

ESTIMATIVA DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELA VEGETAÇÃO DA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PARÁ, PELA APLICAÇÃO DO MODELO DE GASH.

L.L. OLIVEIRA^{1a}, R. FERREIRA DA COSTA^{1b}, F.A.S. SOUSA^{1c}, A.C.L. COSTA², A.P. BRAGA³

^{1a} Meteorologista, Mestranda em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas UFCG - UACA, Av. Aprígio Veloso, 882 Bloco CL, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Tel. (83) 3310-1054, leidianeoli@gmail.com; ^{1b} Meteorologista, Doutorando em Meteorologia, UACA – UFCG, Campina Grande, PB, rfcostampeg@gmail.com; ^{1c}

Meteorologista, Prof. Doutor, UACA – UFCG, Campina Grande, PB, fassis@dca.ufcg.edu.br

² Meteorologista, Prof. Doutor, Departamento de Meteorologia, CG – UFPA, Belém, PA, lola@ufpa.br

³ Meteorologista, INMET, Brasília, DF, alan_meteoro@yahoo.com.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: O local de realização deste trabalho foi a Estação Científica Ferreira Penna, na Floresta Nacional de Caxiuana, Melgaço, Pará, Brasil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m altitude) na Amazônia Oriental. Com vegetação densa e dossel com altura média de 35 m e árvores emergentes acima de 50 m, é uma floresta de terra firme. A densidade varia de 450 a 550 árvores por hectare. Objetivando quantificar as estimativas da interceptação através do modelo de GASH, no período de março a dezembro de 2004. A interceptação obtida das medidas de campo foi de 248 mm, correspondendo a 21,5% da precipitação total incidente acima do dossel de 1153,4 mm. As estimativas de interceptação com o modelo de GASH foram eficientes. O modelo de GASH superestimou a interceptação em 17,3% (42,8 mm) do total acumulado.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia, Modelagem.

ESTIMATION OF RAINFALL INTERCEPTION BY VEGETATION OF CAXIUANÃ NATIONAL FOREST, PARÁ STATE, FOR APPLICATION OF GASH'S MODEL.

ABSTRACT: The site where this work was carried out Ferreira Penna Scientific Station, into the Caxiuana National Forest, Melgaço, Pará, Brazil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m a.s.l.) in the Oriental Amazonia. With closed vegetation and canopy average 35 m high and some trees with 50 m high, it is a lowland forest area with the species density between 450 and 550 plants per hectare. Aiming to quantify the rainfall estimations for GASH'S model, from March to December of 2004. The rainfall interception obtained in the field measures was 248 mm corresponding 21.5% of total precipitation above canopy which was 1153.4 mm. The rainfall interception estimations using the GASH'S model were efficiently. The GASH'S model overestimated in 17.3% (42.8 mm) for accumulated rainfall interception.

KEYWORDS: Amazônia, Modeling.

INTRODUÇÃO: Entre as técnicas usadas para se obter a interceptação, a modelagem numérica atualmente pode ser tão confiável quanto as medidas reais feitas no campo. Porém, há sérias dificuldades para se instalar um experimento de campo, principalmente em áreas florestais. Assim, a utilização de modelos é frequentemente necessária para se quantificar a interceptação. É comum se confundir a quantidade de água precipitada acima do dossel com a água realmente disponível para o solo. A falta de informação de I pode induzir a erros nas medidas reais das quantidades de água que contribuirão para a reposição da umidade disponível no solo, comprometendo o cálculo do balanço hídrico. Entre os trabalhos sobre I destaca-se o de

