

Ari de O. Marques Filho (*)
Maria de Nazaré Góes Ribeiro (*)
Artêmio P. Fattori (**)
Gilberto F. Fisch (**)
Mauro Januário (**)

RESUMO

Um procedimento para o estudo da evaporação potencial horária de florestas é apresentado. As informações meteorológicas analisadas, foram obtidas através de estações automáticas instaladas no topo de uma torre de 45 m, e fazem parte de um conjunto mais amplo de dados, que vem sendo formado no âmbito de um experimento de micrometeorologia, que se desenrola na Reserva Florestal Ducke nas proximidades de Manaus. As informações utilizadas cobrem o período de agosto de 1983 até abril de 1985 e são compostas por valores médios horários de velocidade do vento, temperatura e umidade específica do ar, radiação solar e saldo de radiação.

INTRODUÇÃO

Na determinação da evapotranspiração potencial de florestas da região Amazônica tem sido utilizados diferentes procedimentos de cálculo, resultando todos em estimativas de taxas diárias de evaporação, com aproveitamento de dados colhidos em estações climatológicas da região. Esses estudos consistem, em sua maior parte, na aplicação de métodos que foram testados em diferentes condições e climas do globo.

O conceito de evapotranspiração potencial foi estabelecido inicialmente como sendo a taxa de evaporação de uma superfície coberta por vegetação de pequeno porte (grama) bem suprida por água, cuja grandeza pode ser determinada desde que se tenham informações sobre a energia disponível no local, além de alguns parâmetros meteorológicos medidos numa altura de referência acima da superfície.

A generalização desse conceito para superfícies cobertas por vegetação de médio e grande porte, deve explicitar o papel importante dos parâmetros que caracterizam a rugo

(*) Pesquisadores do INPA.

(**) Pesquisadores do Convênio INPA/ELETRONORTE.

sidade dessas coberturas, e identificar as situações em que é possível ser satisfeita a condição de superfície saturada ou bom suprimento de água.

Em qualquer desses casos, as informações hidrometeorológicas acumuladas em experimentos intensivos, com sofisticados sistemas de aquisição de dados representam o suporte para a compreensão das múltiplas interações que ocorrem entre as superfícies naturais e a atmosfera, no processamento das entradas e perdas de água e de energia na superfície.

Na floresta tropical chuvosa da Amazônia vem sendo realizado um experimento dessa natureza, cujas características principais são descritas no trabalho de Shuttleworth et al. (1984). Com a utilização de dados coletados nesse experimento, objetiva-se no presente estudo o desenvolvimento e aplicação de um procedimento para a determinação da evaporação potencial horária da floresta. A avaliação da importância das correções de estabilidade nesses fluxos de vapor d'água máximos, e a comparação dos totais diários resultantes de aplicação de diferentes equações para estimativas da evaporação potencial, são também apresentadas.

MATERIAL E MÉTODOS

No âmbito do experimento micrometeorológico que vem sendo realizado desde agosto de 1983, na Reserva Florestal Ducke, km 26 da Rodovia Manaus-Itacoatiara, foi instalada uma torre metálica no interior da floresta, para servir de suporte aos instrumentos de medidas dispostos ao longo do seu perfil; no topo desta torre, a uma altura aproximada de 45 m, foram montadas duas estações meteorológicas automáticas, cujo sistema de aquisição de dados realiza uma interrogação aos sensores em períodos de cinco minutos, e armazena as informações obtidas em fitas magnéticas, que posteriormente são analisadas por um sistema de microcomputação, resultando um registro final de valores médios horários de temperatura e umidade específica do ar, radiação solar, radiação líquida, precipitação, velocidade e direção do vento. Esses dados são utilizados neste estudo para a determinação dos valores horários de evaporação potencial através do procedimento a seguir descrito.

O balanço de energia para uma coluna que se estenda desde o solo até uma altura de referência acima da vegetação, onde são feitas as observações, pode ser descrito pela expressão:

$$R_n - L_e E - H - G = \partial A / \partial t \quad (1)$$

em que,

R_n → radiação líquida (Watt/m²)

L_e → calor latente de vaporização (Joule/Kg)

E → fluxo de vapor d'água (Kg/(m²s))

H → fluxo de calor sensível (Watt/m²)

G → fluxo de calor no solo (Watt/m²)

A → armazenamento de calor na coluna (Joule/m²).

O armazenamento de calor na coluna deve ser constituído por termos que representem o armazenamento de calor latente e sensível no interior da mesma e pelo armazenamento de calor na massa da vegetação. A variação no tempo desses armazenamentos, segundo Thom (1975) é dada por

$$\partial A / \partial t = \int_0^{Z_r} \rho_c \rho_p (\partial T / \partial t) dz + \int_0^{Z_r} (\rho_c \rho_p / \gamma) (\partial e / \partial t) dz + \int_0^{Z_r} \rho_v c_{vg} (\partial T_v / \partial t) dz \quad (2)$$

A equação que descreve a evapotranspiração de uma superfície não saturada, segundo a formulação Penman - Monteith, apresenta a forma,

$$LeE = \frac{\Delta R + \rho C_p (e_s - e) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)} \quad (3)$$

Os símbolos que aparecem nas equações 2 e 3 representam:

ρ → densidade do ar (kg/m^3)

ρ_v → densidade da vegetação (Kg/m^3)

C_p → calor específico do ar a pressão constante ($\text{Joule}/(\text{Kg}^\circ\text{K})$)

C_{vg} → calor específico da vegetação ($\text{Joule}/(\text{Kg}^\circ\text{K})$)

T → temperatura do ar ($^\circ\text{K}$)

T_v → temperatura da vegetação ($^\circ\text{K}$)

e_s → pressão de saturação de vapor d'água no ar (Newton/m^2)

e → pressão de vapor d'água no ar (Newton/m^2)

Δ → de_s/dT ($\text{Newton}/(\text{m}^2^\circ\text{K})$)

R → energia disponível na superfície (Watt/m^2)

γ → constante psicrométrica ($\text{Newton}/(\text{m}^2^\circ\text{K})$)

r_a → resistência aerodinâmica ao fluxo d'água (s/m)

r_c → resistência de superfície ao fluxo de calor (s/m).

