função do tipo de sistema convectivo de mesoescala formado em diferentes regiões da bacia e responde à propagação continente adentro de sistemas organizados em linhas de instabilidade (GARSTANG *et al.*, 1994), que ocasionalmente alcançam o centro da bacia (COHEN *et al.*, 1995) e causam precipitação noturna no Estado de Rondônia (RICKENBACH, 2004). Mudanças no uso da terra (transformação de florestas em pastos) afetam o balanço de água e energia à superfície e modulam a distribuição espaço-temporal da precipitação (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 1998); portanto, áreas cobertas por pastagens apresentam menos chuvas acumulada, porém de forma mais intensa (TOTA *et al.*, 2000), devido o desenvolvimento de uma Camada Limite Atmosférica mais quente e seca (FISCH *et al.*, 2004). Além disso, frentes de rajadas, topografia e a associação desses dois fatores são mecanismos responsáveis pela formação de tempestades sobre o Estado de Rondônia (LIMA E WILSON, 2008).

A grande escala é responsável por modular o ciclo diário especialmente na escala intrasazonal (RICKENBACH *et al.*, 2002) manifestada em regimes, de Leste ou

de Oeste no vento em baixos níveis. Jatos de Baixos Níveis a Leste dos Andes (MARENGO *et al.*, 2004) associam-se a regimes de Oeste e a eventos de Zona de Convergência da América do Sul e provocam chuvas do tipo estratiforme com máximo relativamente mais tarde que em casos de regimes de Leste, quando a atenuação de radiação solar é menor favorecendo o processo de mistura turbulenta de calor e água na baixa troposfera (STRONG *et al.*, 2005). O tipo de cobertura do solo em grande escala (áreas de Savana e áreas de Floresta) apresentam características particulares quanto a parâmetros termodinâmicos e conseqüentemente no ciclo diurno de precipitação (MACHADO, 2004).

Esse sistema complexo de interações em diferentes escalas de tempo e de espaço dificulta a simulação do ciclo diário de precipitação através de modelos numéricos e isso é um dos fatores principais de incertezas nos modelos que constituem a base dos resultados prognósticos apresentados no último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007). Estudar, entender e simular o modo diário de variabilidade da precipitação é, portanto, um tema desafiador e ainda sem solução no campo das ciências atmosféricas. Neste sentido, o presente trabalho tem por

objetivo analisar o ciclo diário da precipitação sobre o Estado de Rondônia durante a estação chuvosa de 1999 através de uma rede densa de pluviômetros instalados durante a campanha de coleta de dados do *Tropical Rainfall Measuring Mission and Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (TRMM-LBA; SILVA DIAS *et al.*, 2002a). Outros estudos abordaram o mesmo tema, inclusive valendo-se do mesmo conjunto de dados (TOTA *et al.*, 2000; MARENGO *et al.*, 2004; SANTOS E SILVA *et al.*, 2009). Porém, o enfoque da presente pesquisa é na modulação do ciclo diário através de eventos de precipitação intensa.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Redes de pluviômetros e radar S-POL do TRMM-LBA

O conjunto de 35 pluviômetros operacionais durante o TRMM-LBA foram

distribuídos em quatro redes de estações. As duas primeiras, REDE1 e REDE2, apresentavam 13 e 12 pluviômetros e as restantes, REDE3 e REDE4, 6 e 4, respectivamente. As coordenadas geográficas médias de cada rede são apresentadas na Tabela 1. O intervalo de coleta foi de 5 minutos, calculando-se em seguida o total acumulado de cada hora sendo considerado os trinta minutos antes e trinta minutos depois para o acúmulo de uma hora cheia. O período de dados foi Janeiro a Fevereiro de 1999. Os instrumentos foram previamente calibrados como descrito em Anagnostou & Morales (2002). Esses dados foram usados na caracterização do ciclo diário de precipitação (MARENGO *et al.*, 2004), para estudar a distribuição espacial de chuvas e servir como base para a avaliação da precipitação estimada através de radar (por exemplo, SANTOS E SILVA *et al.*, 2009). Trata-se, portanto, de uma base de dados consolidada e confiável.