HORTON (1919). Em seu estudo pioneiro, o autor apresentou as bases para a modelagem numérica da I , considerando que I seria o resultado da soma da capacidade de armazenamento de água pelo dossel vegetal com o produto das taxas de evaporação durante a chuva, o tempo de duração dessa chuva em horas, e a razão de evaporação da superfície plana projetada pela copa da árvore no solo. GASH (1979) testou e descreveu o modelo de RUTTER (RUTTER *et al.*, 1971, 1975), como sendo o mais confiável para se estimar os valores interceptados, este modelo é bastante utilizado para obtenção da estimativa da I sendo aplicado em diversos tipos de florestas. Nesse estudo foram considerados termos negligenciados por RUTTER, tais como, a evaporação do dossel após o término da chuva, os efeitos das chuvas de pequena intensidade que não são capazes de saturar o dossel mais o deixam úmido, e a evaporação dos troncos das árvores. VALENTE *et al.* (1997) estudaram a I em duas parcelas, sendo uma de eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*) e a outra com pinheiro (*Pinus Pinaster*) em Portugal, eles também aplicaram o modelos de GASH para estimar a I . Nosso estudo teve o objetivo de aplicar o modelo numérico de GASH, para estimar a I na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, Pará, Brasil, no sítio de atividades do experimento ESECAFLOR (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica), que investiga a influência da exclusão de água do solo sobre o ecossistema de floresta, no ano de 2004.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi desenvolvido em uma floresta tropical úmida de terra firme que está localizada na FLONA de Caxiuanã, no município de Melgaço, Pará, onde funciona a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn) (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 62 m de altitude), uma descrição detalhada da área experimental está em OLIVEIRA (2007).

A floresta nacional de Caxiuanã tem uma distribuição regular das chuvas durante todo o ano, com uma sazonalidade definida. Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido de dezembro a junho, enquanto o seco vai de agosto a novembro. Para o ano de 2004, o total anual precipitado foi de 2359,4 mm, cerca de 400 mm (20,4%) acima da média do período de 1996 a 2003 que foi de 1959,7 mm. O mês mais chuvoso em 2004 foi março com 474 mm, e o seco foi agosto com 40 mm. SOUZA (2003) considerou que as precipitações no Leste da Amazônia sofrem as influências dos Oceanos Atlântico e Pacífico no primeiro trimestre do ano, estando estas precipitações acima da média relacionadas com os eventos de La Niña.

O clima da FLONA de Caxiuanã, pela classificação de Köppen é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático “Am” com uma curta estação seca . A temperatura média do ar oscila em torno de 26,7° C, com mínimos de 22° C e máximos 32° C (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 2003). Foram utilizadas 40 coletas para os cálculos da I realizadas entre 18 de março e 30 de dezembro de 2004. Uma área com um hectare, representativa da floresta tropical de terra firme foi dividida em subparcelas de 10 m X 10 m, com cem posições possíveis de coleta, seguindo o proposto por LLOYD e MARQUES FILHO (1988). **Descrição do modelo de GASH:** Estudos de I e E para florestas resultaram freqüentemente em equações empíricas na forma de regressão entre I e P , isto é, como funções do tipo. $I = aP + b$

(1) Sendo I é a quantidade de água interceptada e perdida por evaporação, P é o total de chuva acima do dossel, e a e b são os coeficientes de regressão. Essa equação pode ser usada para descrever conjuntos de dados de P , ou, se assume que há apenas um evento de P por dia, para descrever a I diária como uma função da P .

$$I = \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) P + \left(S + \int_0^t E dt \right) \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) (1 - p - p_t)^{-1} \right\}$$

(2) a e b da equação (1) são identificados na equação (2) como:

$$a = \frac{\bar{E}}{\bar{P}} ; \quad b = \left(S + \int_0^t Edt \right) \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) (1 - p - p_t)^{-1} \right\}$$

