

PARTIÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO EM ÁREAS DE FLORESTA AMAZÔNICA E FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

NARA LUISA REIS DE ANDRADE¹, RENATA GONCALVES AGUIAR², LUCIANA SANCHES³,
ÉDINA CRISTINA RODRIGUES DE FREITAS ALVES¹, JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT),

Programa de Pós Graduação de Física Ambiental, Cuiabá, MT, Brasil.

²Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Departamento de Engenharia Ambiental,
Campus de Ji-Paraná, Ji-Paraná, RO, Brasil.

³Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Engenharia
Sanitária e Ambiental, Cuiabá, MT, Brasil.

naraluisar@gmail.com; rgaguiar@gmail.com; lsanches@ufmt.br;
ecrfa08@yahoo.com.br; nogueira@ufmt.br.

Recebido Novembro 2007 - Aceito Março 2009

RESUMO

No presente trabalho fez-se uma análise do comportamento sazonal e do ciclo diário de parâmetros micrometeorológicos e dos fluxos de energia, para áreas de floresta Amazônica (Rebio Jaru) e de Transição Amazônia-Cerrado (Fazenda Maracaí). As medidas foram realizadas por equipamentos instalados em torres micrometeorológicas do projeto LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), uma localizada no município de Ji-Paraná, RO (área de floresta Amazônica) e outra localizada no município de Sinop, MT (área de floresta de Transição). A análise dos resultados obtidos indica a existência de uma sazonalidade bem definida, com uma estação seca e outra úmida em ambas as localidades, o que é refletido no comportamento da precipitação, umidade do ar e temperatura e, conseqüentemente, nos fluxos de calor latente (λE) e calor sensível (H). No balanço de energia, as médias diárias demonstraram comportamento diferenciado de λE , nas diferentes áreas, indicando maior facilidade de adaptação da floresta Amazônica ao período de seca. A partição $R_n/\lambda E$ apresentou comportamento sazonal semelhante para ambas as áreas, com maiores valores durante a estação úmida, que decrescem na estação seca.

Palavras-chave: floresta tropical, balanço de energia, covariância dos vórtices turbulentos, sazonalidade.

ABSTRACT: NET RADIATION PARTITION IN AMAZONIAN FOREST AND TRANSITIONAL AMAZONIA-CERRADO FOREST AREAS

In this work the seasonal behavior and the daily cycle of micrometeorological parameters and energy fluxes, in Amazonian forest (Rebio Jaru) and Transitional Amazonia-Cerrado forest (Maracaí Farm) is analyzed. The measurements were done by equipments installed in the micrometeorological towers of LBA project (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), one located near from Ji-Paraná city, RO (area of Amazonian forest) and other located near from Sinop city, MT (area of Transitional forest). The results analysis indicate the existence of a well defined seasonality with dry and wet seasons in both localities, which is reflected in the behavior of the precipitation, air humidity and temperature and, consequently, in the latent heat (λE) and sensible heat (H) fluxes. In the energy balance, the daily means show a different behavior of λE , in both areas, indicating more adaptation capacity of Amazonia forest to the dry period. The $R_n/\lambda E$ partition values showed similar seasonal behavior for both areas, with larger values for the wet season, decreasing for the dry season.

Keywords: tropical forest, energy balance, mass exchange, eddy covariance, seasonality.

1. INTRODUÇÃO

A floresta tropical desempenha importante papel na manutenção do clima regional e global, pois influencia diretamente na emissão ou retenção de gases, na evapotranspiração e no fornecimento de vapor de água, entre outros fatores. Estudos de balanço de energia – contabilização líquida entre toda energia radiante recebida e perdida na superfície – mostram que em superfícies umedecidas, a maior parcela da radiação líquida (R_n), é convertida em calor latente (λE), seguido pelo calor sensível (H). Por ser uma grande reserva hídrica, na floresta Amazônica aproximadamente 70 % de R_n é convertido em λE , indicando que esta é uma grande fornecedora de calor latente para a atmosfera (Leopoldo et al., 1995).

A partição de R_n em λE influi diretamente na determinação do ciclo hidrológico, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima, influenciando diretamente na precipitação. Alterações na partição de energia entre calor latente e calor sensível podem afetar os fluxos da superfície e como resultado modificar o clima (Foley et al., 2003), o que torna importante conhecer e quantificar os processos relacionados ao balanço de energia, relevantes para a formulação de políticas ambientais e climáticas.

