

# Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na floresta Amazônica

Vinicius da Nóbrega Ubarana

Carlos A. Nobre

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-(CPTEC/INPE-SJC)

## Abstract

In this work the process of interception of gross rainfall by the vegetative cover of Amazonian Rainforest in terra-firme forest is studied. The Rutter numerical model are used for the simulation of the process in obtaining of a medium value of the interception loss in the region. In addition an observational experiment is conducted to get the interception loss of two different points in the Amazonia: one in the Reserva Biológica do Jaru in Ji-Paraná/RO, Amazônia Ocidental and the other in the Reserva da Vale do Rio Doce in Marabá/PA, Amazônia Oriental. The model is compared with the experiment. The results obtained with the modelling process indicated a behaviour very similar to the observational experiment although with an overestimated value for the region. The different, however, is within the error limit in the determination of the observed value. For the period studied the Rutter model estimated an interception loss equivalent to 16,9% of the total precipitation for Ji-Paraná region and 17% for the Maraba region. With the observational experiment for the Ji-Paraná 12,5% of interception loss was observed during the period (August 1992 to July 1993). In Maraba the interception represented 13% of the gross rainfall during the period September 1992 to June 1993.

## 1- Introdução

Neste trabalho, o processo de interceptação é descrito considerando-se que a parte da precipitação incidente, coletada pela vegetação, pode se dividir em duas componentes: uma parte é reevaporada à atmosfera por permanecer interceptada e o restante é drenado em direção ao solo. A quantidade evaporada é denominada perda por interceptação. Pode-se falar em perda pois, na realidade, este valor nunca chega a fazer parte da recarga hídrica do solo. Recentes artigos como os de Lloyd & Marques (1988), Lloyd et al. (1988) e Shuttleworth et al. (1984) mostram que o total perdido por evaporação, anualmente, varia em torno de 9% da precipitação incidente total da Amazônia. Neste artigo, os totais interceptados para a Floresta Amazônica são quantificados, através dos resultados obtidos com um experimento de campo implementado em dois sítios, ambos floresta de terra-firme: Marabá/PA e Ji-Paraná/RO na Amazônia Oriental e Ocidental, respectivamente. Este resultado observacional, além de contribuir para a estimativa de um percentual interceptado com uma série razoável de dados, serve aqui para avaliar o desempenho do Modelo numérico de Rutter, que simula o processo. Este é testado para os dois locais citados.

A precipitação incidente sobre o dossel da floresta é redistribuída em diferentes componentes. A parte que é drenada pelo dossel e chega ao solo através de gotejamento mais a aquela que atinge diretamente a superfície atravessando a cobertura vegetal é denominada precipitação-sob-dossel, do inglês throughfall. A componente que chega ao solo através dos troncos é denominada escoamento pelos troncos ou stemflow. A soma desta duas componentes, chamada precipitação efetiva, é a quantidade que realmente chega ao solo. A perda por interceptação é a diferença entre a precipitação incidente e a precipitação efetiva. No experimento observacional são amostrados os parâmetros precipitação-incidente, precipitação-sob-dossel e escoamento pelos troncos para se determinar o quanto foi interceptado.

## 2- Experimento observacional

Uma descrição detalhada deste experimento pode ser encontrada em Ubarana (1994). Em Ji-Paraná/RO o local foi demarcado na Reserva Biológica do Jaru, 61° 56'W, 10°05'S e em Marabá/PA na reserva pertencente à Companhia Vale do Rio Doce, 49° 10'W, 05° 45'S. O experimento foi montado nos meses de agosto e setembro de 1992, aproveitando-se a "III Campanha Intensiva" do Projeto ABRACOS (Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study). Este experimento se baseia na metodologia utilizada por Lloyd & Marques (1988) na Reserva Ducke, próxima a Manaus/AM. A precipitação-sob-dossel e o escoamento pelos troncos são amostrados em um plot de 100 x 4 metros que possui esta forma retangular para permitir o fácil acesso ao seu interior além de incluir um grande número de árvores dominantes. A precipitação-sob-dossel é amostrada por trinta coletores que são aleatoriamente realocados, após cada coleta, dentro do plot que possui 505 posições possíveis para amostragem. O escoamento pelos troncos é amostrado por 10 coletores fixos em 10 troncos vivos dentro do plot. A precipitação incidente é coletada através de estações automáticas (Didcot Instruments) de coleta de dados acima do topo da floresta. As coletas são realizadas semanalmente ou, em alguma vezes, após evento durante os meses chuvosos. Estas se iniciaram em agosto de 1992, nos dois sítios, e estão programadas para permanecerem até setembro de 1994. Neste trabalho apresentam-se resultados de aproximadamente 1 ano de coletas que cobrem o período de 30 de agosto de 1992 a 08 julho de 1993 em Ji-Paraná e 24 setembro de 1992 a 07 junho de 1993 em Marabá. Os dados meteorológicos de superfícies horárias são coletados nas mesmas estações automáticas que amostram a precipitação incidente e pertencem ao conjunto do Projeto ABRACOS.