Sendo os valores de a e b derivados de uma regressão envolvendo um conjunto formado por diversos eventos de P , seus valores são considerados representativos para qualquer evento de P no conjunto. Na maioria das regressões entre I e P há grandes correlações, sugerindo que essa consideração fornece uma boa aproximação da realidade. Segundo GASH (1979), infelizmente resultados de I expressos em termos de P introduzem empirismos não apenas na taxa média da evaporação \bar{E} , mas também desnecessariamente na taxa média da precipitação \bar{P} . A duração da P é simples de se medir como na equação original, e seria de grande ajuda no entendimento da maioria dos estudos de I . O modelo requer que sejam definidos alguns parâmetros referentes à morfologia da vegetação. Alguns deles são: $C_t = 1,293$; $S_t = 0,1387$; $b = 5,25$; $D_s = 0,0014$; $p_t = 0,0222$; $p = 0,8127$. Os valores de b e D_s foram propostos por LLOYD e MARQUES FILHO (1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Resultados do experimento de campo: Nas 40 coletas realizadas semanalmente durante o ano de 2004, os totais de P e I foram de 1153,4 mm e 248 mm, respectivamente ($I = 21,5\%$ de P). Como descrito anteriormente, alguns parâmetros da vegetação local, necessários para os modelos, foram obtidos das medidas realizadas em campo, que originaram os seguintes modelos matemáticos; $PI = 0,8127(P) - 1,2993$ com $R^2 0,9559$; $PE = 0,8349(P) - 0,9539$ com $R^2 0,9539$; $ESC = 0,0222(P) - 0,1387$ com $R^2 0,5581$; $I = 0,1651(P) + 1,438$ com $R^2 0,4475$. Para a FLONA de Caxiuanã o valor da capacidade de armazenamento do dossel, obtido da equação de regressão linear entre a P e a PI , sendo $S_c = 1,6$ mm. Desse modo, sabendo-se que o dossel atingiu a saturação com eventos de P maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, foram selecionados no grupo total de eventos de chuva somente aqueles superiores a esse valor, 343 eventos durante todo o ano de 2004, que produziam um volume total de 2019,4 mm de chuva, representando 85,6% da precipitação de todas as intensidades registradas no mesmo período.

Modelo de GASH (1979): No caso do estudo na FLONA de Caxiuanã, foram selecionados quarenta conjuntos de dados obtidos em intervalos semanais. Esses valores foram então considerados, como diários, o que possibilitou a determinação de um valor médio da precipitação acima do dossel (\bar{P}), utilizados na entrada da modelagem de I . Outra variável necessária como entrada do modelo é a taxa média de evapotranspiração (\bar{E}), nesse caso também foi considerado que cada período semanal de coleta representaria um dia, permitindo a determinação de $\bar{E} = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$. Como o passo inicial para a seleção dos dados meteorológicos utilizados nos cálculos das estimativas de I foi escolha dos valores de $P \geq 1,6 \text{ mm h}^{-1}$, muitos eventos ocorreram durante o período noturno, quando se calculou a evapotranspiração (E) para os quarenta períodos semanais, alguns valores de E foram negativos. Desse modo, para as estimativas de I , somente foram usados os dados de E positivos. GASH (1979) alertava para as dificuldades da utilização de valores empíricos como \bar{P} e \bar{E} . No presente estudo, o valor de $\bar{E} = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ utilizado, está próximo do obtido por SOUZA FILHO *et al.* (2005) que estudaram os mecanismos de controle da variação sazonal da evapotranspiração para o mesmo sítio experimental de Caxiuanã quando encontraram um valor de $\bar{E} = 0,15 \text{ mm h}^{-1}$. Assim como descrito por GASH (1979), as correlações entre os valores \bar{E} e \bar{P} não apresentaram bons coeficientes. Em seu estudo o autor encontrou valores de $R^2 = 0,178$ e $0,008$ para os anos de 1975 e 1976, respectivamente. No presente estudo para a FLONA de Caxiuanã, considerando apenas as coletas que apresentaram \bar{E} positivos, foi encontrado um $R^2 = 0,196$.

