

# Variabilidade Horária da Taxa de Precipitação e seu Efeito no Desempenho de Sistemas de Comunicações por Satélite

Jorge L. Cerqueira<sup>1</sup>, Mauro S. Assis<sup>2</sup>

**Resumo**— Este trabalho propõe um novo critério para a avaliação do desempenho de sistemas de comunicações por satélite de baixa disponibilidade. Este critério relaciona-se à variabilidade horária da taxa de precipitação e foi estruturado a partir de medidas com pluviógrafos realizadas na região Amazônica. Considerações de caráter prático destacam as condições de aplicabilidade do critério, incluindo a comparação com o procedimento usual, que tem por base a distribuição cumulativa da taxa de precipitação no pior mês.

**Palavras-Chave**— taxa de precipitação, região Amazônica, conceito de pior mês, radiometeorologia,

**Abstract**— This paper proposes a new criterion to be used in the evaluation of low availability satellite system performance. This criterion is related to diurnal variability of rainfall rate and was developed based on measurements carried out in the Amazon region. Practical considerations point out its applicability, including a comparison with the usual procedure associated to the worst month rainfall rate cumulative distribution.

**Keywords**— precipitation rate, Amazon region, worst month, radiometeorology.

## I. INTRODUÇÃO

Em trabalho recente [1], os autores destacaram a importância de considerar a variação horária da precipitação na análise do desempenho de sistemas de comunicações por satélite de baixa disponibilidade operando em frequências acima de 10 GHz. Em particular, esta consideração aplica-se ao serviço de radiodifusão por satélite (DTH – *Direct To Home*) e sistemas VSAT (*Very Small Aperture Terminals*), onde os critérios de qualidade e disponibilidade utilizados no dimensionamento de tais enlaces têm por base a distribuição cumulativa da taxa de precipitação no pior mês. O estudo realizado teve por base medidas com pluviógrafos realizadas em 3 (três) sítios localizados na região amazônica, quais sejam, Belém [1°23'S; 48°26'O], Macapá [0°02'S; 51°05'O] e Cruzeiro do Sul [7°36'S; 72°40'O].

<sup>1</sup> Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro – RJ - [jlcerq@terra.com.br](mailto:jlcerq@terra.com.br)

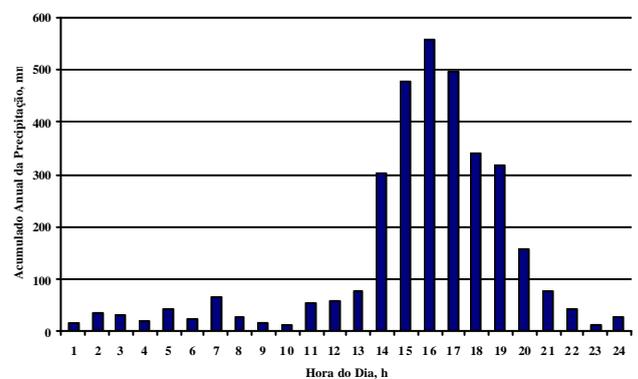
<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense – Niterói -RJ, [msassis@openlink.com.br](mailto:msassis@openlink.com.br)

As elevadas taxas de precipitação observadas nesta região tornam mais crítico o problema em questão. Conforme será mostrado, os resultados obtidos indicaram que para percentagens de tempo superiores a 0,01% do pior mês existem situações onde a distribuição horária se torna relevante. Pretende-se neste trabalho aprofundar o estudo desenvolvido na citada referência, justificando com mais detalhe o procedimento empregado para avaliar o comportamento estatístico da atenuação do sinal. Embora fora do contexto principal do trabalho, é importante lembrar que os parâmetros utilizados na avaliação do desempenho de enlaces via satélite são [2]:

- Percentagem do ano ou do pior mês durante a qual o objetivo de qualidade é atendido;
- Percentagem de tempo do ano ou do pior mês durante a qual o serviço é aceitável (disponibilidade do serviço).