**Tabela 1** - Localização geográfica média das redes de pluviômetros e o total de pluviômetros de cada rede.

	REDE1	REDE2	REDE3	REDE4
<b>Latitude (S)</b>	10,90	10,75	10,60	10,35
<b>Longitude (O)</b>	61,85	62,15	62,55	62,55

## 2.2 Seleção dos casos

A seleção de eventos intensos é baseada no método dos quartis, que é extensivamente usado na literatura científica. Por exemplo, Musa *et al.* (2009) usaram o terceiro quartil das anomalias de precipitação sobre a América do Sul para definir períodos úmidos nas escalas intrasazonal e interanual. Embora alguns estudos considerem um percentil bem menor para separar os casos de eventos intensos de precipitação. A exemplo do trabalho de Lima *et al.* (2009) que usaram apenas 1% da precipitação acumulada em um dia para definir eventos intensos sobre a região Sudeste do Brasil. Com base nesses estudos, selecionaram-se os casos de eventos intensos sobre a região do TRMM-LBA através dos seguintes passos:

- Calculou-se a média diária da precipitação média de cada rede de pluviômetros:  $\bar{X}$ ;
- Separaram-se os dias (i) em que a precipitação acumulada foi superior à média:  $X_i > \bar{X}$ ;
- Dividiram-se os dados em quartis escolhendo-se o terceiro ( $Q_3$ ), ou seja, apenas os 25% valores mais altos que os casos acima da média;

- A partir do  $Q_3$  de cada rede de pluviômetros estabeleceu-se cinco critérios:

Critério 0 (C0) – não houve redes que registrasse  $X_i > Q_3$

Critério 1 (C1)– uma rede registrou  $X_i > Q_3$

Critério 2 (C2)– duas rede registraram  $X_i > Q_3$

Critério 3 (C3)– três rede registraram  $X_i > Q_3$

Critério 4 (C4)– quatro rede registraram  $X_i > Q_3$

- Além desses 5 critérios fez-se também o cálculo do ciclo diário médio para todo o experimento.

## 3. RESULTADOS

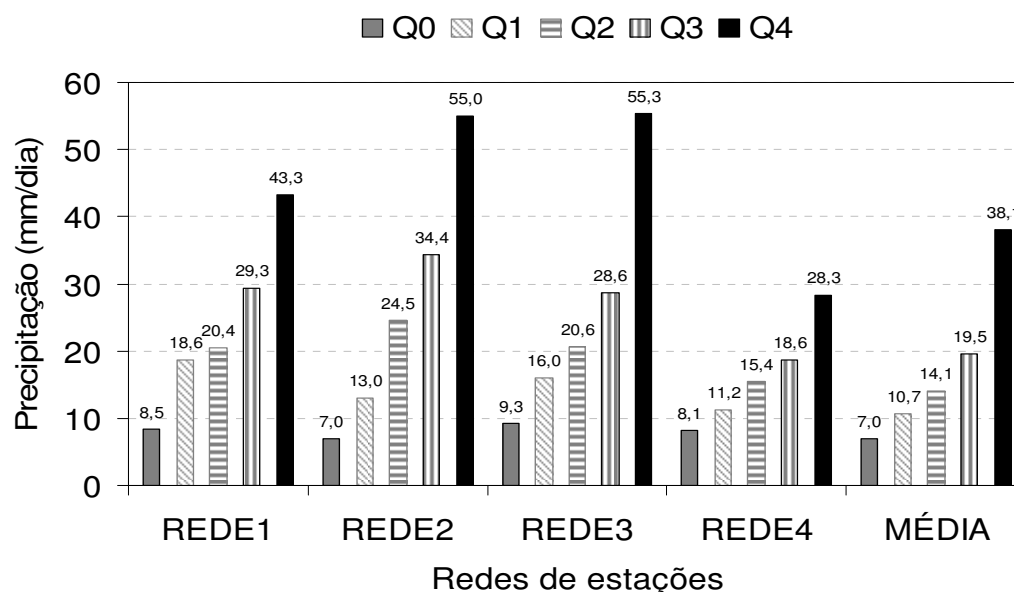
### 3.1 Precipitação acumulada em 24 horas

A precipitação dividida em quartis é apresentada na Figura 1. O quartil  $Q_0$  corresponde a média de cada rede de estação, que foi mínima (7,0 mm dia<sup>-1</sup>) na Rede2 e máxima (9,3 mm dia<sup>-1</sup>) na Rede3. O terceiro quartil apresentou valor máximo de 34,4 mm dia<sup>-1</sup> na rede2 e mínimo de 18,6 mm dia<sup>-1</sup> em R4. Os eventos mais intensos não ultrapassam 3% dos casos, sendo eles mais significativos sobre a

Rede2 e Rede3. Na Rede4 observaram-se os menores valores de precipitação intensa; porém, em termos proporcionais as quatro redes apresentam distribuições muito semelhantes, com cerca de 38% para o quartil  $Q_0$  e 2% para o quartil  $Q_4$ . O quartil  $Q_3$ , que é usado como critério de seleção dos casos correspondeu a cerca de 10% das chuvas acima da média de cada estação.