Mesmo aplicando diversas considerações para se ajustar às características morfológicas da FLONA de Caxiuanã, o modelo simplificado de GASH apresentou satisfatória aproximação dos

valores estimados e medidos da I acumulada para o período de março a dezembro de 2004 (Figura 1A). Para o total acumulado durante as quarenta coletas semanais entre março e dezembro de 2004, o modelo de GASH superestima I em 42,8 mm (17,3%). O modelo superestima os valores medidos de I no início (março e abril) e no final do período do estudado (dezembro), épocas em que há ocorrência de eventos de chuvas com grandes volumes. Para o período intermediário (de maio a novembro) o modelo subestima ou iguala os valores medidos. A correlação entre os valores medidos e estimados de I (Figura 1B) resultou na equação de regressão linear $y = 1,0084 x + 1,6296$ com um $R^2 = 0,9621$.

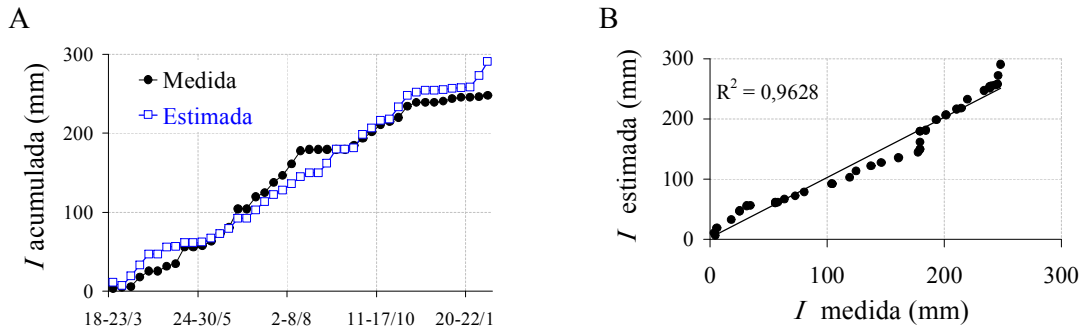


Figura 1 – (A) Intercepção acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de GASH (quadrados vazados). (B) Correlação entre os valores acumulados das intercepções medida e estimada para a FLONA de Caxiuanã, entre março e dezembro de 2004

Na comparação desse modelo aplicado em outras regiões (Tabela 1), observa-se que os resultados obtidos para a FLONA de Caxiuanã estão dentro de um bom intervalo de eficiência.

No presente estudo o modelo de GASH superestimou em 17,3% os valores medidos de I (290 mm estimado e 248 mm medido), sendo esse resultado melhor comparativamente do que três estudos apresentados por GASH *et al.* (1995) e VALENTE *et al.* (1997), porém os referidos trabalhos foram realizados em florestas de pinheiros (*Pinus pinaster*) e *eucalyptus globulus*. Entretanto, só o tipo de vegetação não explica os resultados, pois em outra pesquisa para *pinus sylvestris* (GASH, 1979) obteve um valor simulado apenas 4,9 % superior ao medido. O modelo de GASH, também produziu melhores estimativas de I em um estudo desenvolvido por ZHANG *et al.* (2005) que resultou uma superestimativa também de apenas 4,9% para uma floresta subtropical mista na China. Dos seis estudos escolhidos para a comparação com a FLONA de Caxiuanã, não coincidentemente, o modelo de GASH gerou o resultado mais próximo de uma floresta tropical na Indonésia, quando houve uma superestimativa de 14,4% do valor medido de I (ASDAK *et al.*, 1998), esse resultado mostra que, possivelmente o modelo de GASH responda para florestas tropicais superestimando em torno dos 15% dos valores reais de I .