## II. VARIAÇÃO HORÁRIA DA PRECIPITAÇÃO

A Figura 1 apresenta a variação horária da precipitação acumulada nos sítios de Belém, Macapá e Cruzeiro do Sul. Embora estejam localizados na mesma região climática, observa-se, pela figura, que o comportamento da precipitação acumulada varia de um sítio para outro. Em Belém existe uma forte concentração de chuva no período da tarde e baixa concentração nos períodos matinal e noturno. O sítio de Macapá evidencia certa homogeneidade ao longo de todo o dia. Por outro lado, verifica-se no sítio de Cruzeiro do Sul um comportamento intermediário, em relação aos dois anteriores.



(a)

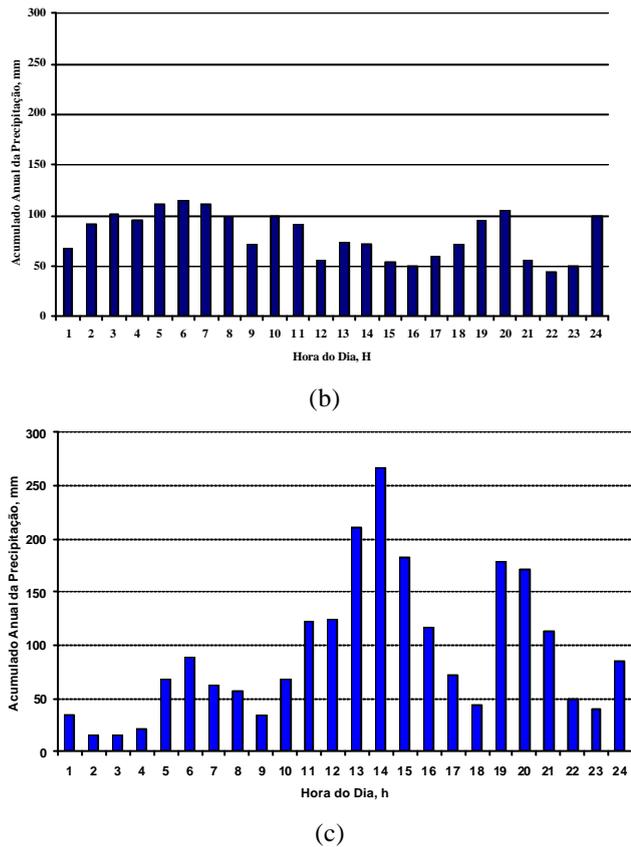


Fig. 1. Variação do Acumulado Anual de Precipitação com a Hora do Dia: (a) Belém; (b) Macapá; (c) Cruzeiro do Sul

Cumprir destacar que medidas provenientes de outras localidades da Amazônia (ver Figura 2) levaram a resultados que se enquadram em um dos três casos mostrados na Figura 1.

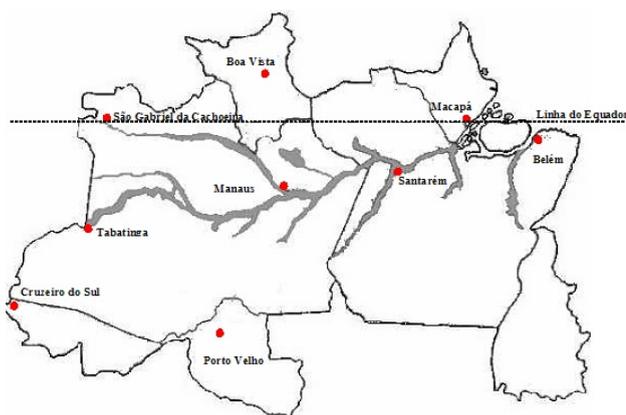


Fig. 2. Distribuição dos Pluviógrafos na região Amazônica.

### III. O CONCEITO DE PIOR PERÍODO DE DUAS HORAS

Em função dos resultados obtidos na seção anterior, é recomendável que seja investigada a possibilidade de acrescentar aos conceitos de distribuição cumulativa de

precipitação anual e de pior mês, a análise do comportamento estatístico da variação horária da precipitação no planejamento de um sistema satélite de baixa disponibilidade. Embora o estudo realizado não tenha englobado outros climas, esta recomendação se faz necessária, pelo menos para o caso do clima equatorial, onde as elevadas taxas de precipitação observadas podem ocasionar desempenho insatisfatório dos enlaces em determinados períodos do dia.