A energia disponível na superfície é utilizada para manter os fluxos de calor sensível e de calor latente, $H + LeE$, sendo dada, portanto, como a soma dos termos restantes da equação 1, $R_n - G - \partial A / \partial t$.

Quando a superfície está saturada, a resistência r_c torna-se nula, e o fluxo de vapor d'água ocorre a partir da superfície em seu valor máximo, para as condições existentes, denominado de evaporação potencial.

A resistência aerodinâmica ao fluxo de vapor d'água (fluxo de calor latente), é descrita pela equação,

$$r_a = \frac{\{\text{Ln}((Z_r - d)/Z_o) - \Psi_M\} \{\text{Ln}((Z_r - d)/Z_v) - \Psi_V\}}{k^2 u} \quad (4)$$

onde,

Z_r → altura de referência onde são feitas as medidas (m)

d → altura de deslocamento do plano zero (m)

estabilidade,

$$\Psi_V = 2 \ln \left\{ \frac{(1 + x^2)}{(1 + x_0^2)} \right\} \quad (9)$$

Para atmosfera estável essas funções têm forma mais simples, como mostram as equações abaixo:

$$\Psi_M = - 5(Z - d - Z_0)/L \quad (10)$$

e,

$$\Psi_V = - 5(Z - d - Z_v)/L \quad (11)$$

nas quais é assumido que $\Phi_H = \Phi_V = \Phi_M = (1 + 5(Z - d)/L)$, (Webb, 1970). Naturalmente às condições de neutralidade na atmosfera correspondem $\Psi_H = \Psi_V = \Psi_M = 0$.

A Figura 1 ilustra a dependência da resistência aerodinâmica com relação ao comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov. A resistência para as condições de neutralidade na atmosfera é indicada em forma tracejada na figura, correspondendo aos valores de $|L| > 10^4$; a porção do gráfico que apresenta valores de L positivos representa condições estáveis, enquanto que os valores negativos estão associados às condições instáveis. A figura representa o aspecto gráfico da equação 4, para a qual foram estabelecidos previamente os valores dos parâmetros $d = 33,3$ m e $Z_0 = 1,07$ m, através do ajuste de perfis de velocidade do vento. Esses valores, junto com a consideração de que $Z_v = Z_0/2$, são usados em todas as fases deste trabalho.

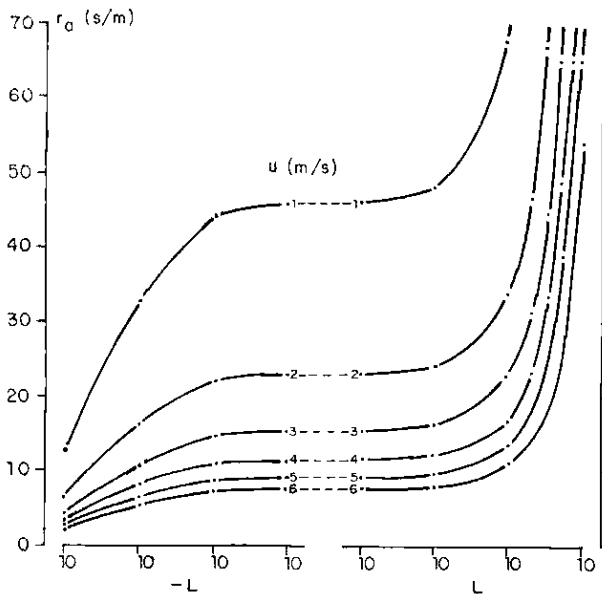


Fig. 1. Relação entre a resistência aerodinâmica r_a e o comprimento de estabilidade L.

Na Figura 2 são mostradas, sobrepostas, as dependências de $u^* = u^*(u, L)$, num primeiro grupo de curvas (onde cada curva está associada a um valor constante de velocidade do vento), e $L = L(u^*, H, LeE)$ num segundo grupo de curvas, onde cada curva está associada a um valor constante do termo $(H + 0,07LeE)$, que aparece no denominador da equação 5. No traçado deste gráfico foram assumidos os seguintes valores para as outras variáveis: $\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3$; $C_p = 1019 \text{ Joule/(Kg } ^\circ\text{K)}$ e $T = 298 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Estão reunidas numa mesma figura as relações funcionais existentes entre as variáveis L , u^* , LeE e H . Cada ponto do plano da figura, em seu aspecto qualitativo, representa uma das combinações possíveis entre as quatro variáveis, sendo também solução de um sistema composto pelas equações 1, 3, 5 e 7.