Por ter impacto fundamental no balanço de energia, além de fazer papéis críticos no balanço de carbono e efeito estufa (Gash e Nobre, 1997), projetos de pesquisa vêm sendo desenvolvidos na floresta, com a finalidade, dentre outras, de compreender sua relação nos efeitos climáticos globais.

A quantificação das taxas de fluxos de energia, em diferentes regiões da Amazônia, pode contribuir para facilitar

a construção de modelos válidos para prognosticar mudanças, que podem ocorrer na Terra. Nesse contexto, o presente trabalho, realizado em uma floresta Amazônica e em uma floresta de Transição Amazônia-Cerrado, teve como objetivos: (a) descrever o comportamento das variáveis climatológicas; (b) analisar os padrões de variabilidade sazonal dos fluxos de energia; (c) analisar o ciclo diário dos mesmos fluxos e (d) comparar o comportamento dos fluxos de energia entre as áreas em estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição das áreas em estudo

Este estudo foi desenvolvido na bacia Amazônica com dados obtidos no ano de 2001. As áreas em estudo foram a Reserva Biológica do Jaru ($61^{\circ}56' O$; $10^{\circ}46' S$) próxima ao município de Ji-Paraná, Rondônia e Fazenda Maracá ($55^{\circ}19' O$; $11^{\circ}25' S$) próxima ao município de Sinop, Mato Grosso, conforme Figura 1.

A Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) localiza-se em área da floresta tropical Amazônica a 80 km ao norte de Ji-Paraná, a 120 m do nível do mar (Culf et al., 1996). A região é composta por floresta ombrófila aberta (Rottenberger et al., 2004), com altura média do dossel de 33 m, e algumas espécies que podem alcançar 44 m (William et al., 1996). A temperatura média é de $25^{\circ}C$, e a umidade relativa média, 82 %.

A F. Maracá é uma área de floresta tropical de transição entre Amazônia e Cerrado localizada a 60 km de Sinop, Mato Grosso, com altura média do dossel de 28 m, mas algumas

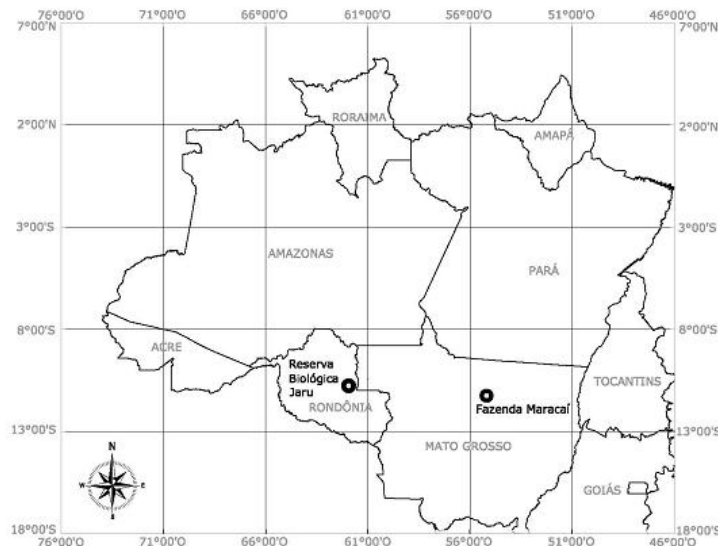


Figura 1 - Localização da área em estudo.

árvores emergentes podem alcançar 42 m. Nos últimos 30 anos, a temperatura média anual foi de 24 °C com pequena variação sazonal (Priante Filho et al., 2004).

A precipitação anual na Reserva Biológica do Jaru e F. Maracaí para o período em estudo foi de aproximadamente 2131 mm e 1842 mm, respectivamente. A Figura 2 apresenta a precipitação mensal dos anos de 2000 a 2002 nas áreas em estudo.

2.2. Medidas micrometeorológicas

Na Rebio Jaru e F. Maracaí foram instalados piranômetros (LI 200SA Pyranometer Sensor) em torres micrometeorológicas, respectivamente a 58 m e 42 m de altura, para medição da radiação solar global. As medidas de temperatura e umidade do ar foram realizadas por psicrômetros (HMP 35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalados a 62 m (Rebio Jaru) e 42 m (F. Maracaí).

