

CICLO DIÁRIO E SISTEMAS PRODUTORES DE PRECIPITAÇÃO EM RONDÔNIA

Paulo Gustavo Cervantes Dias

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA), São José dos Campos, 12228-900, SP (cervante@h8.ita.cta.br)

Íria F. Vendrame

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA – Depto. de Hidráulica), São José dos Campos, 12228-900, SP
(hiria@infra.ita.cta.br)

Gilberto Fisch

Centro Técnico Aeroespacial (CTA/IAE - ACA), São José dos Campos, 12228-904, SP
(gfisch@iae.cta.br)

José A. Marengo

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), Cachoeira Paulista, 12630-000, SP
(marengo@cptec.inpe.br)

INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior bacia hidrográfica do mundo, possuindo características que lhe são peculiares, tais como a ocorrência de forte atividade convectiva. A vasta extensão da Amazônia e sua posição no Trópico Úmido conferem à região um potencial para influenciar os balanços globais de energia, água e carbono. A liberação de energia de calor latente associada a esta convecção exerce forte influência no clima fora dos trópicos.

A precipitação é um dos elementos climáticos mais importantes a serem analisados na região tropical, graças a sua influência nas características e comportamento dos outros elementos, como temperatura, umidade relativa, ventos e etc. Apesar da medida de precipitação ser realizada de maneira simples, a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de serem medidas, uma vez que são freqüentes erros instrumentais, de exposição e localização.

Salati et al. (1978) usando balanço hídrico, técnicas isotópicas e métodos aerológicos, determinaram que a precipitação na região é oriunda da água evaporada localmente (evapotranspiração) adicionada a uma contribuição advinda do Oceano Atlântico. Assim estima-se que 50% do vapor d'água que precipita pelas chuvas é gerado localmente, sendo o restante oriundo do fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico. Segundo Salati & Vose (1984), a contribuição do Oceano Pacífico é mínima.

A estação chuvosa da Região Amazônica começa no mês de Setembro (podendo começar até no princípio de Outubro) iniciando-se na região sudoeste, movimentando-se para a região noroeste. A estação chuvosa termina no mês de Abril, o fim da estação chuvosa começa na região sudoeste caminhando até chegar na região noroeste. (Marengo et al., 1999).

A região do estado de Rondônia está sujeita à influência de alguns eventos circulatórios quase permanentes, mas com oscilação sazonal. A movimentação do anticiclone do Atlântico sul para sudeste e o desenvolvimento de uma região de baixa pressão no continente é responsável por alguns desses eventos. Um desses eventos é a convergência de umidade associada a uma grande atividade convectiva sobre a área.

Recentemente o projeto ABRACOS, desenvolvido entre 1990 e 1995, instalou-se em três sítios experimentais na Amazônia, com o propósito de estudar as possíveis influências do desmatamento no clima, coletando dados micrometeorológicos em áreas de floresta e desmatadas para formação de pastagens agropecuárias. Uma descrição completa sobre o Projeto ABRACOS pode ser encontrada em Gash et al. (1996).

Ferreira da Costa et al. (1998) estudaram a variabilidade diária da precipitação em regiões de pastagem e floresta na região amazônica, utilizando-se dos dados obtidos no projeto ABRACOS em Jí-Paraná, durante o trimestre mais chuvoso (j/f/m). Os resultados indicaram que ocorre uma maior precipitação (em volume de água) na área de floresta, em relação à área de pastagem, de aproximadamente 28%. Na área de pastagem, ocorreu uma concentração acentuada de eventos chuvosos entre 13-18 HL, com 33,5% dos casos. Na área de floresta, a maior concentração pode ser observada à tarde, no entanto quase há um equilíbrio entre o período diurno (7-18 HL) e noturno (19-6 HL) com

respectivamente 51,2% e 48,8% dos casos. Esse equilíbrio se deve à capacidade da floresta de atenuar a retenção/liberação de energia.

Molion (1987; 1993) estudou os processos dinâmicos envolvidos na precipitação da Região Amazônica, sendo que três tipos de mecanismos físicos foram identificados: convecção diurna, linhas de instabilidade oriundas da costa N-NE e aglomerados convectivos. A convecção diurna é resultante do aquecimento da superfície, com grande papel na formação dos eventos chuvosos estudados. Os aglomerados convectivos de meso e larga escala estão associados com a penetração de sistemas frontais na região S-SE. No caso específico de Rondônia, a produção de chuva pode ser de origem convectiva local ou associada com a formação de sistemas de mesoescala (Tota et al., 1999).

