

ANÁLISES DAS TROCAS DE ENERGIA, RADIAÇÃO E DECARBONO NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Maria Betânia L. Oliveira¹, Alexandre Santos¹, Antonio Ocimar Manzi¹,
Magaly de Fátima Correia², Magna Soelma Bezerra³

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM. E-mail: betania@inpa.gov.br, axsantos@inpa.gov.br, manzi@inpa.gov.br; ² Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. E-mail: magaly@dca.ufcg.edu.br; ³ EMBRAPA Semi Árido, Petrolina, PE. E-mail: magna@cpatsa.embrapa.br.

ABSTRACT

In this study they were appraised the seasonal variations in carbon dioxide, water vapor and energy fluxes in native area of caatinga, in the northeast of Brazil. The evapotranspiration rate (LE) of the system it is so much very low in the station during the dry season and rainy season due to the low readiness of water in the area, with close of zero values in the end of the dry season. During the dry season about 60% of the available energy (Rn) it was used to heat up the air (H) and LE corresponded at 10% of Rn, on the average. During the rainy station those rates were, respectively, 46 and 17%. With relationship to the CO₂ flux, the ecosystem acts as drain of CO₂ in the beginning of the dry station, when the soil still contains humidity due to the previous rainy station, as well as in the rainy station. Already in the end of the dry season, when the stoma closes in function of the water deficit, the photosynthesis rate becomes null and the system starts to act as source of CO₂.

RESUMO

Neste estudo foram avaliadas as variações sazonais dos fluxos de dióxido de carbono, de vapor d'água e de energia em área de caatinga nativa, no nordeste do Brasil. A taxa de evapotranspiração (LE) do sistema é muito baixa tanto na estação seca quanto na estação chuvosa devido à baixa disponibilidade de água na região, com valores próximo de zero no final da estação seca. Durante a estação seca, cerca de 60 % da energia disponível (Rn) foi utilizada para aquecer o ar (H) e LE correspondeu a 10% de Rn, em média. Durante a estação chuvosa essas taxas foram, respectivamente, 46 e 17%. Quanto ao fluxo de CO₂, o ecossistema atua como sumidouro de CO₂ no início da estação seca, quando o solo ainda contém umidade decorrente da estação chuvosa anterior, bem como na estação chuvosa. Já no final da estação seca, quando os estômatos se fecham e há uma redução significativa no folheto em função do déficit hídrico, a taxa de fotossíntese torna-se nula e o sistema passa a atuar como fonte de CO₂.

INTRODUÇÃO

A região nordeste tem potencial reconhecido de grande produtora de frutas tropicais, contudo eventos de seca têm inibido a expressão desse potencial, o que faz da irrigação atividade obrigatória em empreendimentos agrícolas. É uma área considerada ecologicamente devastada, devido à luta constante que o homem regional enfrenta com a natureza na tentativa de sobrevivência. O desmatamento e as queimadas que ainda são práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudicam a manutenção de populações de fauna silvestre, a qualidade da água, e o equilíbrio do clima e do solo.

A Caatinga recobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil, compreende cerca de 63% da região Nordeste, com extensão territorial de aproximadamente 800.000 Km². Apesar da

grande extensão, esse ecossistema é proporcionalmente o menos estudado embora encerre espécies vegetais de importância incontestável nas suas formações.

A formação vegetal da caatinga tem características bem definidas, com árvores baixas e arbustos que, em geral, perdem as folhas na estação seca (caducifólias) para reduzir a transpiração e a perda de água da planta, tornando a florescer no período chuvoso. O aspecto geral da caatinga na seca é de mata espinhosa. As plantas possuem adaptações ao clima tais como folhas transformadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis, caules suculentos etc. Todas essas adaptações lhes conferem um aspecto característico denominado **xeromorfismo** (do grego xeros=seco, e morphos=forma).

Essa região é caracterizada por apresentar uma forte irregularidade climática o que faz com que o seu quadro climático atinja valores meteorológicos mais extremos do país: a mais forte insolação e a mais baixa nebulosidade; as mais altas médias térmicas e as mais elevadas taxas de evaporação e sobretudo, os mais baixos índices pluviométricos em torno de 500 a 700 mm anuais, com grande variabilidade espacial e temporal. Aragão *et al.*, (1997) verificaram que os eventos de chuva em Petrolina estão condicionadas pela direção predominante do vento, o que está relacionado com a atuação de diferentes sistemas atmosféricos: meses com chuva abaixo da média decorrem da atuação Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e meses com chuvas acima da normal estão associados com a atuação da Zona de Convergência Intertropical, Vórtices Ciclônicos de Ar Superior e Sistemas Frontais oriundos do sul do país. Contudo, o principal sistema gerador de chuvas na região é a Zona de Convergência Intertropical cuja posição de atuação e intensidade, determinam a duração e intensidade da estação chuvosa (Uvo, 1989).