Os dados micrometeorológicos obtidos foram armazenados por um sistema de aquisição de dados, um Datalogger (CR10 X, Campbell Scientific, Inc., UT, USA), programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos.

Para cada variável analisada foram realizados cálculos de um dia médio a cada 30 minutos com todos os dados. A partir do dia médio foram calculadas as médias das estações. No presente trabalho considerou-se 3 meses de estação seca (J-J-A) e 3 meses de estação úmida (D-J-F) de acordo com o adotado anteriormente em estudos de Vourlitis et al. (2004), e Priante Filho et al. (2004).

2.3. Medidas dos fluxos

Na Rebio Jaru foi instalada uma torre micrometeorológica com altura de 62 m para a medição de fluxos com o emprego de sensores de resposta rápida (Bosveld e Beljaars, 2001). Este sistema estava composto por um anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, Lymington, UK), que mede as três componentes do vento e a temperatura do ar e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (LI-7500, LICOR Inc, Lincon USA), que mede as concentrações de vapor de água. Esses sensores foram conectados a um microcomputador tipo “palmtop” que fazia a leitura dos sensores com uma frequência de 10,4 Hz e armazenava os dados brutos em arquivos a cada 30 minutos. Após coleta semanal, os dados foram processados com a rotina computacional Altetty (Elbers, 1998).

Na F. Maracaí foi instalada uma torre micrometeorológica com um sistema de correlação de vórtices turbulentos a 42 m em uma torre base (12-14 m acima do dossel da floresta), que efetuava as médias e flutuações de vapor d’água medidos em 10Hz usando um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, Oak Ridge, TN, USA; Modelo LI-7500, LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA). Esses sensores foram conectados a um microcomputador tipo “palmtop” que fazia a leitura dos sensores com uma frequência de 10,4 Hz e armazenava os dados brutos em arquivos a cada 30 minutos.

Os analisadores de gás infravermelho de caminho aberto foram calibrados, para a F. Maracaí, no intervalo de 2 a 4 semanas, usando um gás padrão de 300 e 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e um gerador portátil de ponto de orvalho (LI-610; LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) (Vourlitis et al., 2004).

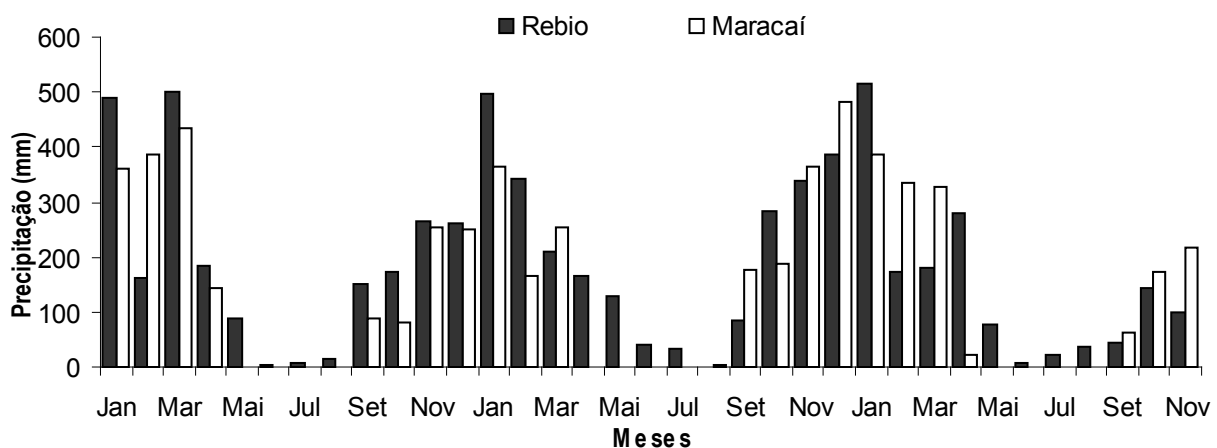


Figura 2 - Precipitação mensal na Rebio Jaru e F. Maracaí – anos 2000 a 2002.