O projeto LBA (experimento de Grande Escala da Biosfera - Atmosfera na Amazônia) teve o seu início em janeiro/fevereiro de 1999, juntamente com uma das campanhas de campo do projeto NASA-TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). O objetivo do projeto LBA é o de entender o funcionamento da Amazônia como uma entidade única, em termos dos ciclos hidrometeorológicos, biogeoquímicos, e uso do solo.

O projeto TRMM ocorreu na mesma região com o objetivo de coletar dados do ciclo hidrológico. Os dados foram utilizados na calibragem de algoritmos que foram usados juntamente com as medidas efetuadas pelo satélite TRMM com a finalidade de estimar a chuva na região tropical. O ciclo diário de precipitação e atividades convectivas, assim como as suas variações durante eventos meteorológicos relevantes, foram estudados nesse trabalho baseados nos dados obtidos nos projetos LBA e TRMM.

Este trabalho tem como objetivos estudar a variabilidade diária de precipitação que ocorreu durante o experimento LBA-TRMM (janeiro e fevereiro de 1999), com ênfase em caracterizar os períodos de maior frequência de precipitação, e também o de associar a ocorrência de alguns eventos chuvosos importantes com mecanismos meteorológicos atuantes na região durante o experimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de precipitação horários analisados neste trabalho são aqueles coletados pela rede de pluviômetros (40 postos espalhados ao redor da cidade de Jí-Paraná - RO) do experimento LBA-TRMM, e por 8 pluviômetros espalhados no estado de Rondônia, pertencentes à rede de Meteorologia da Secretaria de Meio Ambiente de Rondônia (Figura 1). Os 40 postos do experimento LBA-TRMM foram agrupados em quatro "networks". As coordenadas geográficas dos postos pluviométricos e seus respectivos períodos de funcionamento estão dispostos na Tabela 1.

Tabela – 1. Coordenadas geográficas dos pluviômetros.

Localidade	Latitude	Longitude	Período de Funcionamento
Network 1	10° 51' 36" S	61° 50' 24" W	22/12 a 28/02/1999
Network 2	10° 45' 00" S	62° 10' 48" W	22/12 a 28/02/1999
Network 3	10° 36' 00" S	62° 20' 24" W	22/12 a 28/02/1999
Network 4	10° 21' 00" S	62° 35' 24" W	22/12 a 28/02/1999
Rebio Jarú	10° 08' 00" S	61° 54' 00" W	18/01 a 28/02/1999
Rancho Grande	10° 18' 00" S	62° 52' 12" W	01/01 a 25/02/1999
Rolim de Moura	11° 42' 00" S	61° 46' 24" W	21/01 a 20/02/1999
Cacoal	11° 29' 01" S	61° 22' 46" W	22/12 a 28/02/1999
Vilhena	12°; 47' 12" S	60° 05' 39" W	22/12 a 28/02/1999
Guajará Mirim	10° 47' 21" S	65° 16' 50" W	22/12 a 28/02/1999
Porto Velho	08° 47' 42" S	63° 50' 46" W	22/12 a 28/02/1999
Ariquemes	09° 56' 05" S	62° 57' 42" W	22/12 a 28/02/1999

Alguns pluviômetros estavam localizados em grupos e para cada grupo foi escolhido um pluviômetro padrão que representasse todo o grupo. Para se fazer a escolha do pluviômetro padrão utilizou-se uma análise estatística (através do coeficiente de correlação estatística). Escolheu-se um pluviômetro que não apresentava falhas de dados e foram calculados os coeficientes de correlação estatística entre este posto e os restantes do grupo. Os coeficientes de correlação calculados foram superiores a 0,9 o que garante que este posto possa representar a chuva na área de abrangência do network.

Inicialmente os dados coletados foram corrigidos e tratados, aplicando-se técnicas hidrológicas de correção e de dupla massa, segundo a metodologia apresentada em Tucci (1997). Com os dados corrigidos e tratados, foi calculada a série de precipitações acumuladas para cada pluviógrafo padrão e assim como também foi calculada a frequência de ocorrência da precipitação em termos de ciclo diário. Trabalhar com precipitações acumuladas tornou possível a realização de uma análise global dos dados obtidos nos diferentes grupos. Um exemplo da série de precipitações acumuladas pode ser observado na Figura 1.