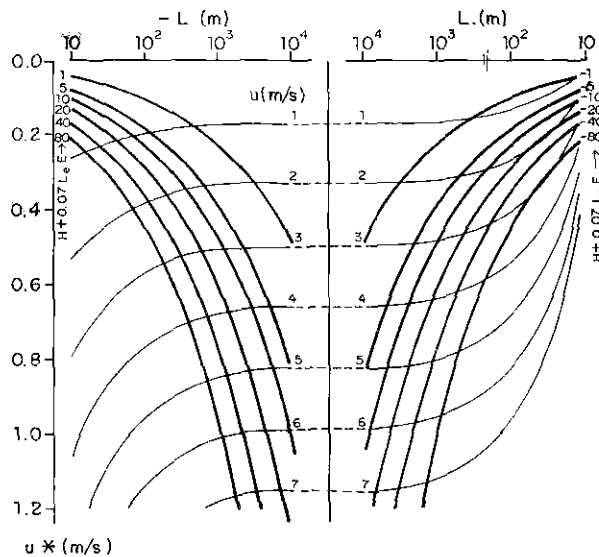


Fig. 2. Relações entre as variáveis L , u^* , LeE e H .

O procedimento para a determinação da evaporação potencial, adequada a um conjunto de observações meteorológicas horárias (u , T , e , e_s , R , etc.), deve executar em cada iteração as seguintes operações (Brutsaert, 1982):

1) Assumir ou calcular um valor para o comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov L (na primeira iteração $L = \infty$).

2) Calcular as funções de estabilidade Ψ_M, Ψ_V dadas pelas equações 8 e 9 ou 10 e 11, conforme as condições de estabilidade indicadas pelo último valor de L que está sendo utilizado.

3) Calcular a velocidade de fricção u^* através da equação 7.

4) Calcular a resistência aerodinâmica r_a através da equação 4.

5) Calcular a evaporação potencial através da equação 3 ($r_c = 0$).

6) Calcular o fluxo de calor sensível H , como termo desconhecido na equação 1.

7) Calcular um novo comprimento de estabilidade L com a utilização da equação 5.

8) Verificar as correções sofridas pelas variáveis E , u^* , H e L ; se forem pequenas o processo está encerrado; em caso contrário uma nova iteração deve ser realizada.

Após a conclusão de duas iterações já se tem condições de definir os limites inferior e superior, L_i e L_s , entre os quais deve estar a solução procurada; nas próximas iterações, objetivando um aceleração do processo, o valor de L assumido no item 1 não corresponde mais ao último valor encontrado no item 7 e sim ao ponto central do intervalo $L_i - L_s$, designado por L_o ; subseqüentemente à determinação de um novo valor para L , a partir de L_o , é possível reduzir-se o intervalo $L_i - L_s$, fazendo-se com que um dos limites assuma agora o valor de L_o , em correspondência a uma das seguintes situações: quando o novo valor de $L > L_o$ então $L_i = L_o$; quando $L < L_o$ então $L_s = L_o$; após essa redução calcula-se o novo ponto central e executam-se as outras operações do procedimento.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

As informações meteorológicas utilizadas neste estudo foram obtidas no período de setembro de 1983 e abril de 1985. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios mensais de temperatura, umidade específica do ar, velocidade do vento, radiação solar e radiação líquida, além dos totais de precipitação.

Os totais diários de energia disponível são mostrados na Tabela 2, em equivalente de mm d'água. Nesses valores estão embutidas as variações diárias do armazenamento de energia no interior da floresta, conforme as parcelas explicitadas na equação 2; na determinação dessas parcelas foi assumido que as variações temporais de temperatura e pressão de vapor d'água, observadas acima da floresta, representam o padrão de variação ao longo da coluna que se estende desde o solo até a altura de referência Z_r (Thom, 1975); essa consideração permite uma imediata solução para as duas primeiras integrais da equação 2; com relação a terceira integral, dessa mesma equação, que representa a variação do armazenamento de energia na massa da vegetação, no reconhecimento da importância de sua magnitude, mas na falta de estudos finalizados sobre essa parcela, foi assumido simplesmente que esse termo acompanhava o padrão de variação de armazenamento de energia no ar, na forma de calor sensível. É necessário enfatizar que para o ciclo diário típico da região, esses termos não apresentam uma contribuição considerável para a composição do total de energia disponível, mas a sua contribuição para períodos horários pode ser muito importante, notadamente em horas próximas ao nascer do sol, e nas ocasiões em que ocorrem precipitações. Com relação ao fluxo de calor no solo, tendo em vista os baixos níveis de radiação que atingem o solo, em torno de 3% da radiação que alcança o topo da floresta (Shuttleworth et al., 1984), na presente formulação a sua contribuição foi desprezada.

A taxa de evaporação LeE , o fluxo de calor sensível H , e a velocidade de fricção u^* , determinam uma medida das condições atmosféricas através do comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov L , dado pela equação 5. Além disso a combinação das variáveis LeE , **Evaporação potencial de florestas.**

H, u^* e L, resulta, em gráficos similares ao da Figura 2, num único ponto que expressa e retem as suas relações funcionais. A equação 3 pode ser utilizada para o cálculo da evaporação potencial ao assumir-se $r_c = 0$; entretanto, a resistência aerodinâmica r_a que ocorreria quando a evaporação alcançasse sua taxa máxima, não é conhecida, pois ela é dependente das condições atmosféricas, e essas condições são alteradas sempre que algum fluxo sofra alteração. Se for tomada por simplicidade a igualdade $r_a = r_{an}$ (onde r_{an} é a resistência aerodinâmica para condições neutras), ficam em verdade estabelecidos valores para a resistência e para os fluxos, independentes das condições atmosféricas que possam ocorrer, que não mantem mais a concordância com o comprimento de estabilidade que deles resulta. Em definitivo, seriam perdidas as relações funcionais existentes entre as variáveis.