### 3- Descrição do modelo

Detalhes completos deste modelo podem ser encontrados em Rutter et al. (1971, 1975) ou Ubarana (1994). O modelo requer alguns parâmetros de estado referentes à morfologia da vegetação: a capacidade de armazenamento,  $Sc$  do dossel e  $St$  dos troncos; o coeficiente que define a proporção da chuva que cai diretamente no solo sem desviar nos ramos e folhas denominado coeficiente de precipitação livre,  $p$ ; o coeficiente que define a quantidade de água desviada para os troncos,  $pt$ . A drenagem é considerada somente quando se atinge a saturação e é dada pela relação  $D = D_s \exp[b(Mc - Sc)]$ . O parâmetro  $Mc$  é o valor armazenado no dossel por passo de tempo e  $D_s$  é o valor da drenagem quando  $Mc = Sc$ . O parâmetro  $b$  representa a taxa de aumento da drenagem com a quantidade de água armazenada no dossel. O modelo calcula, a cada passo de tempo, o total interceptado integrando os valores de precipitação-sob-dossel, escoamento pelos troncos e a evaporação da água interceptada das superfícies molhadas através da formulação de Penman-Monteith além do valor armazenado no dossel,  $Mc$ . Com valores forçantes horários de variáveis meteorológicas de superfície, a cada passo de tempo o modelo fornece a resistência aerodinâmica através da relação  $ra = f/u$ , onde  $f$  é uma constante (Rutter et al., 1971). Neste trabalho, como em Ubarana (1994) segue-se o valor adotado por Lloyd et al. (1988) e obtido por Shuttleworth et al. (1987), para a Reserva Ducke, onde  $f$  é estimado diretamente da transferência de momentum. Tem-se  $f = 34,2$ . Apesar de se contar um ano apenas de coleta, foi obtido um valor observado para a capacidade de armazenamento do dossel. A metodologia adotada foi similar àquela utilizada por Lloyd et al. (1988) e Gash & Morton (1978). Escolheu-se alguns eventos de chuva onde, pelo menos, 6 horas secas separam cada evento. Regressões lineares separadas entre a precipitação-sob-dossel e a precipitação incidente foram realizadas para 20 eventos em Ji-Paraná e 12 em Marabá com valores de precipitação incidente maiores que 1,5 mm e menores que 15 mm (como sugerem Gash & Morton, 1978). Esta regressão produziu as seguintes curvas para Ji-Paraná e Marabá, respectivamente:  $y = -0,79(\pm 0,1) + 0,85(\pm 0,2)x$ , o que proporciona um valor de 0,93 mm de precipitação incidente quando a precipitação-sob-dossel é zero e  $y = -1,14(\pm 0,3) + 0,83(\pm 0,4)x$  o que dá um valor de 1,37 mm de precipitação incidente quando a precipitação-sob-dossel é zero ( $y$  representa os valores da precipitação-sob-dossel e  $x$  da precipitação incidente). Isto nos dá um valor de  $Sc = 0,93$  mm para Ji-Paraná e 1,37 mm para Marabá. Para a derivação de  $St$  a metodologia é a mesma sendo que a relação obtida é entre o escoamento pelos troncos e a precipitação incidente. Neste trabalho utiliza-se, tanto para Ji-Paraná como para Marabá, os valores de  $St = 0,1$  mm utilizados por Lloyd et al. (1988) e Ubarana (1994) para a Reserva Ducke (Manaus/AM). Os valores do coeficiente de precipitação livre  $p$ , que determina a parte da precipitação incidente que atinge diretamente o solo, foram obtidos no experimento com o uso de um anascópio (Ford, 1976). Para Ji-Paraná o valor foi de  $p = 0,031$  o que significa que 3,1% do dossel foram julgados ser céu aberto. Em Marabá  $p = 0,044$ . Para a Reserva Ducke, Lloyd et al. descrevem  $p$  com um valor de 0,08. Os valores de  $D_s = 0,0014$  mm/h (drenagem quando  $Mc=Sc$ ) e  $b = 5,25$  (aumento da drenagem com a variação de  $Mc$ ) foram derivados por Lloyd et al. (1988) para a Reserva Ducke através da formulação de Rutter et al. (1988), inicialmente obtida para uma floresta de Corsican pinus. O parâmetro que determina a proporção da precipitação incidente desviada aos troncos, representa a inclinação da reta de regressão entre eventos separados de escoamento pelos troncos e precipitação incidente no trabalho de Lloyd et al. (1988). No presente trabalho, optou-se por relacionar o valor de  $pt$  ao de  $p$ , estabelecendo-se entre estes a mesma relação percentual que se obtém com  $p = 0,8$  e  $pt = 0,036$  (Lloyd et al., 1988). Assim com  $p = 0,031$ , temos que  $pt = 0,014$  para Ji-Paraná e, para Marabá, com  $p = 0,44$  o valor de  $pt$  é igual a 0,019.