2.4. Partição da energia

Partindo do princípio de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai de um sistema é a energia captada ou utilizada por ele, pode-se dizer que o saldo de radiação líquida (R_n), será partido em: calor sensível (H), calor latente (λE), parte será o fluxo de calor no solo (G), parte ficará armazenada na biomassa e no dossel (S) e outra parcela será utilizada no processo de fotossíntese (P), conforme Equação 1.

$$R_n = H + \lambda E + G + S + P \quad (1)$$

A qualidade das medidas dos fluxos de calor latente e sensível é avaliada pelo fechamento do balanço de energia. Devido à falta de dados referentes aos componentes G , S e P no período em questão, essas variáveis não serão consideradas no presente trabalho, devido à falta de dados referentes a essas variáveis nesse período, ficando o balanço considerado igual a $R_n = H + \lambda E$. No entanto, um prejuízo do balanço devido à falta desses dados não é presumido, uma vez que os termos que dizem respeito à estocagem podem ser ignorados porque a energia estocada durante o dia é balanceada pela perda noturna (Falge et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Sazonalidade e ciclo diário da radiação solar global, da umidade relativa do ar e da temperatura do ar

A radiação solar global (R_{sd}) apresentou padrões de variabilidade sazonal inversos entre a Rebio Jaru e a F. Maracá. A Rebio Jaru teve menor média na estação úmida, com incremento nos valores médios durante a estação seca de

~14 %. O contrário ocorreu com a F. Maracá, maior média na estação úmida com decréscimo de ~13% durante a estação seca (Tabela 1).

Maiores incidências de R_{sd} na estação seca foram observadas em outras áreas de floresta Amazônica, por exemplo, floresta Amazônica em Caxiuanã, que apresentou menor valor de R_{sd} no período chuvoso ($14,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e maior valor no período menos chuvoso ($19,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Souza et al., 2002); na Reserva Ducke, em que o máximo ($18,52 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi observado no mês de setembro e o mínimo ($13,75 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no mês de abril, na Fazenda Dimona, localizada em Manaus, em que o máximo ($11,30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi em setembro e o mínimo ($14,54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em janeiro, na Reserva Vale do Rio Doce, em Marabá, em que o máximo ($19,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em junho e mínimo ($14,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em dezembro (Culf et al., 1996). Esta variação da R_{sd} está relacionada a pouca quantidade de nuvens na estação seca, pois, em áreas de floresta Amazônica densa, a cobertura de nuvens durante a estação úmida é um fator considerado significativo para a diminuição da incidência de radiação (Rocha et al., 2004).

Comportamento diferenciado da R_{sd} foi observado na F. Maracá, com maiores valores durante a estação úmida. A maior incidência de R_{sd} durante o período úmido ocorre mesmo com a maior presença de nuvens nesse período, o que pode ser uma resposta à variação anual do ângulo de incidência da radiação solar (Vourlitis et al., 2008). Porém, as grandes concentrações de aerossóis (névoa seca) durante o período seco, ajudam a explicar em grande parte a diminuição da R_{sd} durante esse período, pois podem atenuar até 70 % da radiação incidente (Artaxo et al., 2005) uma vez que coincidem com a época de grande incidência de queimadas nas regiões próximas a F. Maracá.

Com relação à variação de R_{sd} no ciclo diário, há um incremento da radiação a partir do amanhecer (próximo às 06h30min), até atingir os valores máximos, que na Rebio Jaru

Tabela 1 - Valores das médias sazonais da radiação solar incidente (R_{sd}), umidade relativa do ar e temperatura do ar (\pm erro padrão).

| Rebio Jaru | | | |
|--------------|----------------------------|----------------------------|--|
| Estação | $R_{sd} (\text{W m}^{-2})$ | Umidade relativa do ar (%) | Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) |
| <i>úmida</i> | 182 ± 32 | $92,47 \pm 1,05$ | $24,55 \pm 0,25$ |
| <i>seca</i> | 211 ± 40 | $79,47 \pm 2,17$ | $25,01 \pm 0,48$ |
| F. Maracá | | | |
| Estação | $R_{sd} (\text{W m}^{-2})$ | Umidade relativa do ar (%) | Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) |
| <i>úmida</i> | 161 ± 30 | $86,92 \pm 1,81$ | $24,76 \pm 0,38$ |
| <i>seca</i> | 140 ± 27 | $79,04 \pm 2,86$ | $24,26 \pm 0,62$ |

e F. Maracaí, foram respectivamente, na estação seca $758,6 \text{ W m}^{-2}$ (12h30min) e $538,6 \text{ W m}^{-2}$ (11h30min) e, na estação úmida, $612,4 \text{ W m}^{-2}$ (13h30min) e $579,7 \text{ W m}^{-2}$ (11h30min) (Figura 3). A partir daí, há um decaimento dos níveis de radiação, até atingir valores negativos no período noturno. É possível observar que, no ciclo diário, assim como nas médias das estações, a Rsd máxima ocorre durante o período seco na Rebio Jaru, e no período úmido na F. Maracaí.