Essa variabilidade na distribuição de água na região nordeste do Brasil em decorrência da atuação de diferentes sistemas sinóticos, determina a distribuição de água no solo, o qual é um fator determinante para as trocas de energia e CO₂ entre o ecossistema e a atmosfera. Dessa forma, a obtenção de dados a partir de experimentos possibilita estudar o comportamento das mais diversas variáveis que governam o clima da região, além de determinar de que forma as características da região influenciam as trocas turbulentas. O principal objetivo desse estudo é avaliar as trocas turbulentas de energia entre a superfície e a atmosfera acima da Caatinga, e verificar a influência de alguns parâmetros meteorológicos nessas trocas.

MATERIAL E MÉTODOS

- Sítio Experimental

O sítio experimental localiza-se na Embrapa Semi-Árido (CPATSA) (9°03'30,6''S; 40°19'45,1''W; 350m), município de Petrolina, no estado de Pernambuco. Essa é uma área de 600 ha de vegetação de caatinga nativa, na qual predominam uma vegetação de caráter espinhento e folhas pequenas com árvores de aproximadamente 4,5 metros de altura, pertencentes à família Leguminosae (*Mimosa tenuiflora*), sendo verificado também a presença de árvores, à distância, com alturas de até 8 metros.

A precipitação nesta região apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Em termos de médias mensais, observa-se que a precipitação na região concentra-se nos meses de novembro a abril o que indica claramente a existência de uma estação seca intensa e duradoura. Medidas de precipitação para 30 anos, medida por uma estação meteorológica convencional em um campo experimental dentro da área da EMBRAPA/SEMI-ÁRIDO, também revelam uma grande variabilidade inter-anual. A temperatura média mensal situa-se entre 24 e 28 °C com pequena variabilidade ao longo do ano assim como a umidade relativa. O solo da área experimental da área de estudo é classificado como Argissolo Amarelo (PA), com baixa retenção de água e de pobre fertilidade.

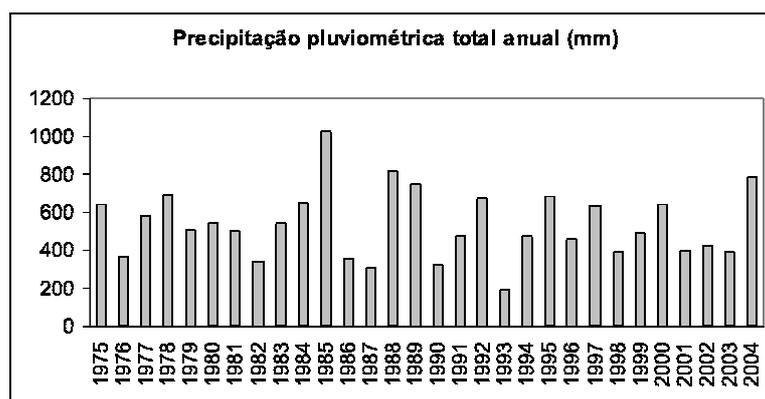


Figura 1. Precipitação pluviométrica anual (mm) da Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrolina-PE 09°09'S 40°22"W). Período 1975-2004.

Em junho de 2003 foi instalado nesta área um experimento que integra o Projeto CT-HIDRO (Um estudo de modelagem sobre o papel da umidade do solo a melhoria da previsão de tempo e de clima para a América do Sul), o qual tem como objetivo principal melhorar a representação de processos em modelos numéricos de tempo e clima, com a finalidade de melhorar a previsão em regiões onde a umidade de solo pode ter um impacto significativo na simulação de chuva. Uma torre com 9 metros de altura foi montada para suporte de sensores eletrônicos de alta frequência para medidas de turbulência, e instrumentos eletrônicos de baixa frequência para medidas de diversos elementos meteorológicos como temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, componentes de radiação e precipitação. Também foram instalados instrumentos no solo para completar as medidas para estudo do balanço de energia.

- Instrumentos

A torre foi equipada com diversos sensores para medidas de vento, umidade e temperatura do ar, chuva, pressão atmosférica, conjunto de instrumentos para medidas de radiação de onda curta, onda longa, fotossinteticamente ativa e saldo de radiação. Perfiladores de temperatura no solo medindo nas profundidades de 2, 5, 10, 20 e 50 cm, de umidade do solo nas profundidades 10, 20, 30, 40 e 60 cm, também encontram-se instalados. Também no solo existe uma placa de fluxo para medida do fluxo de calor no solo a uma profundidade de 5 cm. Os dados desses sensores são lidos a cada minuto e armazenados seus valores médios e totais a cada 10 minutos em um coletor de dados (CR23X – Campbell).