Num encaminhamento diferente, e em correspondência ao método de determinação da evaporação potencial, objeto desta análise, a resistência aerodinâmica, assim como os fluxos, é determinada iterativamente, num procedimento em que a cada iteração há uma melhor concordância entre as condições de estabilidade fictícia, criada ao se tomar $r_c = 0$, e as variáveis que dessas condições dependem, culminando com valores compatíveis entre os fluxos, resistências e o comprimento de estabilidade. Na Tabela 3 estão reunidos os totais diários de evaporação potencial calculados através desse procedimento, aplicado aos valores médios horários dos parâmetros meteorológicos observados acima da floresta.

No período de observações, a energia disponível R apresenta como limites as taxas 0,36 e 6,81 mm/dia, enquanto a evaporação potencial apresenta os valores de 0,51 e 8,69 mm/dia, numa correspondência de ocorrência. Essa evolução concordante entre a evaporação potencial e a energia disponível é reforçada pelo aspecto da Figura 3, na qual são mostrados os valores médios mensais das variáveis, conjuntamente com a evaporação determinada pela equação de Thom-Oliver (1977), para a qual a razão $r_c/r_a = 1,4$.

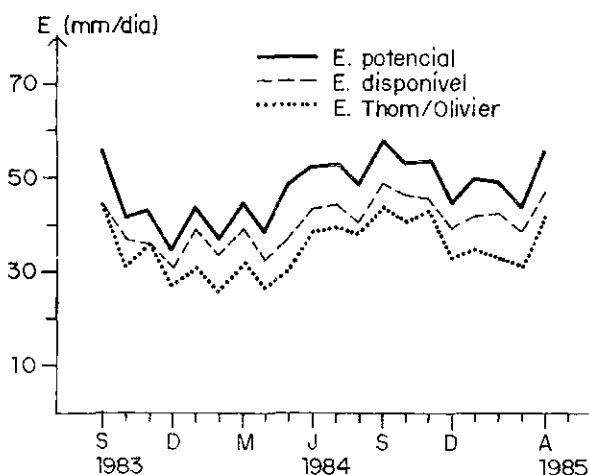


Fig. 3. Valores médios mensais de evaporação e energia disponível.

Na Figura 4 são mostrados os valores horários de evaporação potencial e radiação líquida para os dias 14, 17 e 27 de fevereiro de 1984, mês mais chuvoso do período. A precipitação ocorrida nesses dias é também mostrada na Figura. A queda nos valores de radiação líquida para os horários chuvosos, nos dias escolhidos e como regra geral em todo o período de observações, é contrabalanceada pelos fluxos de calor sensível, e pelas taxas negativas de variação no armazenamento de energia no interior da floresta. Nos dias 17 e 27 tem-se a ocorrência de precipitações intermitentes e taxas de evaporação potencial acima de 5 mm/dia. Pelas características desses dias a evaporação real deve se aproximar bastante do seu valor potencial. Já no dia 14, com pouca chuva, a taxa de evaporação real deve ser inferior à evaporação potencial indicada na figura.

Na Figura 5 aparecem os valores de evaporação potencial horária para os dias 12, 19 e 22 de agosto, um dos meses secos do período. A precipitação nesses dias é escassa, a evaporação real deve ser bem inferior ao seu potencial.