Para umidade relativa do ar, os maiores valores foram observados durante a estação úmida em ambas as áreas, com um decréscimo na estação seca de 14,1 % na Rebio Jaru e de 9,1 % na F. Maracaí. Pode-se observar na Tabela 1, que as médias da umidade para a estação seca são iguais para as duas regiões,

mas a Rebio Jaru apresenta maiores valores médios na estação úmida, motivo pelo qual a variação sazonal se mostra maior. Os padrões de variação da umidade relativa do ar estão diretamente relacionados aos padrões de precipitação das áreas em estudo, e estão de acordo com padrões apresentados por Maitelli e Wright (1996), observados em uma floresta tropical de Manaus e por Priante Filho et al. (2004) para a mesma região de floresta de transição Amazônia-Cerrado no sul da Amazônia.

Observa-se que os valores médios de umidade relativa do ar foram maiores na Rebio Jaru do que na F. Maracaí em ambas as estações, o que pode ser explicado pela maior disponibilidade hídrica da primeira, enquanto na F. Maracaí há um menor índice pluviométrico (para o período de 2000 a

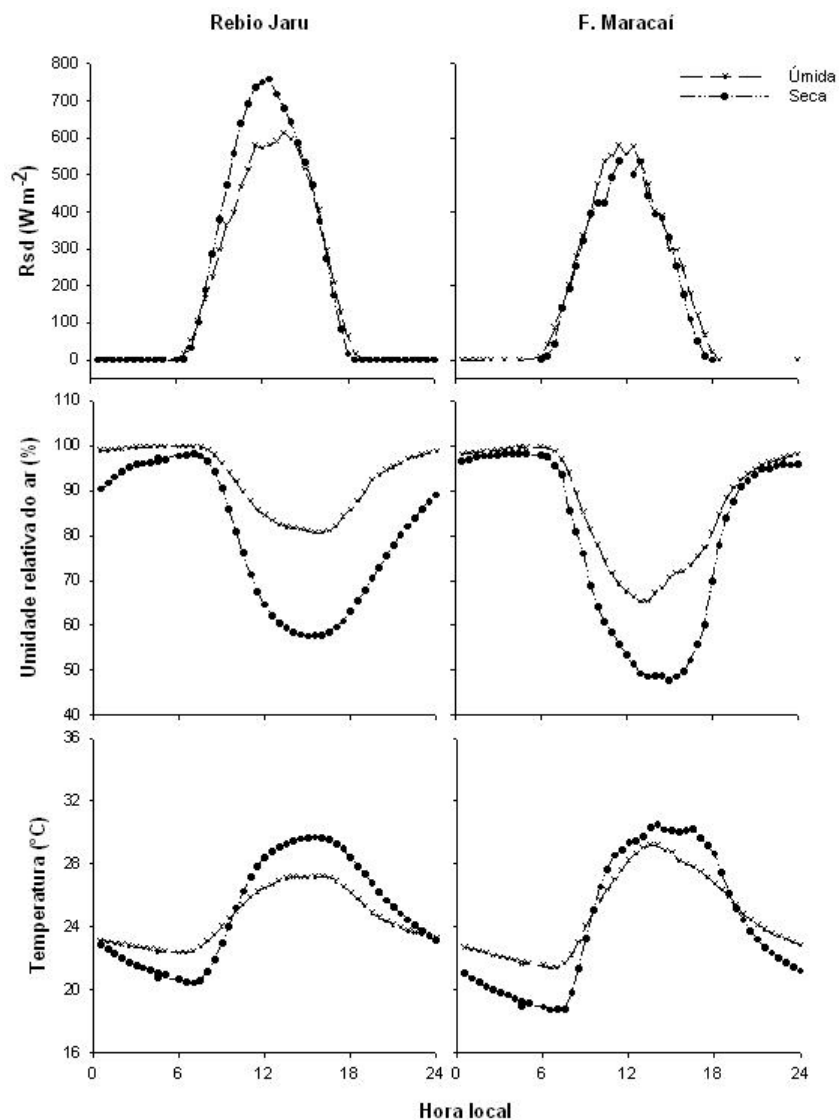


Figura 3 - Ciclo diário da radiação solar global (Rsd), umidade relativa do ar e temperatura do ar nas estações úmida e seca.