Medidas de alta frequência das componentes do vento, temperatura do ar e concentrações de vapor d água e de CO₂ são realizadas com o sistema de covariância dos vórtices turbulentos, o qual é composto por um analisador de CO₂ e H₂O (LI7500 – Licor) e um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3 – Campbell), os quais foram instalados no topo da torre (11 metros). Esses dados são lidos a cada 0,0625 segundos (16 vezes por segundo) por um coletor de dados (CR10X – Campbell) e armazenados em um notebook. Posteriormente esses dados foram processados para o cálculo dos fluxos de calor latente, sensível e de dióxido de carbono utilizando a técnica da covariância dos vórtices turbulentos. Para tanto foi utilizado um programa escrito em linguagem FORTRAN (programa 'Eddyinpe'), que foi desenvolvido no Alterra, Holanda, e adaptado no CPTEC/INPE para o sistema instalado na Caatinga. O programa calcula as flutuações

turbulentas em intervalos de 30 minutos, realizando uma série de correções necessárias para a estimativa dos fluxos, conforme a metodologia sugerida por Aubinet *et al.* (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os totais diários de precipitação registrados no período de 27 de junho de 2003 a 25 de abril de 2005, mostram uma marcante e prolongada estação seca na região (Figura 2a) com eventos de chuva freqüentes e de alta intensidade se concentrando nos meses de janeiro a março, com totais diários de até 101 mm, como pode ser verificado no dia 14 de janeiro de 2004. Nos demais meses, os eventos isolados de chuva resultam em totais diários que não ultrapassam 20 mm, com a permanência de até 3 meses sem qualquer registro de precipitação na região.

Em regiões semi-áridas, o transporte de umidade para a atmosfera compreende a transpiração dos vegetais e evaporação do solo imediatamente após a precipitação. Assim, as condições de umidade do solo (Figura 2b), que resulta do efeito da chuva, é um fator determinante para as trocas de calor, vapor e CO₂ entre o ecossistema e a atmosfera.

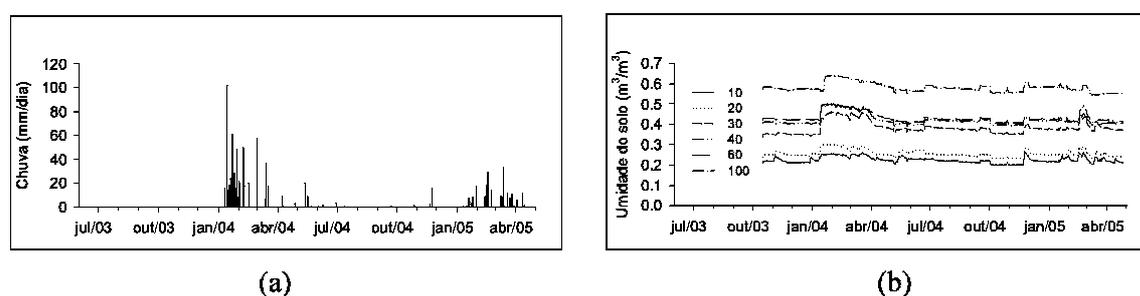


Figura 2. (a) Totais diários de precipitação; (b) máximas diárias da umidade do solo, em campo experimental na Caatinga, Embrapa Semi-Árido / Petrolina, PE, no período de 27 de junho de 2003 a 25 de abril 2005.

A temperatura do ar apresenta valores mais baixos nos meses de junho a agosto quando os valores médios diários são da ordem de 25°C (Figura 3a), o que está associado com a diminuição da incidência de radiação solar na região (Figura 3(b)), cuja média diária é abaixo de 300 Wm⁻². Nos meses com menor disponibilidade de energia solar na região (dezembro a fevereiro), a temperatura média diária ultrapassa 30°C o que está associado à cerca de 350 Wm⁻² de radiação solar média diária. Porém, no início de janeiro de 2004 observou-se uma queda acentuada nos valores de temperatura em decorrência da forte intensidade e freqüência das chuvas na região, fato não observado na estação chuvosa de 2005.

- Balanço de energia

A verificação do fechamento do balanço de energia indica o nível de concordância entre as medidas do saldo de radiação e dos fluxos de calor latente, sensível e no solo, as quais são realizadas por diferentes métodos. Aubinet *et al.* (2001) relataram que em terrenos heterogêneos, o footprint do sistema de covariância dos vórtices turbulentos e do saldo de radiação é a causa mais importante no déficit do fechamento do balanço de energia. O fechamento do balanço de energia, para a região estudada, no período de julho de 2004 a abril de 2005, (Figura 4), mostra que a soma dos fluxos de calor latente, calor sensível e de calor no solo (H+LE+G) representou, em geral, 85% do saldo de radiação ($r^2 = 0.95$). O resultado com os obtidos em diversos estudos em áreas de