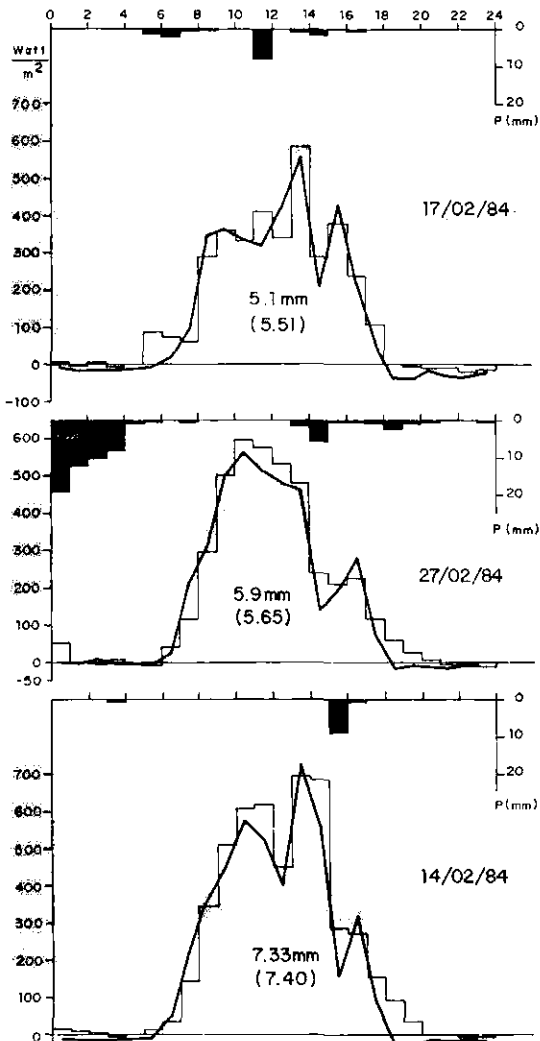


Fig. 4. Evaporação potencial no mês de fevereiro

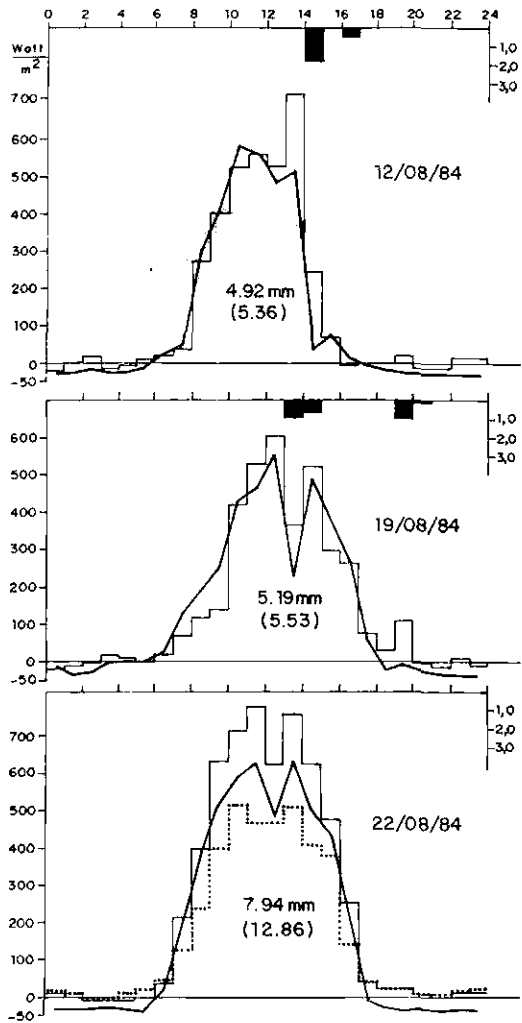


Fig. 5. Evaporação potencial no mês de agosto.

Em todos esses dias, os valores de evaporação potencial diária, calculados pelo procedimento já discutido, aparecem indicados no gráfico, num confronto com hipotéticos valores de evaporação potencial, estes obtidos através da equação 3, com a resistência aerodinâmica assumindo a sua forma para condições de neutralidade, r_{an} . Deve ser assinalado que nos meses chuvosos os valores de evaporação potencial oscilaram em torno dos correspondentes valores obtidos a partir da aproximação $r_a = r_{an}$. Já nos meses secos ocorre uma tendência para que estes últimos valores sejam bem superiores aos primeiros, preponderantemente em períodos que apresentam vários dias sem chuvas. Nessas condições não se tem uma alternância nas condições de estabilidade, no cálculo da evaporação potencial, e estimativas a partir de valores médios diários dos parâmetros meteorológicos devem resultar em valores elevados, irrealis, de evaporação potencial.

Na Figura 5 é apresentada uma medida direta de evapotranspiração para o dia 22.08.84, realizada através de um instrumento que se baseia na correlação de vórtices turbulentos para o estabelecimento dos diferentes fluxos. A razão entre a medida de evapotranspiração e a estimativa de evaporação potencial do dia 22.08, com um valor de 0,67, é típica para o período seco de 20.08 a 25.08.84. Na Tabela 4 estão reunidas todas as informações sobre as medidas diretas de evapotranspiração, ao lado das estimativas de evaporação potencial, e da evaporação segundo a equação de Thom-Oliver. A razão E/E_p para este conjunto mais amplo de dados é aproximadamente 0,60, conforme mostra a tabela.

CONCLUSÕES

Foi estabelecido um procedimento para a determinação da evaporação potencial horária, adequado para estimativas dessas perdas em estudos de interceptação, ou para o cálculo das taxas máximas possíveis de evaporação para outras condições. Através desse método, foi encontrado um valor médio diário de 4,73 mm como evaporação potencial da floresta, no período de observações considerado.

A variação da energia armazenada no interior da floresta, durante a ocorrência de precipitação, é, junto com o fluxo de calor sensível para a floresta, um dos mecanismos que compensam a redução da contribuição da radiação líquida, na composição do total de energia disponível para evaporação, mesmo na forma preliminar aqui utilizada para descrever o termo de armazenamento de energia.

A utilização da formulação de Penman-Monteith para estimativas de evaporação potencial, não pode prescindir das correções de estabilidade para a determinação da resistência aerodinâmica adequada a cada situação. Essas correções crescem de importância na medida em que se sucedem dias secos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores britânicos W. J. Shuttleworth, J. H. C.

Gash, C. R. Lloyd, C. J. Moore e J. Roberts; aos pesquisadores brasileiros, L. C. B. Mo-
 tion, L. D. Abreu de Sá, J. C. A. Nobre, V. P. Silva Filho (Instituto Nacional de Pes-
 quisas Espaciais - INPE); O. M. R. Cabral (Centro Nacional de Pesquisa da Seringueira e
 Dendê - EMBRAPA); S. R. Patel (Universidade Federal da Paraíba); J. Carvalho de Moraes
 (Universidade Federal do Pará); e aos técnicos L. C. Salgado e F. A. Saturnino, que, em
 conjunto com os pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, implanta-
 ram o Experimento Micrometeorológico.

SUMMARY

A procedure adequated to the study of forest potential evaporation is presented.
 Meteorological datas were obtained by automatic weather stations installed on the tower's
 top, at level 45 m, and constitute part of a large whole of information, which come being
 formed in the scope of Micrometeorological Experiment, at Ducke Reserve near from Ma-
 naus-AM. Observational period was August/83 - April/85, and stations provided hourly
 measurements of wind velocity, air temperature and specific humidity, solar and net radi-
 ation.

Tabela 1. Valores médios mensais dos parâmetros meteorológicos.