A diferença entre os máximos de precipitação comparando-se a precipitação da Rede4 com as outras redes pode ser

explicada em termos de atuação de mecanismos de convecção local sobre a região. Silva Dias *et al.* (2002b) observou que circulações de mesoescala induzidas por aquecimento diferencial entre áreas com e sem florestas modulam a variabilidade diária e distribuição espacial das chuvas sobre o estado de Rondônia. Além disso, especificamente sobre a Rede2, Lima & Wilson (2008) verificaram uma forte modulação de tempestades em virtude de acentuada topografia, o que também foi discutido por Marengo *et al.* (2004) e por Santos e Silva *et al.* (2009).

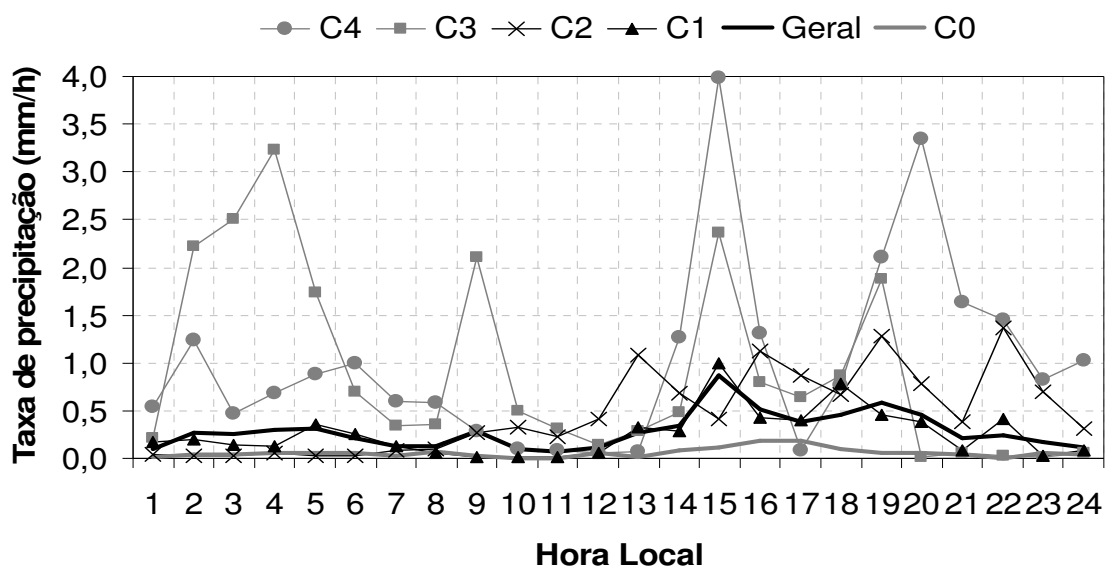


**Figura 1** – Precipitação acumulada em 24 horas nas quatro redes de estações do TRMM-LBA divididas em quartis.

### 3.2 Ciclos diários

Na Figura 2 apresenta-se o ciclo diário da média de todas as redes de estações divididas pelos critérios Q0 a Q4 e para todo o experimento. O ciclo diário geral exibe dois máximos sendo o principal no período diurno e com intensidade de  $0,80 \text{ mm h}^{-1}$  às 1500 HL e um secundário no período noturno de  $0,50 \text{ mm h}^{-1}$  às 1900 HL. Além disso, essa curva apresenta outra precipitação noturna em torno de

$0,30 \text{ mm h}^{-1}$  às 0400 HL. A variação diária relativa ao critério C0 apresenta um único máximo de  $0,25 \text{ mm h}^{-1}$  às 1600 HL. Verifica-se que quanto mais intensos os eventos de precipitação, critérios C4 e C3, as curvas tomam uma configuração trimodal, com um máximo principal às 1500 HL e dois máximos no período noturno. Por outro lado, os critérios C2 e C1 apresentam-se em curvas com comportamento entre C4 e C3 e C0 e geral.