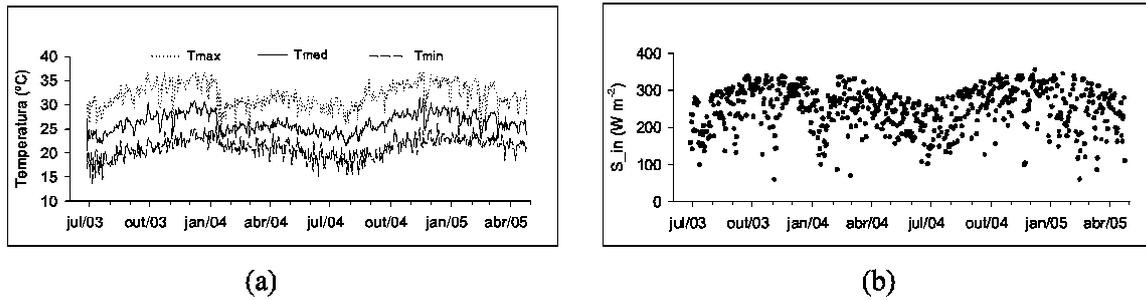


Figura 3. (a) Temperatura média do ar, temperaturas máxima e mínima média diária; (b) radiação solar incidente média diária (W m^{-2}), em campo experimental na Caatinga, Embrapa Semi-Árido / Petrolina, PE, no período de 27 de junho de 2003 a 25 de abril 2005.

Floresta Amazônica concorda (Araújo *et al.*, 2002; Rocha *et al.*, 2004) e em regiões semi-áridas (Veenendaal *et al.*, 2004). Neste último caso o não fechamento do balanço de energia em regiões áridas é atribuído, dentre outros fatores, ao intenso gradiente de temperatura nas partes superiores do solo devido à alta insolação, resultando num armazenamento de calor na camada acima do sensor, que pode atingir 100 Wm^{-2} .

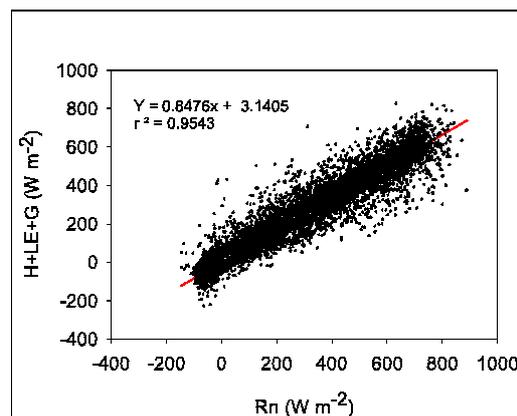


Figura 4. Fechamento do balanço de energia em campo experimental na Caatinga, Embrapa Semi-Árido / Petrolina, PE, no período de julho a abril de 2004.

A variação sazonal do saldo de radiação acompanha a variação sazonal da radiação solar incidente mostrada anteriormente. Menores valores podem ser observados em julho, cujas médias diárias não ultrapassam 150 Wm^{-2} , chegando a atingir valores pouco acima de 200 Wm^{-2} em fevereiro de 2005. Em regiões sob condições limitadas de água (semi-áridas) maior parte da energia disponível (R_n) é dissipada na forma de calor sensível, como pode ser visto na Figura 5. Observa-se um aumento gradativo da fração de R_n utilizada para aquecer o ar (H/R_n), que inicialmente era cerca de 0,5 passando a apresentar valores superiores a 0,8 à medida que se estabeleceu realmente a estação seca na região e assim as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera tornaram-se estáveis. No caso da fração de R_n utilizada para os processos evapotranspirativos (LE/R_n), tem-se uma diminuição ao longo da estação seca onde os valores decrescem de 0,3 para aproximadamente nulo. Esse padrão é fortemente alterado após eventos de precipitação como aconteceu nos dia 20, 21 e 23 de novembro cuja precipitação foi equivalente a 20

mm. Imediatamente após essa chuva, observou-se um aumento de LE/Rn em virtude da evaporação da água retida no solo, e consequentemente uma diminuição de H/Rn. À medida que o solo vai secando menos energia vai sendo liberada na forma de evaporação e assim tem-se aumento de H/Rn e diminuição de LE/Rn. Essa situação se repete após as chuvas registradas a partir da segunda quinzena de janeiro, quando inicia a estação chuvosa na região. Dessa forma, como as chuvas passam a ser freqüentes, há uma variação intensa em H e LE de um dia para outro, que vai depender da água contida no solo, porém com esses fluxos tendendo a ser, respectivamente, menor e maior do que na estação seca.