O primeiro passo neste sentido seria introduzir o conceito de pior hora, definido de uma forma similar ao conceito de pior mês [3], ou seja: para um período de 1 ano, a estatística de pior hora é obtida pela determinação do pior desempenho (mais alta taxa de precipitação) entre todas as horas do dia, para cada um dos níveis de ocorrência anual desejados (percentagens de tempo). Seja  $X(i,j)$  o valor da taxa de precipitação excedida na percentagem anual de tempo “j” e na “i-ésima” hora do dia. A pior hora, correspondente a uma determinada percentagem anual de tempo, “j”, será determinada pela hora, dentre todas as 24 períodos de uma hora que o dia possui, que apresenta o maior valor de  $X(i, j_0)$ . Assim, o maior valor de  $X(i, j_0)$ , “i” variando de 1 a 24, será o valor da taxa cumulativa de precipitação que será considerado na distribuição anual de pior hora para percentagem anual de tempo “j”.

Entretanto, quando se compara a distribuição na pior hora com a distribuição no pior mês, o resultado mostra-se afetado pelo número de intervalos de tempo empregados na obtenção destas distribuições. Isto ocorre porque são utilizados 24 intervalos para o caso de pior hora e 12 para o caso de pior mês. As distribuições estatísticas associadas a pior hora apresentam variações que não são observadas nas correspondentes ao pior mês. Para evitar este efeito, relacionado ao número diferente de intervalos, concentrando a comparação apenas no fenômeno meteorológico, foi proposta [1] a introdução do conceito de pior período de 2 horas, cuja distribuição estatística tem por referência 12 intervalos de tempo, similar ao caso do pior mês.

A Figura 3 apresenta a distribuição correspondente ao pior período de 2 horas para os três sítios analisados e as respectivas distribuições anuais e de pior mês. Verifica-se que, dentro do que pode ser esperado a partir de dados experimentais, existe coerência nos resultados. Para percentagens de tempo superiores a 0,01%, no sítio de Belém a distribuição relativa ao pior período de 2 horas é mais restritiva (maiores taxas de precipitação) do que a do pior mês. A situação se inverte no caso de Macapá, onde a distribuição no pior mês é a que mostra valores mais elevados. Observar que estas duas situações limites podem ser correlacionadas com a precipitação acumulada horária mostrada nas Figuras 1a e 1b. Corroborando estes resultados, devido ao comportamento intermediário em Cruzeiro do Sul (ver Figura 1c), não há praticamente diferença entre as distribuições no pior mês e no pior período de 2 horas.