### 4- Resultados e conclusões

No sítio de Ji-Paraná, foram estudados 35 períodos de coleta que podem variar de 2 (considerando-se nestes casos 1 ou 2 eventos por período) até 31 dias. Em geral, os períodos de coleta duram 7 dias. Este método, que integra os totais de um período com alguns dias ou meses, é utilizado na maioria dos trabalhos observacionais de interceptação por razões práticas (Jackson, 1971). Apesar de ideal, a quantificação das perdas após um evento, ou seja, após uma chuva é praticamente impossível, sobretudo em florestas tropicais. Em Marabá foram integrados valores de um total de 21 coletas, com períodos que variam de 3 a 28 dias. Nas 35 coletas realizadas na área do município de Ji-Paraná, totalizou-se 1475,18 mm de precipitação incidente. O total de precipitação-sob-dossel foi de  $1257,82 \pm 101,5$  mm o que representa  $85,26 \pm 6,8\%$  da precipitação incidente. Foram amostrados  $31,58 \pm 10,98$  mm nos troncos. Isto mostra que a contribuição da componente escoamento pelos troncos foi de  $2,12 \pm 0,7\%$ . As perdas por interceptação totalizaram  $185,78 \pm 112,48$  mm; o índice foi de  $12,4 \pm 7,6\%$ . Na Reserva Vale, no município de Marabá/PA, foram totalizados  $879,18$  mm de precipitação incidente. Deste total,  $86,2\% \pm 6,6\%$  ( $758,39 \pm 59,41$  mm) foram redistribuídos sob a forma de precipitação-sob-dossel. O escoamento pelos troncos foi de  $6,48 \pm 2,14$  mm ( $0,8 \pm 0,2\%$  da precipitação incidente total). As perdas por interceptação foram de  $13 \pm 7,0\%$ , ou seja  $114,61 \pm 61,55$  mm. Estes resultados, referentes ao experimento observacional, podem ser vistos nas Figuras 1(a) e 1(b); estas mostram o desenvolvimento acumulativo dos parâmetros mensurados com o tempo para Ji-Paraná e Marabá, respectivamente.

Nas Figuras 2(a) e 2(b) observa-se os totais estimados, pelo Modelo de Rutter, das perdas por interceptação, em mm, comparados aos valores observados no experimento para Ji-Paraná e Marabá, respectivamente. O Modelo Rutter estimou um total de 250,29 mm de interceptação para Ji-Paraná o que representa 16,9% da precipitação incidente total. Neste mesmo sítio a precipitação-sob-dossel foi estimada em 1109,50 mm (75,2%) e o escoamento pelos troncos foi de 21,50 mm (1,4%). Em Marabá o modelo estimou um total de 150,81 mm de interceptação o que representa 17,1% da precipitação incidente total (879,18 mm). O total de precipitação-sob-dossel foi de 730,34 mm (83,0% da precipitação incidente) e o escoamento pelos troncos foi estimado em 10,26 mm (1,1%). Com o complemento da série observacional (prevista para o final de 1994) espera-se obter valores observados estatisticamente mais confiáveis, assim como espera-se determinar a capacidade de armazenamento dos troncos e, conseqüentemente, a proporção desviada para eles já que, até o momento, não se dispõe de um número suficiente de casos separados de eventos para se efetuar as regressões citadas anteriormente.