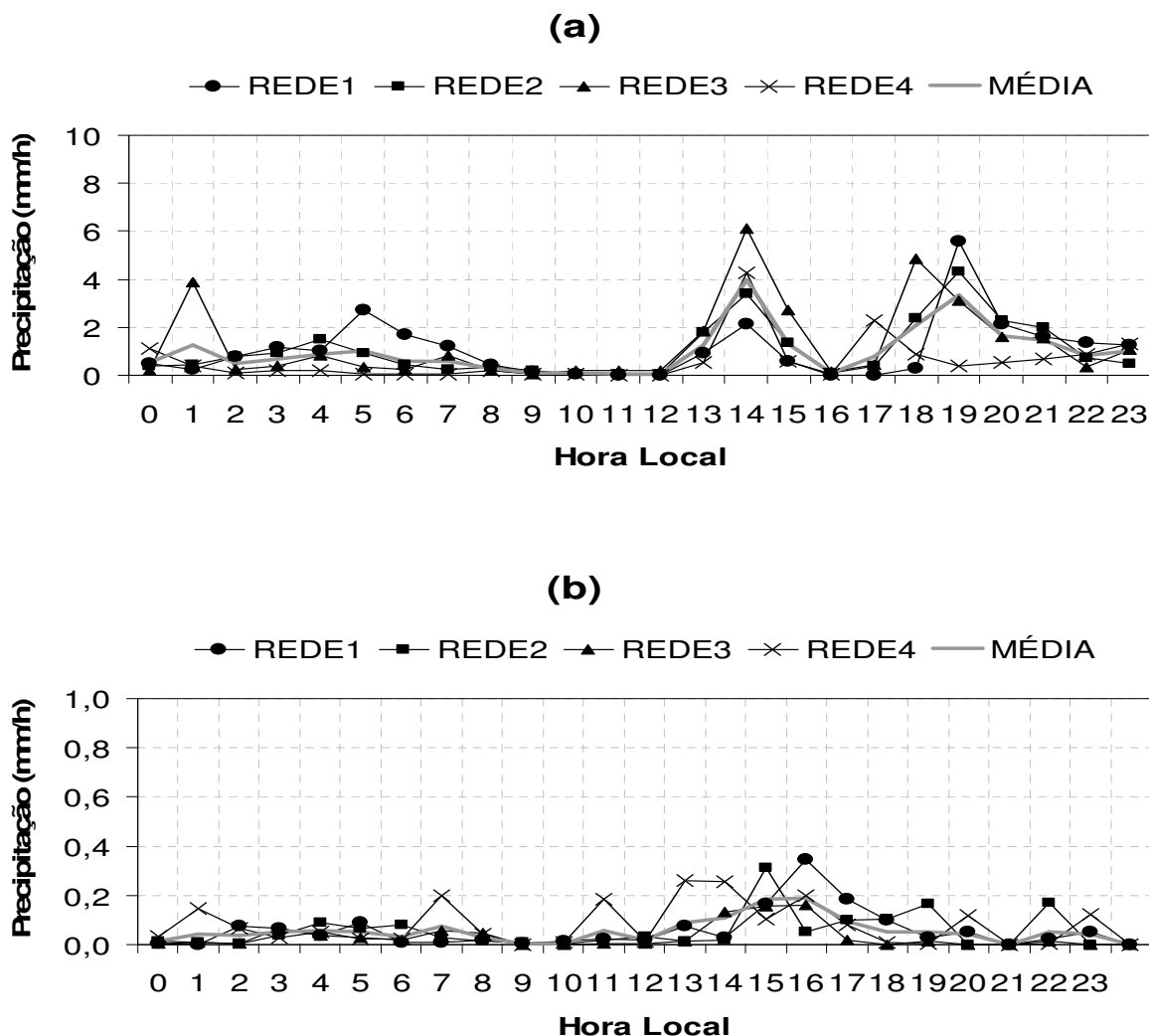
**Figura 2** – Ciclo diário da precipitação média das quatro redes divididas de acordo com os critérios Q0 a Q4 e o ciclo geral do experimento TRMM-LBA.