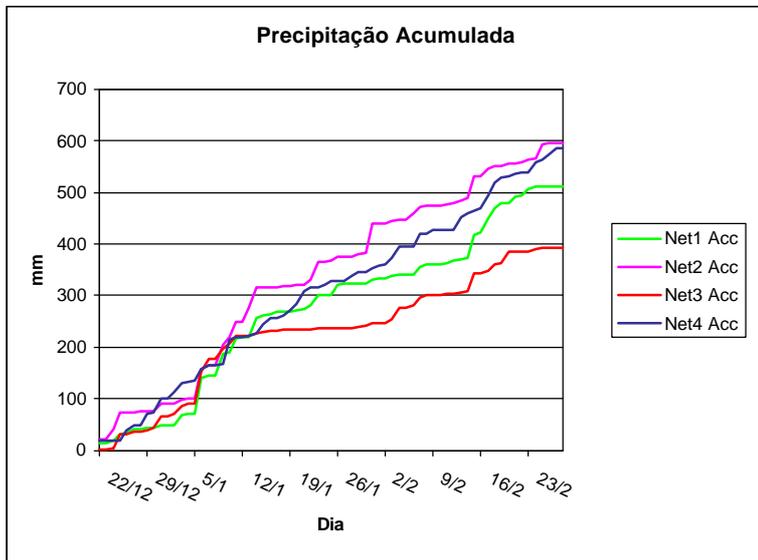


Figura – 1. Precipitações acumuladas para os 4 networks.

A partir dos dados foi verificado o ciclo diário da precipitação e os possíveis sistemas produtores de chuva na região. Para todos os pluviógrafos padrão foi calculada a precipitação média diária, visando caracterizar os dias com maior atividade convectiva durante o experimento. Os gráficos das precipitações médias diárias mostraram-se bastante úteis para se determinar os dias com precipitações mais intensas. A análise simultânea das precipitações médias de outras estações pôde auxiliar na identificação de mecanismos meteorológicos atuantes na região em um determinado período. Também foram realizados gráficos da precipitação média diária para todos os pluviógrafos, sendo que um desses gráficos está apresentado na Figura 2.

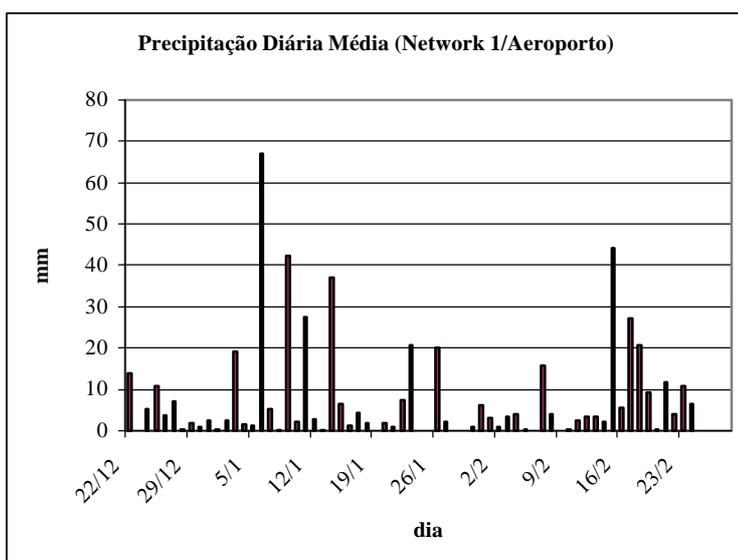


Figura – 2. Precipitações médias diárias.

As precipitações horárias foram divididas em quatro categorias: precipitações horárias menores que 1mm, e maiores que 1mm, 5mm e 10mm. Foi realizada a contagem do número de eventos de precipitação em cada uma das categorias. A frequência relativa de precipitação foi calculada como a razão entre o número de casos de precipitação da hora i e o número total de casos nas 24 horas (Spiegel, 1972).

$$F_r = (n_i / N) * 100$$

Onde F_r é a frequência relativa de precipitação, n_i é o número de casos ocorridos em determinada hora e N é o número de casos ocorridos nas 24 horas do dia. Um exemplo de gráfico de frequência horária é apresentado na Figura 3. Para cada categoria de chuva foi feito um gráfico semelhante ao apresentado na Figura 3.