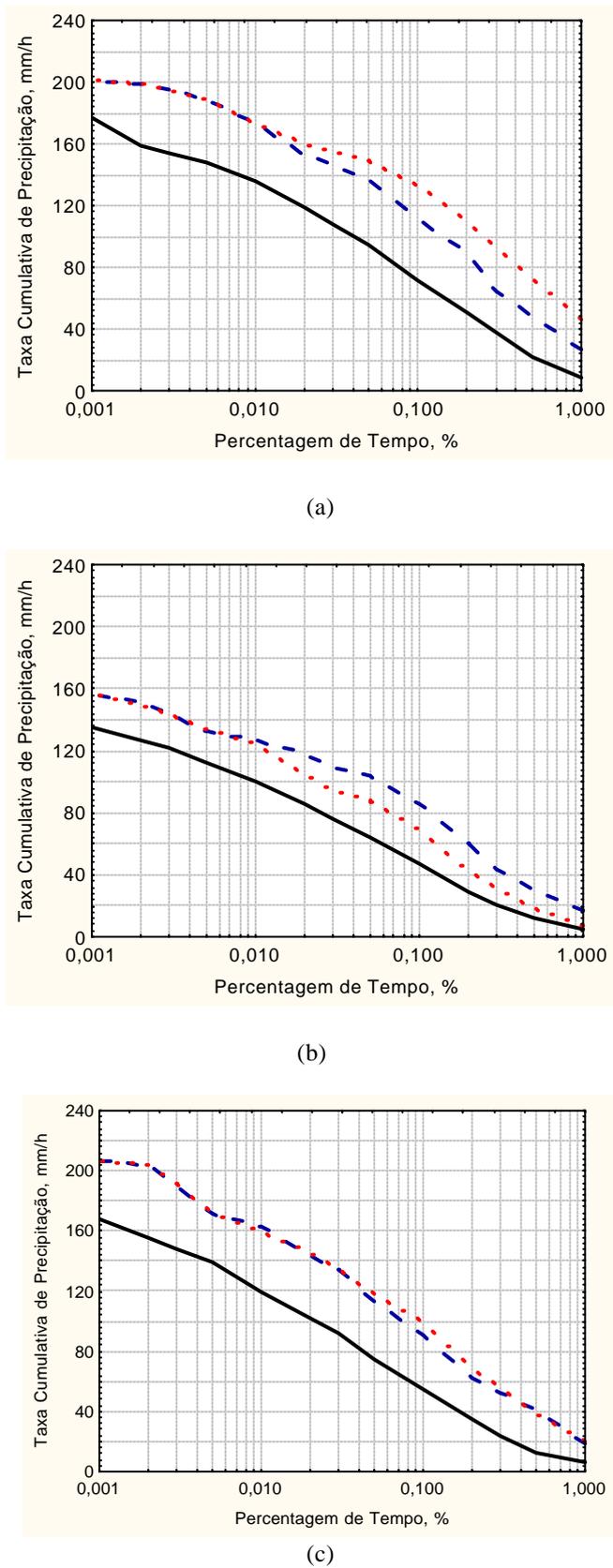


Fig. 3. Distribuições Cumulativas de Precipitação Anual (linha contínua), pior mês (linha tracejada) e período de 2 horas (linha pontilhada): (a) Belém; (b) Macapá; (c) Cruzeiro do Sul

Cumprir acrescentar que nos demais sítios onde foram realizadas medidas, vide Figura 2, resultados similares foram obtidos quanto a comparação entre as distribuições estatísticas de pior mês e de pior período de 2 horas. As equivalências de comportamento foram as seguintes:

- a) Belém e São Gabriel da Cachoeira;
- b) Macapá, Tabatinga e Boa Vista;
- c) Cruzeiro do Sul, Manaus e Santarém.

IV. APLICAÇÃO PRÁTICA DOS RESULTADOS

Com base nos resultados descritos anteriormente, pode-se concluir que o conceito de pior período de 2 horas mostra-se adequado na avaliação de desempenho de sistemas que operam em sítios onde o comportamento da chuva é similar ao observado em Belém, isso é, locais onde o efeito da variação horária da chuva, determinado estatisticamente pelo conceito de pior hora, prevalece sobre a variação mensal (épocas do ano).

Em termos práticos, a aplicação deste conceito pode ser exemplificada da seguinte maneira. Será tomada como referência de projeto a porcentagem limite de 0,3% do pior mês. De acordo com a Figura 3a (Belém), a taxa de precipitação excedida em 0,3% do pior mês corresponde a 64 mm/h. A figura 4 apresenta, para cada período de 2 horas, a porcentagem de tempo em que a taxa de 64 mm/h é excedida. Observa-se que a porcentagem de 0,3% será excedida entre 14 e 18 horas. Conseqüentemente, o critério utilizado no projeto não será atendido neste período do dia.

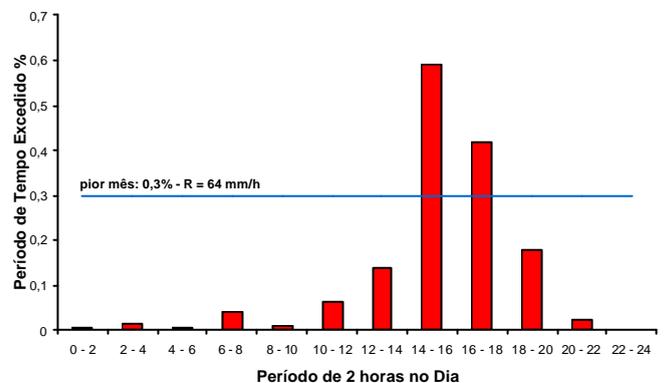


Fig. 4. Período de tempo onde nível de referência de 64 mm/h para Belém é excedido.