Mostra-se na Figura 3 o ciclo diário de precipitação para os critérios C4 (Figura 3a), C0 (Figura 3b) para todas as redes de estações e a média normalizada do critério C4, C0 e para o período Geral (Figura 3c). A marcha horária de precipitação é consistente nas quatro redes de estações

tanto no critério C4 quanto no critério C0. No caso do critério C4, apesar de algumas diferenças nas intensidades das chuvas observadas, o máximo diurno às 1400 HL é verificado para todas as redes de estações, enquanto os máximos noturnos são distribuídos em diferentes horários. Ao

mesmo tempo, as curvas para o critério C0 são, logicamente, de menor intensidade e centradas entre 1400 e 1700 HL, embora alguns eventos de precipitação noturna ocorra esporadicamente. Quanto à variabilidade diária normalizada (Figura 3c), nota-se claramente que os mecanismos que provocam as chuvas intensas acabam modulando o ciclo diário geral de

precipitação. Nota-se que com o critério C0, o máximo é preferencialmente entre 1600 e 1700 HL bem mais intenso que o máximo durante o período noturno. Por sua vez, a curva de C4 e, por conseguinte, a curva do ciclo diário médio do experimento apresenta o padrão de três picos conforme descrito anteriormente.



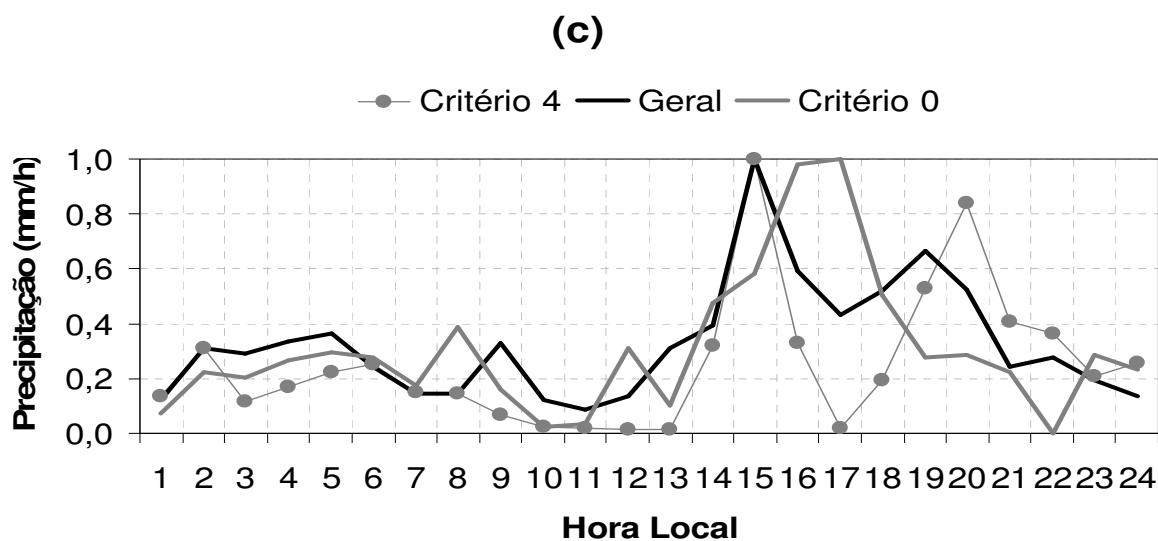


Figura 3 – Ciclo diário de precipitação observada: (a) com o critério C4 para as quatro redes de estações e para a média entre elas; (b) idêntica a (a), porém aplicando-se o critério C0; (c) ciclo normalizado da precipitação média de todas as redes para C4, C0 e experimento Geral.

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

O ciclo diário de precipitação é a principal escala periódica com aplicações em previsão do tempo, pois as atividades humanas são, em geral, organizadas em função das 24 horas de um dia. Entretanto, ainda é a escala em que os modelos numéricos de previsão de tempo usados pelos meteorologistas falham. Em um contexto de mudanças climáticas essa também será uma das escalas mais afetadas; pois, embora não conclusivos alguns estudos mostram, por exemplo, que as mudanças climáticas acarretam noites mais quentes no Sul do Brasil (MARENGO & CAMARGO, 2007).

Os dados apresentados revelam que os eventos mais intensos de precipitação sobre o Estado de Rondônia modulam o ciclo diário de precipitação. A princípio isso parece muito óbvio, pois em termos médios, os valores mais elevados acabam por definir o comportamento de uma curva. Porém, em se tratando de uma região continental de forte atividade convectiva, como é o caso da Amazônia, espera-se que o mecanismo de convecção local seja o principal modulador das chuvas (YANG & SMITH, 2006). Assim, os resultados aqui apresentados corroboram com a hipótese de que a interação entre os sistemas transientes de mesoescala formados principalmente na costa Norte e Nordeste do Brasil é o principal modulador do ciclo