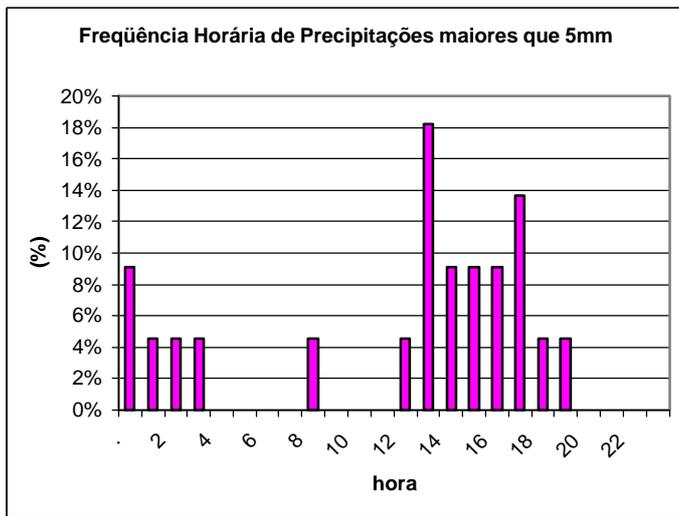


Figura –3. Frequência horária de precipitações maiores que 5mm, para o network 3.

A identificação de mecanismos meteorológicos produtores de chuva foi realizada com o uso do programa Surfer, utilizando uma interpolação dos dados pelo o método de Kriging. Foram feitos gráficos com a hora e dia dos eventos de chuva, tornando possível então determinar a hora e dia dos picos de chuva para cada um dos postos pluviométricos. Foram então identificados os dias críticos, sendo eles os dias compreendidos nos seguintes intervalos: 25 - 26 de Janeiro, 7-8 de Fevereiro e 15-18 de Fevereiro. Estes períodos estão também sendo analisados por outros pesquisadores, usando outras fontes de dados (radiossondagem, radar meteorológico, etc), pois ocorreram eventos significativos na região. Os gráficos de hora e dia de chuva são semelhantes ao apresentado na figura 4.

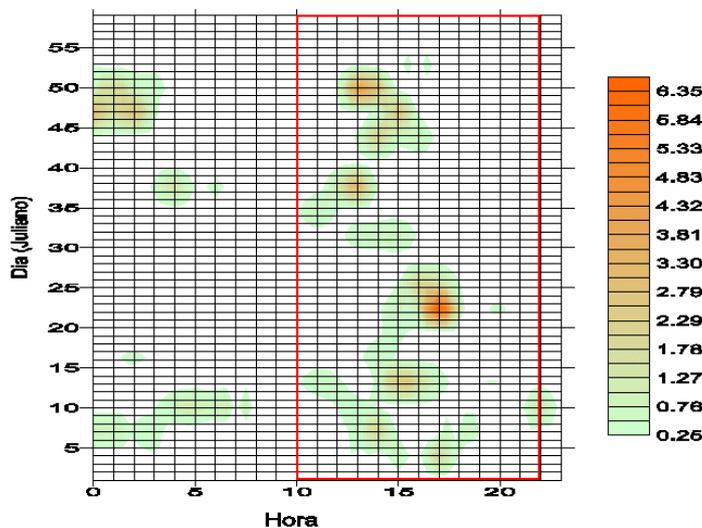


Figura – 4. Série temporal do Network 1

Uma vez determinados os dias críticos, foi realizado um estudo mais aprofundado dos mesmos. Para cada um dos dias críticos foi pesquisado o horário em que começou a maior precipitação do dia em cada um dos postos pluviográficos. Para cada dia crítico foi feito um mapa com as coordenadas geográficas dos postos pluviográficos e os horários de início de chuva. Com esses mapas foi possível determinar a procedência dos eventos chuvosos, e seu caminho de propagação. Um dos mapas envolvidos nesse estudo está apresentado na figura 5.