Mês/Ano	T °C	Umidade Específica (g/kg)	Deficit de Saturação (g/kg)	Velocidade do vento (m/s)	Radiação Líquida (Watt/m ²)	Radiação Solar (Watt/m ²)	Precipitação (mm)
Set/83	26,7	16,5	5,9	1,4	126	205	155
Out/83	25,4	17,2	3,3	1,3	103	155	193
Nov/83	26,1	17,1	4,7	1,3	103	162	72
Dez/83	24,4	16,7	2,6	1,2	91	131	386
Jan/84	24,1	16,3	2,8	1,2	109	160	322
Fev/84	23,8	16,5	2,2	1,2	95	138	422
Mar/84	24,6	16,8	2,8	1,4	109	168	229
Abr/84	24,7	16,8	3,0	1,3	90	159	262
Mai/84	24,8	16,9	3,1	1,6	*	166	330
Jun/84	25,5	16,1	4,6	1,4	129	180	66
Jul/84	25,1	15,8	4,6	1,4	124	178	128
Ago/84	25,1	16,0	4,4	1,4	111	170	152
Set/84	25,4	16,0	4,7	1,3	135	203	112
Out/84	25,7	16,7	4,2	1,3	127	186	161
Nov/84	25,8	16,6	4,5	1,4	123	182	136
Dez/84	24,8	16,8	3,1	1,2	110	165	319
Jan/85	24,4	16,6	2,9	1,3	103	151	295
Fev/85	24,5	16,9	2,6	1,4	115	172	189
Mar/85	24,8	17,2	2,6	1,4	108	159	301
Abr/85	25,8	16,8	4,4	1,7	144	205	204

(*) Falha de observação.

Tabela 2. Energia disponível, R (mm/dia).

ANO	1983				1984								1985							
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
01	4,41	2,83	2,92	3,03	0,79	3,31	1,81	0,90	5,74	*	3,19	*	5,47	4,36	5,64	3,38	4,32	4,91	4,70	4,77
02	5,73	1,86	4,81	3,70	5,19	3,27	4,77	2,96	1,13	4,27	4,50	*	6,34	5,86	5,42	3,79	*	4,05	4,99	3,45
03	5,07	2,79	5,03	2,29	4,78	1,64	3,74	2,83	3,83	3,89	5,75	*	2,89	6,14	5,80	4,09	3,74	1,62	3,45	4,49
04	4,93	5,31	4,52	2,10	5,25	4,43	4,69	4,07	4,08	4,56	4,61	*	2,18	4,80	5,73	4,31	5,29	3,86	3,95	6,05
05	3,71	5,06	2,08	1,51	2,15	3,82	1,69	5,06	4,80	3,83	4,95	*	4,28	5,23	5,12	5,64	5,68	4,50	2,42	5,44
06	5,16	2,19	4,74	3,75	2,34	1,60	4,20	2,94	3,74	3,21	4,34	*	5,37	5,21	2,60	5,05	5,06	4,46	*	6,02
07	5,38	5,07	4,30	3,55	3,34	3,56	6,24	1,85	3,51	1,99	5,52	*	6,30	5,83	1,90	3,48	5,83	5,73	4,16	5,86
08	4,88	2,00	2,55	3,70	3,26	4,59	5,09	3,42	2,51	4,76	5,33	*	4,35	3,45	3,86	2,33	*	3,49	3,64	*
09	4,43	3,21	2,89	2,55	3,73	0,81	5,10	3,57	2,84	5,69	5,08	*	*	4,19	3,05	4,08	2,91	3,39	3,19	*
10	2,48	2,20	3,22	2,94	1,97	5,36	4,38	1,16	2,49	1,96	3,67	*	*	5,28	4,26	1,55	3,42	*	0,78	*
11	1,38	3,75	4,64	2,28	3,61	5,87	4,76	3,31	4,29	3,32	4,45	5,32	*	5,77	4,87	2,92	2,22	*	3,62	*
12	3,50	2,36	4,85	4,88	5,20	2,42	1,21	2,95	5,45	4,21	5,77	4,29	*	5,18	6,21	3,40	5,37	*	3,57	4,31
13	5,46	4,00	5,41	4,23	5,61	3,31	1,78	3,62	3,72	5,03	4,86	4,86	*	3,55	3,83	5,75	3,69	*	5,76	5,16
14	3,63	4,50	5,54	3,20	2,61	6,30	4,82	5,27	*	4,27	4,05	2,83	*	5,61	5,32	5,40	0,84	4,30	*	6,43
15	2,46	4,05	0,65	0,91	5,70	1,79	*	2,54	*	5,06	3,97	5,03	*	5,26	2,29	4,88	2,53	4,82	4,14	6,66
16	5,21	3,33	3,40	4,43	3,96	3,53	*	3,75	*	4,72	4,63	2,80	*	4,74	5,25	3,78	2,14	5,90	3,44	6,13
17	5,92	4,63	2,37	4,21	3,37	4,54	4,80	4,88	5,45	4,10	*	2,25	*	4,24	4,55	3,24	5,57	4,00	1,10	5,74
18	4,39	4,37	4,46	1,69	2,51	1,63	4,17	4,07	*	5,97	2,69	3,32	*	4,44	5,20	5,30	5,51	5,13	4,23	4,98
19	5,43	5,81	4,63	4,22	2,45	2,91	1,36	4,00	*	5,42	3,19	4,75	*	3,12	5,13	*	4,30	5,49	4,64	5,25
20	4,64	5,67	3,58	5,64	2,84	3,75	2,71	4,23	*	3,22	5,58	5,08	*	4,61	5,49	1,77	3,65	2,69	5,01	2,47
21	3,27	3,16	4,29	2,84	4,38	1,68	4,81	5,16	2,77	3,72	2,82	5,61	*	5,07	5,58	3,68	1,25	3,36	1,86	4,29
22	2,56	3,43	4,76	1,59	5,20	3,47	3,53	5,24	1,83	5,04	4,88	6,11	5,58	4,56	5,50	6,34	2,01	*	3,22	4,74
23	3,26	5,71	4,53	2,99	3,16	3,84	5,18	1,16	*	5,24	5,52	5,94	5,21	5,84	5,40	5,38	3,75	*	5,48	5,43
24	5,30	4,16	4,18	3,98	5,53	2,51	4,23	1,81	*	3,52	5,73	4,63	3,99	5,29	5,50	5,72	5,26	*	6,47	4,44
25	6,69	4,74	2,48	4,56	4,81	2,89	5,45	1,94	2,33	3,93	1,41	4,39	5,01	4,45	4,60	3,61	5,50	*	2,47	5,08
26	5,35	3,90	1,48	1,06	5,95	4,69	4,37	3,14	4,84	4,96	*	3,10	5,54	1,18	5,66	3,66	5,66	*	3,69	1,08
27	5,09	2,06	5,04	2,35	3,19	5,43	4,58	0,36	4,13	4,36	*	2,88	5,82	5,15	1,70	3,33	5,27	*	*	4,82
28	4,83	1,10	2,37	3,04	5,20	2,96	3,94	4,97	4,99	4,26	*	4,02	5,19	1,09	1,97	3,38	5,58	*	*	2,84
29	5,25	4,24	1,37	4,16	4,44	2,08	3,46	2,69	4,52	6,00	*	1,21	4,86	2,80	4,33	1,17	4,22	*	6,81	1,32
30	3,31	3,60	3,10	0,62	2,75	*	3,31	3,77	*	5,27	*	1,29	4,13	5,55	4,16	2,72	4,93	*	1,78	4,45
31	*	3,61	*	2,53	4,93	*	1,96	*	*	*	*	4,83	*	4,94	*	4,81	5,68	*	4,45	*
Média	4,40	3,70	3,67	3,05	3,88	3,38	3,87	3,25	3,76	4,34	4,44	4,03	4,85	4,61	4,53	3,93	4,18	4,22	3,82	4,68