diário de chuvas nessa parte da Amazônia (COHEN *et al.*, 1995; RICKENBACH, 2004) e interação entre a escala local e a meso escala deve ser alvo de estudos concernentes à modelagem numérica sobre a região.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANAGNOSTOU, E. N.; MORALES, C. A. Rainfall estimation from TOGA radar observations during LBA field campaign. **Journal of Geophysical Research**, DOI: 10.1029/2000JD000337, 2002.
- COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, v.123, n. 11, p. 3163–3174, 1995.
- FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J. R. P.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 4, p. 395-408, 1998.
- FISCH, G.; TOTA, J.; MACHADO, L. A. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; LYRA, R. F. DA F.; NOBRE, C. A.; DOLMAN, A. J.; GASH, J. H. C. The convective boundary layer over pasture and fores in Amazônia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n.1-4, p. 47-59, 2004.
- GARSTANG, M.; MASSIE JR., H. L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, S. Amazon coastal squall lines. Part I: structure and kinematics. **Monthly Weather Review**, v.122, n.4, p. 608–622, 1994.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **The scientific basis**: contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: University Press, 2007. 996f. Edited by Solomon et al.
- LIMA, K.C.; SATYAMURTY, P.; FERNANDEZ, J. P. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, DOI: 10.1007/s00704-009-0207-9, 2009.
- LIMA, M. A. E WILSON, J. W. Convection storm initiation in a moist tropical environment. **Monthly Weather Review**, v. 136, n. 6, p. 1847-1864, 2008.
- MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: a comparison of different vegetation types and large scale forcing. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 61-77, 2004.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 893-904, 2007.
- MARENGO, J. A.; FISCH, G.; MORALES, C.; VENDRAME, I.; DIAS, P. C. Diurnal variability of rainfall in Southwest Amazonia during the LBA-TRMM field campaign of the Austral summer of 1999, **Acta Amazônica**, v. 34, n.4, p. 593-603, 2004.
- MUZA, M.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Intraseasonal and Interannual

- Variability of Extreme Dry and Wet Events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer. **Journal of Climate**, v. 22, p. 1682-1699, 2009.
- RICKENBACH, T. M. Nocturnal cloud systems and the diurnal variation of clouds and rainfall in Southwestern Amazonia. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 5, p. 1201-1219, 2004.
- RICKENBACH, T. M.; NIETO FERREIRA, R.; HALVERSON, J.; HERDIES, D. L.; SILVA DIAS, M. A. F. Modulation of convection in the southwestern Amazon basin by extratropical stationary fronts. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n. D20, 8040, doi: 10.1029/2001JD000263, 2002.
- SANTOS E SILVA C. M.; GIELOW R.; FREITAS S. R. Diurnal and semidiurnal rainfall cycles during the rain season in SW Amazonia, observed via rain gauges and estimated using S-band radar. **Atmospheric Science Letters**, v.10, n.2, p. 87-93, 2009.
- SILVA DIAS, M. A. F.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; SILVA DIAS, P. L.; NOBRE, C. A.; FISCH, G.; DOLMAN, A. J.; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A. O.; FUENTES, J. D.; ROCHA, H. R.; MARENGO, J.; PLANA-FATTORI, A.; SÁ, L. D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; GIELOW, R.; GATTI, L. Cloud and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in Amazon region. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n. D20, 8072, doi: 10.1029/2001JD000335, 2002a.
- SILVA DIAS, M. A. F. ; PETERSEN, W. ; SILVA DIAS, P. L.; CIFELLI, R. ; BETTS, A. K. ; GOMES, A. M. ; FISCH, G.; LIMA, M. A. ; LONGO, M.; ANTONIO, M. A. ; ALBRECHT, R. I. A case study of the organization of convection into precipitating convective lines in the Southwest Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 391-3920, 2002b.
- STRONG, C.; FUENTES, J. D.; GARSTANG, M. Daytime cycle of low-level clouds and the tropical convective boundary layer in Southwestern Amazonia. **Journal of Applied Meteorology**, v. 44, n. 10, p. 1607-1619, 2005.
- TOTA, J.; FISCH, G.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P. J.; GARSTANG, M.; HEITZ, R.; SIGLER, J. Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 - projeto TRMM/LBA. **Acta Amazônica**, v. 30, n.4, p. 629-639, 2000.
- YANG, S. E SMITH, E. A. Mechanism for diurnal variability of global tropical rainfall observed for TRMM. **Journal of Climate**, v. 19, n. 20, p. 5190-5226, 2006.