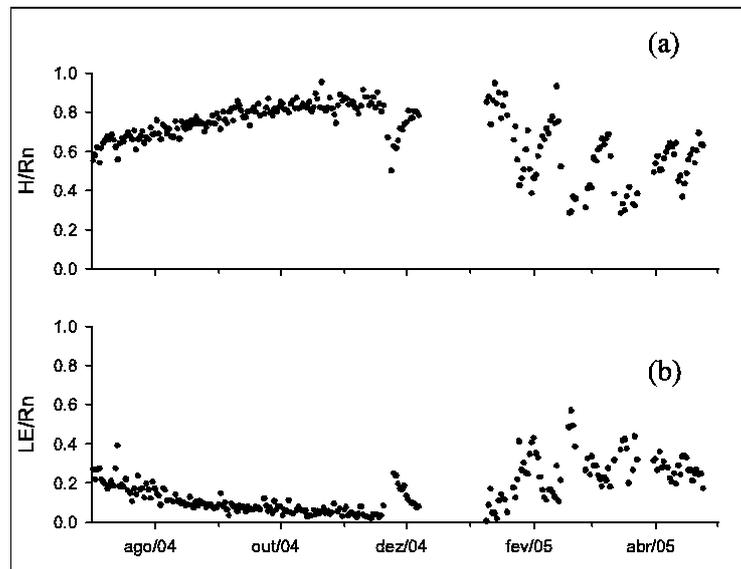


Figura 6. Variação sazonal das razões H/Rn (a) e LE/Rn (b), em campo experimental na Caatinga, Embrapa Semi-Árido / Petrolina, PE, no período de julho a abril de 2004.

Como pode ser visto, diferentes condições de umidade do solo e precipitação ocasionam alteração das componentes do balanço de energia. Devido a isso, foram selecionados três períodos distintos de dados: um imediatamente após o período chuvoso (1 de julho a 15 de setembro de 2004), que corresponde ao início da estação seca, outro que representa o final da estação seca (16 de setembro a 8 de dezembro de 2004) e o terceiro corresponde ao período chuvoso na região (08 de janeiro a 25 de abril de 2005). Observa-se uma diferença nas frações de Rn utilizada para aquecer o ar (H) e para processos evaporativos (LE) nos três períodos (Figuras 7a, 7b, 7c). Os coeficientes dos ajustes lineares entre H, LE e Rn são mostrados na Tabela 1. Um melhor ajuste pode ser verificado entre as curvas de H e Rn, com H representando 59, 63 e 46 % de Rn, respectivamente, para os três períodos. Já a fração de Rn utilizada para LE decresceu de 8 para cerca de 5 %, à medida que se estabelece a estação seca, e atingiu 17% na estação chuvosa.

Em termo de curso diário médio do saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo observou-se, no início da estação seca (Figura 7d), que o Rn atingiu $549,4 \text{ Wm}^{-2}$ com H e LE máximos sendo, respectivamente, $321,4$ e $54,6 \text{ Wm}^{-2}$ e o fluxo de calor no solo atingindo $66,4 \text{ W m}^{-2}$. No final da estação seca, Rn, H e G superaram 650 e 43 e 100 Wm^{-2} , respectivamente, enquanto que o fluxo de calor latente máximo foi de apenas $41,8 \text{ Wm}^{-2}$. Já na estação chuvosa, com aumento da evapotranspiração, LE chegou a apresentar valores superiores a 100 Wm^{-2} , enquanto que o fluxo de calor sensível máximo reduziu para $306,2 \text{ Wm}^{-2}$. O fluxo de calor no solo aumentou para $78,7 \text{ Wm}^{-2}$, e o saldo de radiação máximo foi de $611,4 \text{ Wm}^{-2}$.

Observa-se que a taxa de evapotranspiração da vegetação é sempre inferior ao fluxo de calor sensível em função da disponibilidade de água na região, com a razão de Bowen (β) máximo sendo em torno de 6,5 no início da estaca seca, quando o solo ainda está úmido das chuvas ocorridas nos meses anteriores. No período mais seco, β chega a ser superior a 15 enquanto que na estação chuvosa não ultrapassa 3. Observa-se também que o fluxo de calor no solo é um importante componente do balanço de energia nesta região, sendo superior ao fluxo de calor latente durante toda a estação seca.