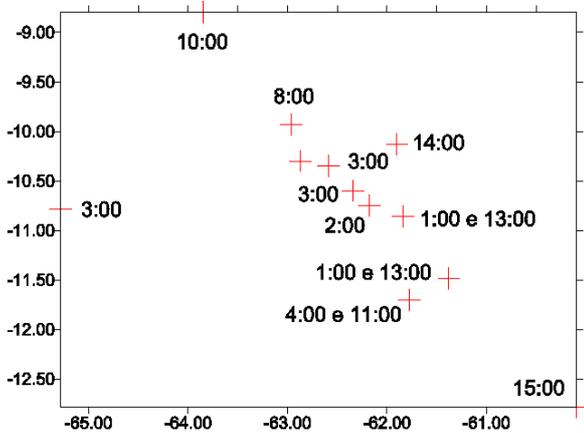


Figura – 5. Mapa do início da maior precipitação do dia 18/02/99

Foram realizados gráficos de isoietas para os dias críticos, utilizando-se o programa Surfer. A análise das isoietas permite uma análise complementar de como a distribuição da precipitação ocorreu na região estudada. Os gráficos de isoietas são do tipo do gráfico apresentado na Figura 7.

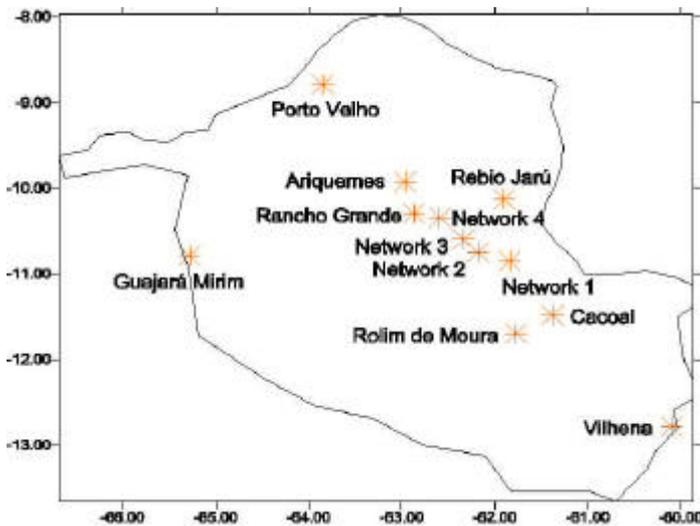


Figura – 6. Localização geográfica dos pluviógrafos.

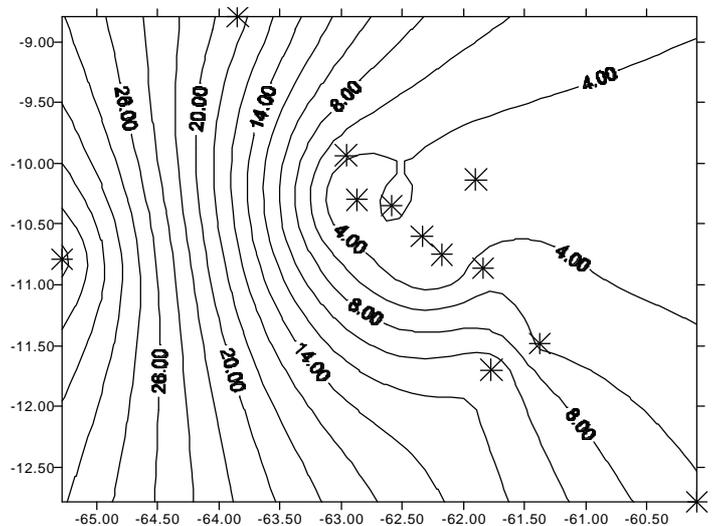


Figura – 7. Isoietas do dia 16/02/99, h em mm

O cálculo da precipitação média na área foi realizado utilizando-se o método de Thiessen (Tucci, 1997). Foi calculada a área da bacia estudada, que compreendeu nove estações descritas na Tabela 3. A bacia estudada foi delimitada por nove estações localizadas em uma região de uma boa densidade de estações. Separou-se então uma região menor para o estudo da precipitação total. O restante das estações foi descartado neste cálculo por estar muito disperso geograficamente. Elaborou-se um gráfico dos valores de precipitação média diária na área, como se pode observar na Figura 8. Houve períodos em que algumas estações não funcionaram, logo o período em que todas as estações estavam em pleno funcionamento (de 21/01/99 até 21/02/99) é o período em que os valores de precipitação diária na área são mais confiáveis.