Obviamente, o problema pode ser resolvido através do aumento da margem de desvanecimento do enlace. Para implementação desta solução, onde se faz necessário o emprego de um critério mais rigoroso, o conceito de pior período de 2 horas mostra-se adequado. Adotando este procedimento, a porcentagem de 0,3% corresponderá agora à taxa de 92 mm/h (linha pontilhada da Figura 3a). Similarmente ao caso anterior, a Figura 5 indica as porcentagens de tempo, em períodos de 2 horas, nas quais este novo nível de precipitação é excedido. Como seria de esperar, a porcentagem de 0,3% não é excedida ao longo de todo o dia

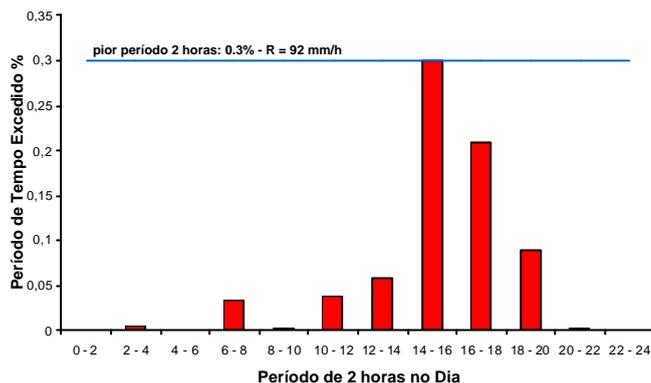


Fig. 5. Período de tempo onde novo nível de referência de 92 mm/h para Belém é excedido.

Para um sistema típico na região em estudo, supondo uma frequência de 12 GHz e ângulos de elevação entre 50 e 70°, este acréscimo no nível de referência da taxa de precipitação de 64 para 92 mm/h implica em um aumento da margem de desvanecimento entre 3 a 5 dB [3]. Entretanto, esta solução deve ser empregado de modo criterioso, pois o simples aumento da potência de transmissão pode provocar efeitos indesejáveis, como, por exemplo, aumento do nível de interferência em outras estações. Neste contexto, cumpre destacar que, no caso da Figura 5, o critério de 0,3% do pior período de 2 horas implicará em uma margem excessiva durante a maior parte do dia. Assim, alternativas como controle automático de ganho e aumento do ganho da antena de recepção (no caso específico da recepção em sistemas DTH) devem também ser consideradas. Uma outra solução efetiva, nas situações em que possa ser aplicada, é a diversidade de sítio, sendo porém baseada nos patamares definidos pela estatística relacionada à variação horária.

Finalizando estas considerações de caráter prático, cabe ressaltar que para sítios onde o comportamento da chuva é similar àqueles observados em Macapá e Cruzeiro do Sul a distribuição do pior mês é a mais adequada para avaliar o desempenho do sistema. Conforme mostrado nas figuras 3b e 3c, esta distribuição é mais rígida ou, no mínimo equivalente à correspondente ao pior período de 2 horas.

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho discutiu a utilização de conceito de pior período de 2 horas no planejamento de sistemas de comunicações por satélite de baixa disponibilidade, localizados em regiões caracterizadas por elevadas taxas de precipitação. Isso significa que em tais regiões, além da distribuição cumulativa anual e de pior mês, estatísticas da variação horária da taxa de precipitação devem ser também levadas em conta. Considerando que durante parte do dia o critério em questão poderá mostrar um rigor excessivo, o aumento da margem de desvanecimento através da potência de transmissão deve ser avaliado de forma criteriosa. Alternativas do tipo controle automático de ganho e aumento do ganho da antena de recepção (no caso específico da

recepção em sistemas DTH) podem minimizar possíveis problemas de interferência conforme comentado no texto. Onde for aplicável, a diversidade de sítio constitui também outra possível solução.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. L. Cerqueira e M. S. Assis, “Diurnal variability of rainfall rate in the Amazon region and its effect on the performance of low availability satellite systems”. Aceito para apresentação no ISAP 2007, a ser realizado em Niigata, Japão, em agosto de 2007.
- [2] T. Pratt, C. Bostian and J. Allnutt, *Satellite Communications*, 2nd edição, Jonh Wiley and Sons, USA, 2003.
- [3] UIT-R, “The concept of worst month statistics”, *Recommendation ITU-R P.581-2*, Genebra, 1994.
- [4] UIT-R, “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems”, *Recommendation ITU-R P.618-8*, Genebra, 2002.