Tabela 3. Evaporação potencial (mm/dia).

ANO	1983				1984												1985			
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
01	5,30	2,97	3,53	3,35	0,70	4,23	1,78	1,09	7,30	*	3,72	*	6,62	5,00	6,49	4,15	5,22	5,94	5,06	5,33
02	7,15	1,98	5,58	4,31	5,93	3,61	5,10	3,49	1,71	5,31	5,14	*	7,33	6,92	6,08	4,07	*	4,34	5,38	3,97
03	7,31	2,88	5,92	2,52	5,35	1,53	4,24	3,22	4,63	4,48	6,70	*	3,19	7,11	7,17	4,43	4,31	1,79	3,70	5,00
04	5,44	5,79	5,03	2,24	6,42	4,95	5,29	5,04	6,21	5,12	5,49	*	2,25	5,61	6,98	5,07	6,37	4,53	4,34	7,62
05	4,97	5,80	2,27	1,37	2,25	4,35	1,80	6,42	6,18	4,25	5,78	*	4,64	5,98	6,21	6,26	7,19	5,48	2,31	6,70
06	7,11	2,62	5,40	4,06	2,49	1,61	4,65	3,42	4,76	3,80	5,54	*	6,11	5,86	2,85	5,70	6,36	5,14	*	7,59
07	7,01	5,59	4,92	3,52	3,69	3,64	7,15	2,24	4,02	2,34	7,01	*	6,73	6,88	1,64	3,91	6,53	6,71	4,55	7,18
08	6,61	2,33	3,14	4,15	3,71	4,93	6,08	3,87	3,01	5,36	6,41	*	5,14	3,88	4,22	2,63	*	3,79	4,16	*
09	7,03	3,50	3,16	2,67	4,04	0,76	6,12	5,19	3,31	6,83	5,97	*	*	4,80	3,42	4,40	3,05	3,71	3,37	*
10	3,03	2,21	3,74	3,24	2,11	6,18	5,08	1,70	3,04	2,36	4,52	*	*	6,51	4,92	1,65	3,44	*	0,71	*
11	2,58	3,95	5,53	3,02	3,89	6,90	5,51	3,98	5,54	3,95	5,53	6,71	*	6,95	6,14	3,11	2,37	*	3,78	*
12	4,44	2,56	6,06	5,49	6,19	2,61	1,40	3,53	6,85	5,22	7,04	4,80	*	5,89	7,69	3,62	6,16	*	3,78	4,83
13	6,65	4,35	6,92	5,24	6,74	3,54	1,92	4,12	5,06	6,13	6,03	5,43	*	4,07	4,42	7,10	4,20	*	6,51	5,91
14	4,98	4,99	7,03	3,78	2,74	7,15	5,58	6,10	*	5,12	5,01	3,13	*	6,22	5,89	6,48	0,93	4,79	*	8,09
15	3,72	4,61	0,97	0,79	5,91	1,83	*	2,79	*	6,24	4,72	5,89	*	6,15	2,54	5,75	2,70	5,86	4,91	8,21
16	6,83	3,78	3,64	4,63	4,62	3,65	*	4,27	*	6,31	5,20	3,12	*	5,44	5,68	4,55	2,34	7,41	4,29	8,07
17	7,17	5,32	2,51	4,60	4,09	5,06	5,56	5,74	7,03	5,17	*	2,59	*	4,79	5,55	4,02	6,60	4,58	1,18	7,49
18	5,74	4,90	4,92	1,90	2,57	1,54	5,05	4,92	*	7,50	3,20	3,51	*	4,85	5,90	6,46	6,66	6,01	4,90	6,08
19	7,08	6,99	5,65	4,83	2,44	2,94	1,33	4,76	*	6,76	3,67	5,12	*	3,55	6,03	*	5,40	6,65	5,69	6,25
20	5,94	6,83	4,41	6,75	3,17	3,78	2,83	4,91	*	3,66	6,08	5,93	*	5,25	6,80	1,92	4,28	2,43	6,27	2,67
21	4,38	3,61	5,43	3,15	5,03	1,68	5,35	6,22	3,50	4,33	3,27	7,25	*	5,88	7,00	3,78	1,46	3,64	1,99	4,78
22	2,25	3,78	5,76	3,49	5,78	3,74	4,15	6,08	2,31	6,16	5,63	7,94	7,13	5,34	6,91	6,14	1,99	*	3,73	5,51
23	3,82	6,61	5,52	3,07	3,35	4,20	5,55	1,51	*	6,58	6,48	7,55	6,08	6,89	7,08	6,02	4,04	*	6,56	6,31
24	6,27	4,89	5,07	4,39	5,96	2,71	4,75	2,11	*	4,47	6,85	6,11	4,54	6,51	7,06	6,49	6,39	*	7,61	5,39