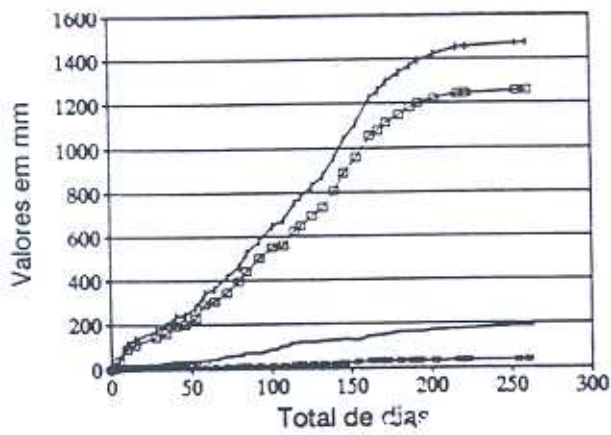


As Figuras 1(a) e 1(b) mostram um comportamento bastante similar das perdas por interceptação à curva obtida por Lloyd & Marques (1988). Estes autores estudaram 625 dias de dados, de 1983 a 1985. O valor de 8,9% encontrado para a interceptação por Lloyd e Marques não está distante dos valores apresentados neste trabalho sendo 12,5% para Ji-Paraná e 13% para Marabá. A princípio, os coeficientes de precipitação livre para Ji-Paraná ( $p = 0,031$ ) e para Marabá ( $p = 0,041$ ) podem explicar o porque dos valores maiores encontrados para as perdas por interceptação. Quanto menor é o coeficiente, menor é a penetração da chuva, portanto, menor é a precipitação efetiva no solo. Isto significa valores maiores de interceptação. O erro associado à mensuração dos parâmetros coletados, relativamente alto, também poderia explicar a diferença. Estas taxas de perdas por interceptação podem, também, indicar uma capacidade de armazenamento maior para Ji-Paraná e Marabá comparativamente a Manaus. Neste trabalho foram realizados alguns testes para se estimar a capacidade de armazenamento ajustando-se o modelo de forma que ele obtenha o valor observado das perdas por interceptação (12,5% para Ji-Paraná e 13% para Marabá). Considerando-se este ajuste, estimou-se valores de  $Sc = 0,67$  mm para Ji-Paraná e  $0,55$  mm para Marabá. Logicamente os valores são menores que o obtido por Lloyd et al. (1988) de  $0,74$  mm e não maiores como as observações de  $p$  indicam. Estes índices, porém, são significativamente satisfatórios na medida em que o erro associado ao modelo, em comparação ao valor observado das perdas por interceptação, é da ordem de 4% a mais para os dois sítios, o que certamente, elevaria a capacidade de armazenamento para valores acima de  $0,74$  mm como se presume as observações. A metodologia utilizada no experimento observacional se mostrou prática e eficiente na quantificação dos parâmetros amostrados, dadas as condições do local. Tanto este trabalho, como o de Lloyd & Marques (1988) indicam que os percentuais interceptados na Floresta Amazônica são elevados em milímetros mas representam percentuais menores em relação à precipitação incidente se comparadas com outros tipos de vegetação, como as florestas temperadas, por exemplo. O Modelo Rutter simula adequadamente o processo de interceptação dentro de suas limitações. O resultados obtidos mostram um desempenho similar ao obtido por Lloyd et al. (1988) para a Reserva Ducke.