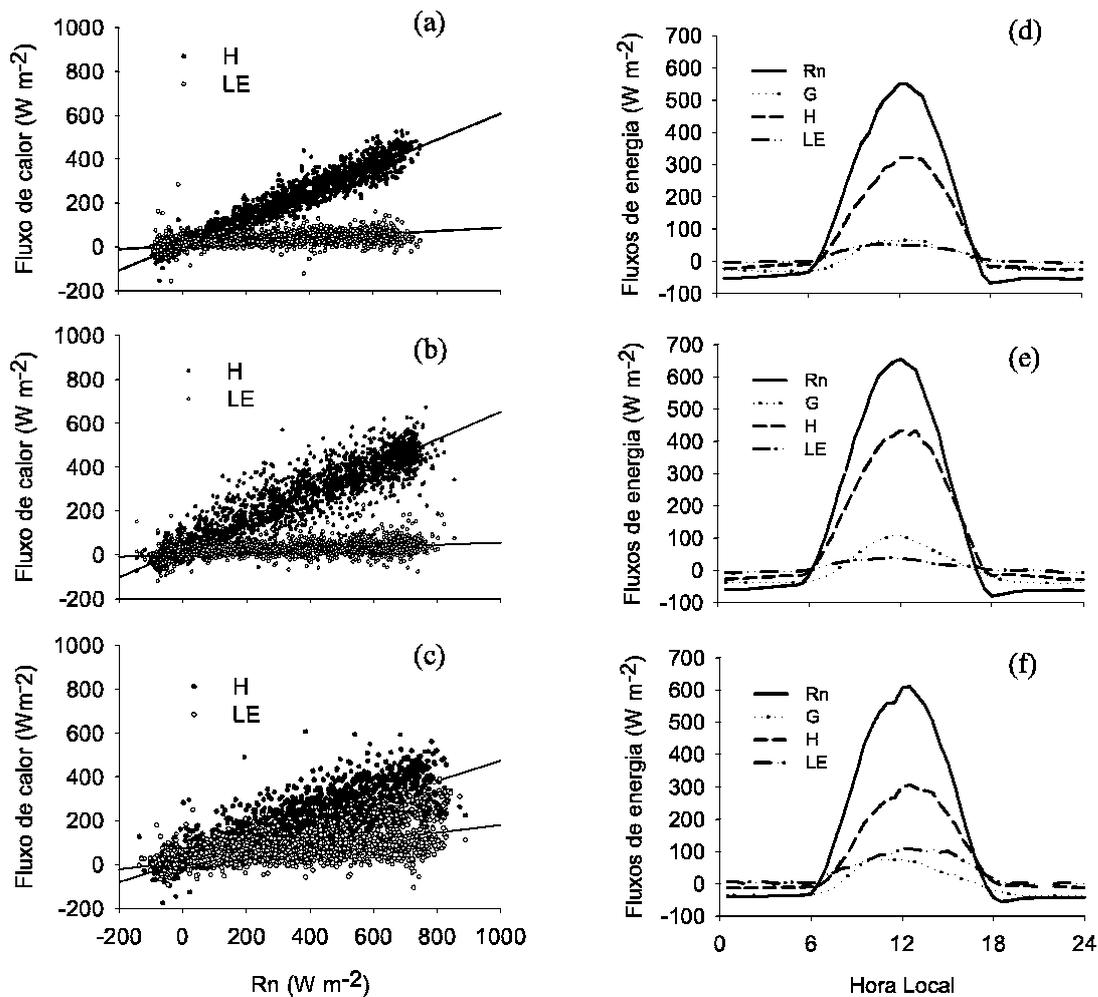


Figura 7. Fluxos de calor sensível e latente em função de R_n e Ciclos diários médios dos componentes do balanço de energia para os períodos: (a) e (d) 1 de julho a 15 de setembro de 2004; (b) e (e) 16 de setembro a 8 de dezembro de 2004; (c) e (f) 08 de janeiro a 25 de abril de 2005.

- Fluxo de CO_2

Como indicativos da fotossíntese e respiração sobre superfícies vegetadas, considera-se que valores positivos indicam fluxos de carbono da vegetação para a atmosfera (respiração) e valores negativos indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação (fotossíntese). Os ciclos diurnos

Períodos	aH	aLE	bH	bLE	r ² H	r ² LE
1/jul a 15/set	0,594	0,083	11,445	5,528	0,963	0,528
16/set a 8/dez	0,628	0,054	23,312	3,269	0,922	0,341
8/jan a 25/abr	0,462	0,169	12,263	12,436	0,826	0,547

Tabela 1. Parâmetros da equação de ajuste linear ($y = ax + b$) para os fluxos de calor latente e sensível em função do saldo de radiação, para os períodos: 1 de julho a 15 de setembro de 2004; 16 de setembro a 8 de dezembro de 2004; e 08 de janeiro a 25 de abril de 2005.

do fluxo de CO₂ medidos na caatinga durante o início e final da estação seca, respectivamente, são mostrados nas Figuras 8a, 8b e 8c. Têm-se que para o período de 1 de julho a 15 de setembro houve uma taxa de fluxo média variando de 0 a 1,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ durante a noite (respiração). Durante o dia, o fluxo de CO₂ foi no máximo -2,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ tendo sido registradas taxas de até -6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No caso do período mais seco (16 de setembro a 08 de dezembro) o fluxo de CO₂ apresentou pequena variação entre o dia e noite, sendo observado claramente que a taxa de fotossíntese é muito mais baixa que no período anterior, com valores médios não ultrapassando -0,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. À medida que as chuvas vão se tornando frequentes, determinando a estação chuvosa na região, a taxa de fotossíntese apresenta valores consideráveis que chegam a ser da ordem de -25 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com os valores médios em torno de -6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Nos períodos analisados pode-se observar que a taxa fotossintética máxima é atingida por volta das 09 horas da manhã, quando o déficit de pressão de vapor passa a ter aumento gradativo (Figuras 8d, 8e e 8f), o que resultaria no fechamento dos estômatos. Para os três períodos, o VPD máximo foi atingido por volta das 15 horas local, com valor médio de 28 hPa no início da estação seca, 38 hPa no final da estação seca, o que explica a taxa de fotossíntese quase nula na região durante este período, enquanto que na estação chuvosa o valor médio do déficit de pressão de vapor foi da mesma ordem do início da estação seca.