2002 igual a aproximadamente 289 mm), e, conseqüentemente, da umidade disponível.

Observando o ciclo diário da umidade relativa nota-se, que maiores valores ocorrem no período noturno, e sua diminuição inicia-se ao amanhecer, ocorrendo logo após os primeiros instantes com presença de Rsd (próximo às 07h), atingindo valores mínimos entre 13h e 16h, horário a partir do qual a umidade relativa volta a subir à medida que Rsd decresce. A diferença sazonal de umidade foi maior na Rebio Jaru.

A temperatura média do ar apresentou maior valor na estação seca na Rebio Jaru e maior valor na estação úmida na F. Maracáí, obedecendo a sazonalidade encontrada para a Rsd, e condizente com estudos realizados em área de floresta Amazônica (Aguiar et al., 2006) e em área de floresta de Transição (Vilani et al., 2006). A variação da temperatura média entre as estações seca e úmida, para ambas as florestas foi de 0,5 °C (Tabela 1), porém, ao analisar o erro padrão observa-se que não há diferenças significativas (nível de confiança de 95 %) na temperatura média.

Em termos de ciclo diário, variação do ciclo diário da temperatura está de acordo com as variações do ciclo diário da umidade relativa do ar que estão interligados de forma inversamente proporcional, de modo que em horários onde há menor temperatura, há maior umidade relativa, e vice-versa.

A maior amplitude térmica, tanto para Rebio Jaru quanto para F. Maracáí, foi na estação seca (Figura 3). Nessa estação, a diferença entre o ciclo diurno e noturno foi de aproximadamente 9,2 °C para Rebio Jaru e 11,8 °C para F. Maracáí, enquanto na estação úmida a diferença foi de, respectivamente, 4,9 °C e 7,8 °C. Esse comportamento térmico está relacionado à menor quantidade de nuvens durante a estação seca, proporcionando assim, uma maior incidência de radiação solar durante o dia e uma maior perda energética radioativa da superfície durante a noite. Ademais, a amplitude térmica também está relacionada à umidade, de modo que maior umidade relativa, a amplitude térmica é menor, devido ao elevado calor específico da água, que atua como controlador térmico. Isso pode ser verificado tanto entre as diferentes estações (menor amplitude na estação úmida) quanto entre as localidades (menor amplitude na Rebio Jaru, que, como visto anteriormente, é uma região mais úmida).

3.2. Balanço de energia

i. Fechamento do balanço

Na Figura 4, está representada a relação entre a energia disponível no sistema (Rn) e os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (λE).