## 5- Referências

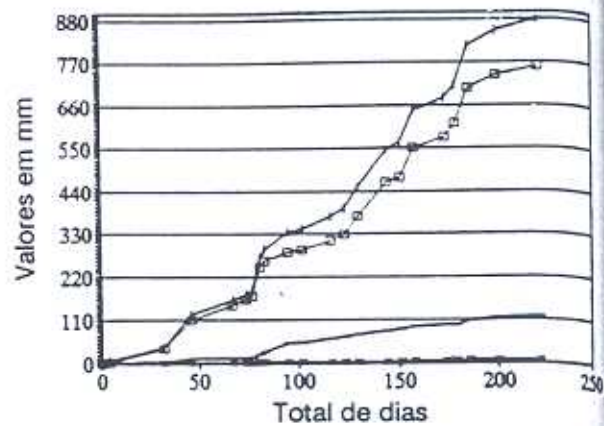
- Ford, E. D., 1976. The canopy of a Scots pine forest: description of a surface of complex roughness. *Agric. Meteorol.*, 17:9-32.
- Gash, J. H. C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quat. Jour. R. Meteorol. Soc.*, 105:43-45
- Gash, J. H. C. and Morton, A. J., 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology*, 38:49-58.
- Gash, J. H. C. and Stewart, J. B., 1977. The evaporation from Thetford Forest during 1975. *Journal of Hydrology*, 35: 385-396.
- Jackson, I. J., 1971 Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest. *Journal of Hydrology*, 12:234-254.
- Lloyd, C. R. and Marques, A. O., 1988. Spatial variability of throughfall measurements in Amazonian rainforest. *Agric. and For. Meteorol.*, 42:63-73.
- Lloyd, C. R., Gash, J. H. C., Shuttleworth, W. J. and Marques, A. O., 1988. The measurements and modeling of rainfall interception by Amazonian rainforest. *Agric. and For. Meteorol.*, 43:277-294.
- Rutter, A. J., 1967. An analysis of evaporation from a stand of scots pine. In: W. E. Sopper and H. W. Lull (Editor), *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergman Press, Oxford, pp. 403-417.
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., Morton, A. J., 1971. A predictive model of rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agric. Meteorol.*, 9:367-389.
- Rutter, A. J., Morton, A. J., Robins, P. C., 1975. A predictive model of rainfall interception in forest. II. Generalization of the model and comparison with observations in a some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, 14:567-588.
- Shuttleworth, W. J., Gash, J. H. C., Lloyd, C. R., Moore, C. J., Roberts, J. M., Molion, L. C., Nobre, C. A., de Abreu Sa, L. D., Filho, A. O. M., Fisch, G., Januario, M., Fattori, A. P., Ribeiro, M. N. G., Cabral, O. M. R., Patel, S. R., Moraes, J. C., 1984a. Eddy correlation measurements of energy partition for Amazonian forest. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 110:1143-1162.
- Shuttleworth, W. J., Gash, J. H. C., Lloyd, C. R., Moore, C. J., Roberts, J. M., Molion, L. C., Nobre, C. A., de Abreu Sa, L. D., Filho, A. O. M., Fisch, G., Januario, M., Fattori, A. P., Ribeiro, M. N. G., Cabral, O. M. R., 1987. Amazonian Evaporation. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2:179-191.
- Ubarana, V. N., 1994. Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica. Msc. Thesis at Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/Brasil (in press).
- Valente, F. M. R. T., 1990 Interceptação da precipitação por cobertos arbóreos: as condicionantes físicas e a modelação do processo. In: Universidade Técnica de Lisboa (Editor), Lisboa/Portugal.





—▲— Prec. Inc. —■— Prec.-dos —●— Intercept. —◆— Escor.

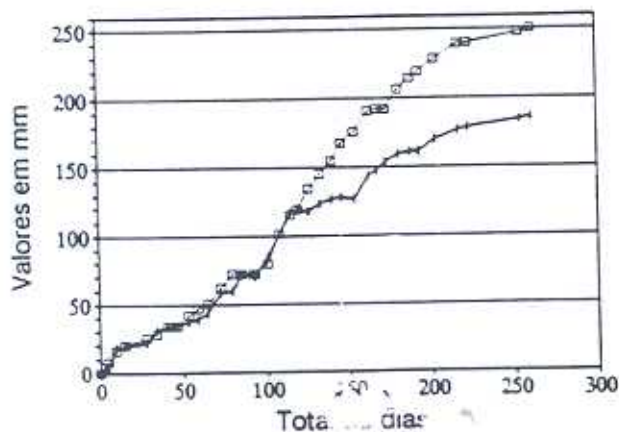
(a)



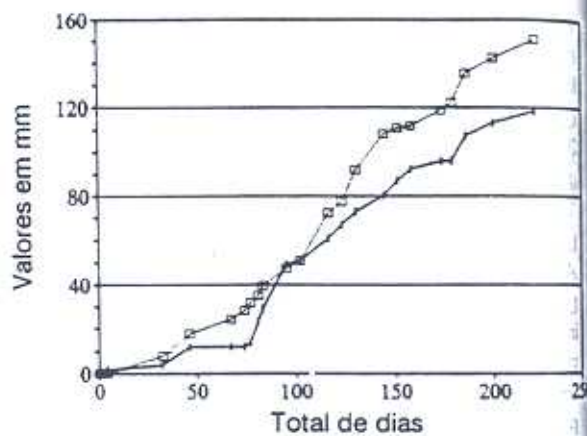
—▲— Prec. Inc. —■— Prec.-dos —●— Intercept. —◆— Escor.

(b)

Fig. 1(a). Valores acumulativos dos parâmetros mensurados para o sítio de Ji-Paraná e (b) para o sítio de Marabá.



—▲— Valor Observado —■— Modelo Rutter (a)



—▲— Valor Observado —■— Modelo Rutter (b)

Fig. 2(a). Valores estimado pelo Modelo Rutter e observado para as perdas por interceptação acumuladas no período estudado, para Ji-Paraná e (b) para Marabá.