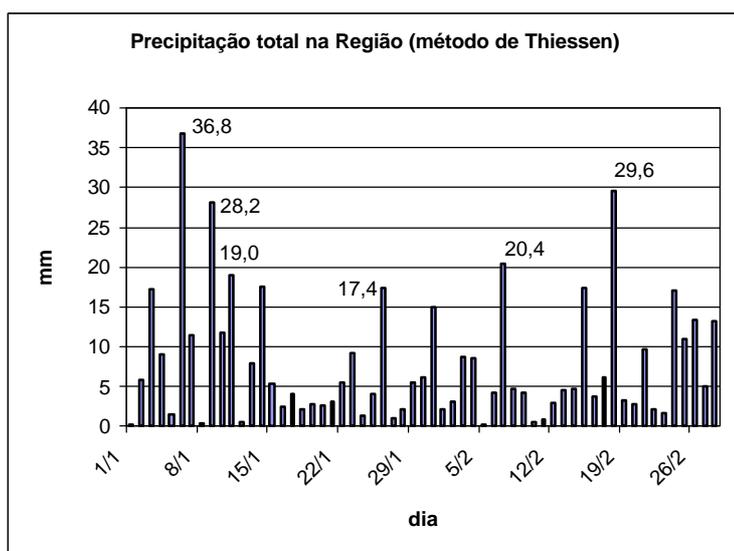


Tabela 3. Estações envolvidas no cálculo da precipitação média diária na região.

Localidade	Peso ponderado
Network 1	0,06
Network 2	0,15
Network 3	0,06
Network 4	0,06
Rebio Jarú	0,37
Rancho Grande	0,03
Rolim de Moura	0,10
Cacoal	0,10
Ariquemes	0,07

Figura 8. Precipitação média diária na região (método de Thiessen).

RESULTADOS

Basicamente os resultados podem ser divididos em cinco grupos, distintos por tipo de análise: precipitações acumuladas, distribuição de frequência horária, precipitações médias diárias, precipitação total na área, séries temporais e isoietas.

No que se refere às precipitações acumuladas, observa-se que houve uma certa variação entre os totais acumulados dos networks. É importante ressaltar que se uma estação pluviográfica começou a funcionar após o restante, a análise de sua precipitação total acumulada deve ser feita em separado, considerando que o tempo de acumulação de precipitação foi menor. Quatro networks começaram a funcionar a partir do dia 22/12/1998, coletando dados até o dia 28/02/1999. Para esses quatro networks foi calculada uma média aritmética das precipitações acumuladas que foi de 521,7mm. O máximo de precipitação total acumulada no período de 22/12/1998 até 28/02/1999 para esses quatro networks foi de 567,6mm, no network 2, e o mínimo foi de 393,2mm, no network 3. O network 3 apresentou um período quase sem precipitação, desde o dia 14/01/1999 até o dia 30/01/2000, enquanto os outros networks registraram precipitações significativas. A hipótese de erro no registro da chuva não pode ser descartada na análise de tal discrepância.

Os outros quatro pluviógrafos começaram em dias distintos. A estação ABRACOS mesmo com um menor tempo de funcionamento obteve a maior precipitação acumulada de todas as estações, um valor de 790,9mm no período de 10/01/1999 até 28/02/1999. A menor precipitação total acumulada foi obtida na estação de Rebio Jarú, um valor de 253,9mm no período de 18/01/1999.

Os gráficos de frequência horária permitem uma análise da variação de precipitação horária. As precipitações foram classificadas em quatro tipos em função de sua intensidade: as maiores de que 10mm, as maiores de que 5mm, as maiores de que 1mm e as menores de que 1mm. Para cada grupo de pluviógrafos (networks) foi realizado um gráfico de frequência horária para cada tipo de precipitação.

Analisando os gráficos de frequência horária de precipitação, foi possível observar a ocorrência de dois horários pico de precipitação, sendo que um ocorre no período da tarde e o outro ocorre no período da madrugada. O horário pico do período da tarde ocorre por volta das 16:00 HL, e é devido à convecção local. Já o horário pico da madrugada ocorre por volta das 4:00, causado pela presença de chuva produzida por mecanismos de mesoescala. Tais mecanismos foram identificados duas vezes durante o período de estudo nos dias 15 e 18/02/1999.