Tabela 1 - Comparação entre os resultados obtidos pela aplicação do modelo de GASH para estimativa de I em diferentes tipos de vegetação

Tipo de vegetação	I (mm)		Diferença		Autor
	medid a	estimad a	(mm)	(%)	
<i>Pinus sylvestris</i>	245,0	257,0	12,0	4,9	GASH (1979)
<i>Pinus pinaster</i>	73,0	102,0	29,0	39,7	GASH <i>et al.</i> (1995)
<i>Pinus pinaster</i>	153,8	216,2	62,4	40,6	VALENTE <i>et al.</i> (1997)
<i>Eucalyptus globulus</i>	100,8	145,0	44,2	43,8	VALENTE <i>et al.</i> (1997)
Floresta tropical	118,0	101,0	17,0	14,4	ASDAK <i>et al.</i> (1998)
Floresta subtropical mista	174,0	182,6	8,6	4,9	ZHANG <i>et al.</i> (2005)
Floresta tropical	247,97	290,78	42,8	17,3	Este estudo

CONCLUSÕES: É possível simular as perdas por interceptação da precipitação pela vegetação (I), para a região tropical da FLONA de Caxiuanã, com bom nível de eficiência, utilizando o modelo de GASH, esse modelo superestimou I em 17,3% (42,8mm) do total acumulado (248 mm) para o período de março a dezembro de 2004. Porém, durante as quarenta coletas semanais realizadas, esse modelo acompanhou satisfatoriamente as variações das medidas de I , entretanto sofreu a influencia de dois grandes eventos de chuva registrados nas coletas do final do período, que aumentaram a estimativa acumulada.

Os resultados medidos na FLONA de Caxiuanã estão em concordância com outros estudos realizados que aplicaram o modelo de GASH para a estimativa de I .

AGRADECIMENTOS: Os autores Leidiane Oliveira e Rafael Costa agradecem a CAPES as bolsas de Pós-graduação em Meteorologia. Agradecem também aos colegas envolvidos nas atividades de campo em Caxiuanã em especial ao João de Athaydes Jr. e Paulo Henrique Gonçalves.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: ASDAK, C.; JARVIS, P.G.; GARDINGEN, P.V. Modelling rainfall interception in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* v.2, n. 2-3, p. 211–220, 1998.

FERREIRA DA COSTA, R.; COSTA, A.C.L. DA; MEIR, P.; MALHI, Y. ; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P.H.L.; SILVA JUNIOR, J.A.; SOTTA, E.D.; VALE, R.L.; GRACE, J.; FISHER, R.A. **Projeto LBA/Esecaflor em Caxiuanã: características, atividades e resultados.** In: Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, 2003. GASH, J.H.C. An analytical model of rainfall interception by forests. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, vol. 105, n. 443, p. 43-55, 1979. GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *J. Hydrol.*, vol. 170, p.79 – 86, 1995.

HORTON, R. E. Rainfall interception. *Month. Weath. Rev.*, vol. 47, n. 9, p. 603-623, 1919.

LLOYD, C.R.; MARQUES FILHO, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For. Meteor.*, v.42, p.63-73, 1988. OLIVEIRA, L.L. **Avaliação da interceptação da precipitação pela vegetação na floresta nacional de Caxiuanã, Pará.** 2007. 123p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, PB. RUTTER, A.J., KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C., MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, i derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agric. Meteor.*, 9, p. 367-384, 1971.

RUTTER, A.J., MORTON, A.J., ROBINS, P.C. A predictive model of rainfall interception in forests, ii generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.*, 14, P.567-588. 1975.

SOUZA, E.P.P. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental.** 2003. 78p. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos, SP (INPE-11435 - TDI/955).

SOUZA FILHO, J.D.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; COHEN, J.C.P. Mecanismo de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 35(2), p. 223-229, 2005.

VALENTE F.; DAVID, J.S.; GASH, J.H.C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forest in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *J. Hydrol.*, n190, p141-162, 1997.

ZHANG, G.; ZENG, G. M.; JIANG, Y. M.; HUANG, G. H.; LI, J. B.; YAO, J. M.; TAN, W; XIANG, R. J.; ZHANG, X. L. Modeling and measurement of two-layer-canopy interception losses in a subtropical mixed forest of central-south China. *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* v.2, p. 1995–2024, 2005.