A curva de resposta à luz da taxa de assimilação líquida de CO₂ (Figura 9) indica que no período após a estação chuvosa da região, a taxa líquida máxima de assimilação de CO₂ foi 1,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, quando é feito o ajuste de curva utilizando-se o modelo exponencial de Mitscherlich (Potvin *et al.* 1990). O ponto de compensação luminoso, ou seja, o valor do fluxo de fótons incidente quando o fluxo líquido de CO₂ é igual a zero (taxa de fotossíntese igual a taxa de respiração), foi de 97 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Observa-se ainda que os níveis de saturação da fotossíntese são alcançados a níveis com PPFD a partir de 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. O rendimento quântico calculado pelo ajuste dos dados ao modelo de hipérbole retangular foi de 0.0159 (Tabela 2). Este valor corresponde ao número de moles de CO₂ fixados por moles fótons em baixos níveis de irradiância. Isto significa que no início da estação seca, são necessários cerca de 63 fótons (1 / 0,016) para o ecossistema fixar uma molécula de CO₂. Este rendimento quântico é baixo quando comparado com valores encontrados, por exemplo, para savana semi-árida na África meridional, que podem variar de 0,023 a 0,030 (Scanlon e Albertson, 2004). As taxa de respiração do ecossistema estimado pelo ajuste ao modelo de hipérbole retangular foi de apenas 0,85 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No período mais seco, não houve relação entre taxa líquida de fotossíntese e fluxo de fótons fotossintéticos, visto que independente da quantidade de luz incidente os fluxos líquidos de CO₂ eram sempre próximos a zero durante o período seco. Já no período chuvoso, não foi possível determinar uma curva de ajuste em virtude da grande dispersão dos dados.