Entretanto a precipitação diária média máxima ocorreu no dia 09/01/1999 sendo de 134mm na estação de Guajará Mirim. Analisando as precipitações máximas de cada um dos networks, observou-se que a estação Rebio Jarú e Network 4 receberam menos chuva do que as demais, sendo que a precipitação diária máxima desses networks foi de

aproximadamente 49mm, a menor entre todas as precipitações diárias máximas dos outros networks. Analisando todas as estações durante o período de 01/01/1999 até 28/01/1999, calculou-se uma média de 40 dias com precipitação.

O cálculo da precipitação média diária na área permite uma análise geral de como os totais de precipitação se comportaram diariamente na região estudada. A área de estudo foi a da bacia delimitada pelos nove pontos descritos na Tabela 3. O máximo de precipitação calculada na área ocorreu no dia 06/01/1999, sendo um valor de 37mm. O mínimo ocorreu no dia 01/01/1999, sendo um valor de 0,1mm. Houve intervalos em que a precipitação total na área foi muito pequena, como nos dias 10 e 11/02/1999 quando a precipitação diária total na área foi de 0,49mm e 0,95mm respectivamente.

As isoietas possuíram um papel importante no estudo da propagação de sistemas produtores de precipitação na área, juntamente com a análise geográfica dos horários de precipitação dos dias críticos. Assim, foi possível identificar a formação de sistemas locais na maioria dos casos. Também houve a identificação de sistemas oriundos do SE, movimentando-se na direção NW, nos dias 08, 15 e 18/02. Só foi identificado um sistema oriundo do NE-E se movimentando na região na direção SW-W, no dia 26/01/99. Nos outros dias foi impossível realizar qualquer tipo de identificação.

COMENTÁRIOS FINAIS

Analisando os gráficos de precipitação diária média pode-se observar alguns períodos de seca em alguns networks, mas não em outros. Por exemplo, durante o período entre 28/01/1999 e 30/01/1999 não foi registrada nenhuma precipitação no network 1 enquanto no network 4 foi registrada precipitação. Esses períodos de seca também podem ser observados na análise dos gráficos de precipitação acumulada

Também foram detectados períodos secos no mês de fevereiro, sendo que um deles começou no dia 8/02/1999 e terminou no dia 10/02/1999. Esses períodos secos dentro da estação chuvosa são também chamados de verânicos. Mesmo assim os totais de precipitação nos meses de janeiro e fevereiro em alguns networks superaram a normal climatológica, como no network 3, por exemplo. O network 3 registrou uma precipitação acumulada de 322 e 468mm em janeiro e fevereiro, respectivamente.

A impossibilidade de identificar a propagação de mecanismos produtores de precipitação deve ser associada ao fato de que muitos eventos de precipitação são formados na região e não oriundos de fora.

AGRADECIMENTOS

Os autores, em especial Paulo Gustavo. C. Dias agradecem à FAPESP por apoiar este projeto (bolsa de Iniciação Científica 99/05106-2) e a todos os envolvidos na obtenção dos dados necessários ao projeto.

CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira da Costa, R., Feitosa, J.R.P., Fisch, G., Souza, S.S. e Nobre, C.A. 1998. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. *Acta Amazônica*, 28(4): 395-408.

Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J. M.; Victoria, R.L. 1996. An overview of ABRACOS. In J.H.C. Gash; C.A. Nobre; J.M. Roberts and R.L. Victoria, (eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley and Sons, Chichester – UK, p. 1-14.

Marengo, J.; Liebmann B.; Kousky, V.; Filizola, N.; Wainer I.; 1999. The onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*.

Molion, L.C.B. 1987. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1):107-117.

Molion, L.C.B. 1993. Amazonia Rainfall and its variability. *Hydrology and water management in the humid tropics*. International Hydrology Series. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 99-111.

- Salati, E.; Marques J.; Molion, L.C.B. 1978. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. *Interciência*, 3: 200-206.
- Salati, E.; Vose, P. B. 1984. Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, 225(4658): 129-128.
- Spiegel, M.R. 1972. *Estatística*, Mc Graw Hill do Brasil, São Paulo, 580p.
- Tota, J.; Fisch, G.; Garstang, M.; Fuentes, J.; Oliveira, P.J.; Heitz, R.; Sigler, J. 1999. Análise de precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 – Projeto TRMM/LBA. *Acta Amazonica*.
- Tucci, C.E.M. 1997. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Editora da Universidade/ABRH, seg.ed., Porto Alegre, 943p.