25	6,70	5,28	3,02	5,47	5,20	3,18	6,30	2,16	3,11	4,35	1,70	5,75	5,99	5,62	6,15	4,36	7,22	*	2,80	5,76
26	6,77	4,37	1,77	0,97	6,93	5,12	5,27	3,63	6,32	5,70	*	4,38	6,98	1,25	6,78	3,96	7,22	*	4,27	0,97
27	5,83	2,36	5,57	2,40	3,91	5,85	5,05	0,51	5,70	5,05	*	3,78	7,43	5,66	1,89	3,54	6,77	*	*	5,17
28	6,01	1,27	2,66	3,19	6,01	3,43	4,87	5,61	6,29	5,16	*	4,84	6,50	1,03	2,18	3,72	7,14	*	*	3,10
29	5,70	4,76	1,46	4,64	5,03	2,10	4,28	3,36	6,53	7,69	*	1,66	5,64	3,17	4,82	1,05	4,82	*	8,69	1,42
30	3,77	4,23	3,44	0,55	2,95	*	4,36	4,79	*	6,39	*	1,53	4,80	6,25	4,94	2,75	6,12	*	2,04	5,02
31	*	4,30	*	2,41	5,41	*	2,19	*	*	*	*	5,65	*	5,96	*	5,64	6,70	*	4,91	*
Média	5,59	4,17	4,33	3,43	4,34	3,68	4,43	3,89	4,88	5,23	5,28	4,89	5,71	5,33	5,38	4,42	4,96	4,85	4,35	5,55

(*) Falha de observação.

Tabela 4. Taxas de evaporação real e potencial.

Data	Evaporação Real E (mm/dia)	Evaporação Potencial E _p (mm/dia)	Evaporação Thom/Olivier E _T (mm/dia)
06.09.83	3,11	7,47	5,52
07.09.83	4,22	7,37	6,20
09.09.83	3,32	7,39	5,31
10.09.83	1,75	3,18	2,55
17.09.83	4,18	7,34	6,52
18.09.83	3,76	6,19	4,77
25.09.83	3,70	6,85	5,80
27.09.83	3,54	6,27	4,79
29.06.84	4,25	7,96	6,55
30.06.84	3,69	6,62	5,74
07.07.84	4,74	7,32	5,59
08.07.84	4,21	6,55	5,49
09.07.84	3,56	6,12	5,25
11.08.84	4,55	6,94	5,79
13.08.84	3,51	5,52	4,13
20.08.84	3,75	6,08	4,73
21.08.84	5,01	7,61	5,90
22.08.84	5,63	8,29	6,38
23.08.84	5,32	7,90	6,39
24.08.84	5,39	6,73	5,91
25.08.84	3,44	6,04	4,83
Percebtuais		$E/E_p = 0,6$	$E/E_T = 0,74$

Referências bibliográficas

- Brutsaert, W. H. - 1982. *Evaporation into the atmosphere*. Dordrecht, D. Reidel Publications. 299 p.
- Shuttleworth, W. J.; Gash, J. H. C.; Lloyd, O. R.; Moore, C. J.; Roberts, J.; Marques Filho, A. O.; Fisch, G.; Silva Filho, V. P.; Ribeiro, M. N. G.; Molion, L. C. B.; Sá, L. D. A.; Nobre, J. C. A.; Cabral, O. M. R.; Patel, S. R.; Moraes, J. C. - 1984. Eddy correlation measurements of energy partition for Amazonian forest. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 110: 1143-1162.
- Thom, A. S. - 1975. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J. L. *Vegetation and the atmosphere*. Academic Press.
- Thom, A. S. & Oliver, H. R. - 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 103: 345-357.
- Webb, E. K. - 1970. Profile relationships: the log-linear range and extension to strong stability. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 96: 67-90.

(Aceito para publicação em 08.07.1986)