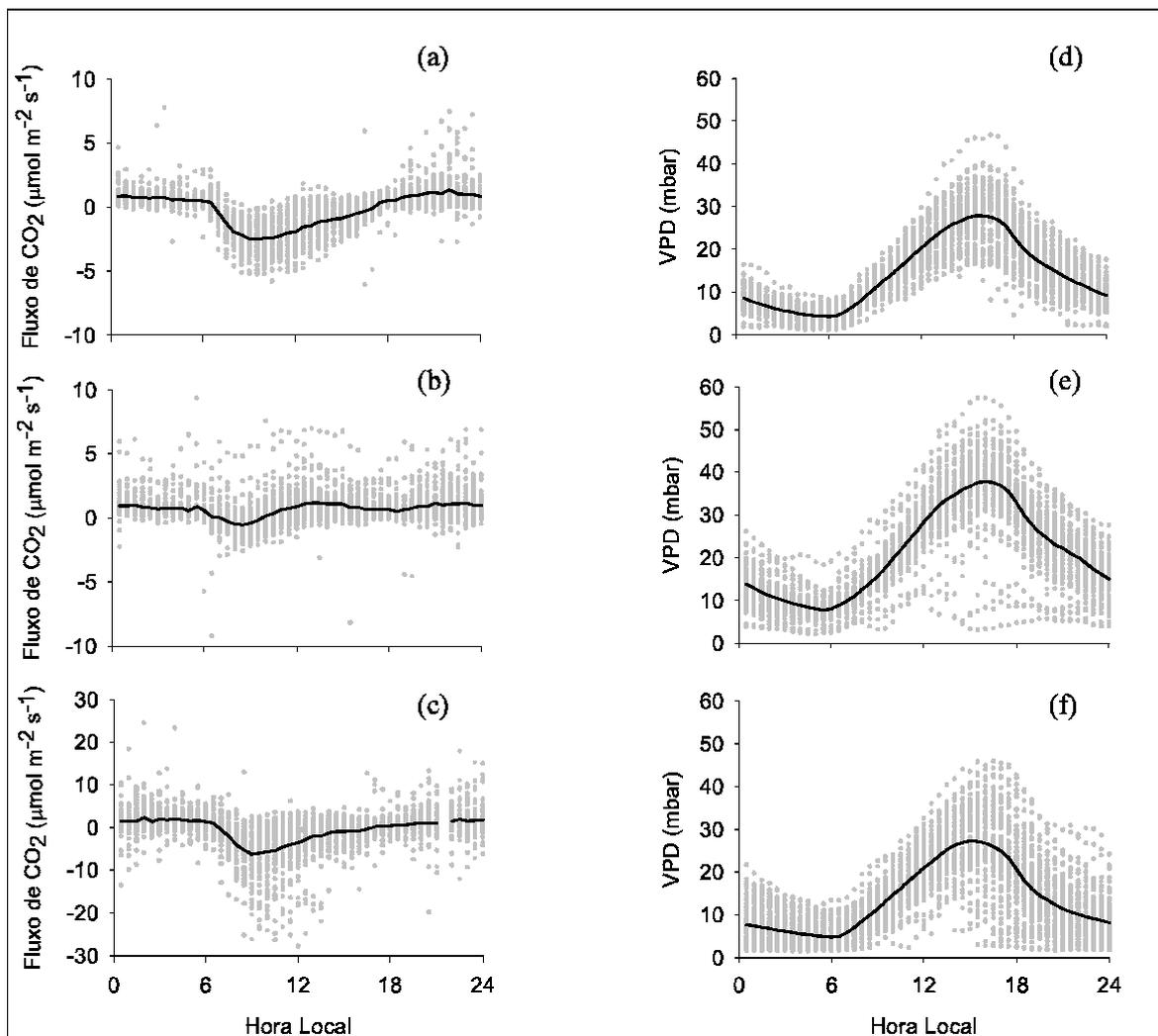


Figura 8. Curso diário do fluxo líquido de CO₂ e do déficit de pressão de vapor para os períodos: (a) e (d) 1 de julho a 15 de setembro de 2004; (b) e (e) 16 de setembro a 08 de dezembro de 2004; e (c) e (f) 08 de janeiro a 25 de abril de 2005 .

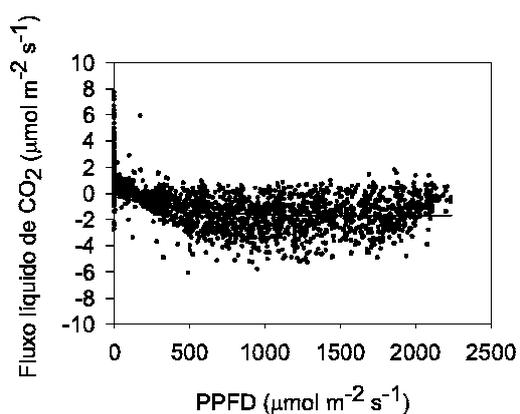


Figura 9. Curva de resposta à luz do fluxo líquido de CO₂ para o período de 01 de julho a 15 de setembro de 2004. Os coeficientes do ajuste não linear são mostrados na Tabela 2.

	Exponencial (Mitscherlich)	Hipérbole retangular
	$N_E = -N_{E_{max}} \left[1 - e^{-f(I-I_{comp})} \right]$	$N_E = \frac{\alpha \cdot I \cdot N_{E_{max}}}{-N_{E_{max}} + \alpha \cdot I} + R$
Coeficientes do ajuste		
$N_{E_{max}}$	-1.92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	-3.16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
I_{comp}	97,34 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	---
f	0,0037	---
α	---	0.0159
R	---	0,85 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Onde:		
$N_{E_{max}}$	Taxa máxima de fluxo líquido de CO ₂	
I_{comp}	ponto de compensação luminoso	
f	Fator de forma da curva exponencial de Mitscherlich	
α	Rendimento quântico em baixos níveis de irradiância	
R	Taxa de respiração	

Tabela 2. Coeficientes de ajuste para a curva de resposta à luz do fluxo líquido de CO₂ para o período de 01 de julho a 15 de setembro de 2004.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragão, M.R.S., Correia, M.F., Sobral, Z.R. Vento à superfície e chuva em anos contrastantes no submédio São Francisco. *Boletim Climatológico*. Presidente Prudente, SP, ano 2, 3 : 213-217, 1997.

Araújo, A.C., Nobre, A.D., Kruijt, B., Elbers, J.A., Dallarosa, R., Stefani, P., Randow, C., Manzi, A.O., Culf, A.D., Gash, J.H.C., Valentini, R., Kabat, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research*, v.107, 2002.

Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, U., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, Ch., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grundwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., Vesala, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research*, v. 30, p. 113-175, 2000.

Veenendaal, E.M., Kolle, O., Lloyd, J. Seasonal variation in energy fluxes and carbon dioxide exchange for a broad-leaved semi-arid savanna (Mopane woodland) in Southern Africa. *Global Change Biology*, 10: 318-328, 2004.

Potvin, C., Lechowicz, M.J., Tardif, S. 1990. The statistical analysis of ecophysiological response curves obtained from experiments involving repeated measures. *Ecology* 71: 1389-1400.

Rocha, H.R, Goulden, M.L., Miller, S.D., Menton, M.C., Pinto, L.D.V.O., Freitas, H.C., Figueira, A.M.S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological Application*, 14: S22-S32, 2004.

Scanlon, TM & Albertson, JD. 2004. Canopy scale measurements of CO₂ and water vapor exchange along a precipitation gradient in southern Africa. *Global Change Biology* 10: 329-341.

Uvo, C.R.B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE, São Paulo, 1989.