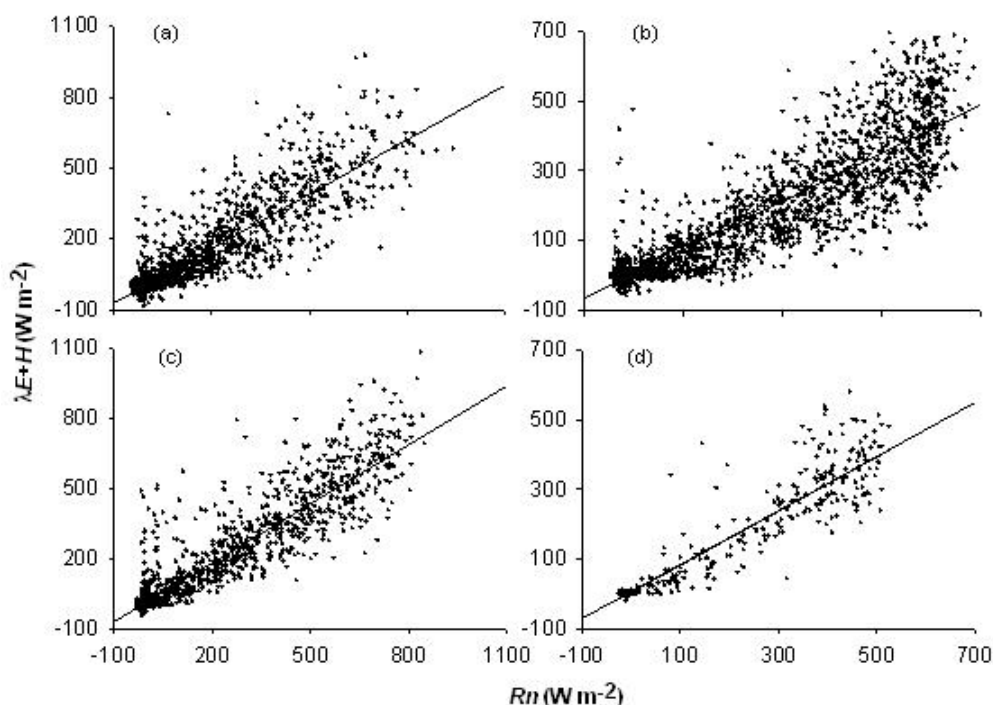


Figura 4 -Relação entre a energia líquida disponível ao sistema (R_n) e os fluxos de calor latente (λE) e sensível (H) na estação úmida (a) na Rebio Jaru (n = 3790) e (c) F. Maracáí (n = 1707) e estação seca (b) na Rebio Jaru (n = 3879) e (d) F. Maracáí (n = 517).

O fechamento do balanço de energia para a Rebio Jaru e F. Maracai foi de ~ 77 % e ~ 85 %, na estação úmida e ~ 70 % e ~ 78 %, na estação seca, o que está de acordo com fechamentos de balanço $(H + \lambda E) = (Rn - G)$ em áreas florestais de ~ 85 % (Araújo et al., 2002; Rocha et al., 2004).

No balanço de energia, durante a estação úmida, a parcela de Rn representada por λE e H foi maior que na estação seca. Durante a estação seca houve um decréscimo de 7 % na partição de Rn na Rebio Jaru e F. Maracai.

A parcela representada por $\lambda E + H$ foi menor na Rebio Jaru do que na F. Maracai, em ambas as estações, possivelmente devido a metodologia adotada para monitoramento dos equipamentos, acurácia das medidas ou ainda tratamento dos dados, visto que na Rebio Jaru foi utilizado um maior número de dados no fechamento do balanço.

Ciclo diário dos fluxos de calor latente e calor sensível

Valores médios diários de Rn, λE e H estão apresentados na Figura 5.

De um modo geral, o ciclo diário de Rn, H e λE seguiu a mesma tendência da variação diária da Rsd apresentada na Figura 3, aumentando no decorrer da manhã, atingindo maiores valores próximos ao meio-dia, seguido por um declínio no decorrer da tarde, até atingir valores negativos no período noturno.

Na Rebio Jaru foram observados menores valores de Rn ($Rn_{m\acute{a}x} = 444,55 \text{ W m}^{-2}$; $Rn_{m\acute{i}n} = -21,36 \text{ W m}^{-2}$) durante a estação

úmida (Figura 5) estando de acordo com estudos realizados em florestas tropicais (Rocha et al., 2004; Von Randow et al., 2004). Durante a estação seca os valores encontrados foram $Rn_{m\acute{a}x} = 548,40 \text{ W m}^{-2}$; $Rn_{m\acute{i}n} = -29,4 \text{ W m}^{-2}$. Isso pode estar relacionado à maior cobertura de nuvens que ocorre na região durante a estação úmida. Em florestas tropicais as mudanças sazonais na cobertura das nuvens é o principal fator a influenciar a incidência da radiação solar (Malhi et al., 2002).

Na F. Maracai, durante a estação úmida foram observados os maiores valores de Rn ($Rn_{m\acute{a}x} = 576,72 \text{ W m}^{-2}$; $Rn_{m\acute{i}n} = -19,28 \text{ W m}^{-2}$) (Figura 5), coincidindo com o comportamento de Rsd, reforçando a existência de um fator externo que minimiza os efeitos da radiação no período seco, mais significativo do que o efeito das nuvens no período chuvoso. Ao que tudo indica, menores valores de Rn durante a estação seca ($Rn_{m\acute{a}x} = 466,16 \text{ W m}^{-2}$; $Rn_{m\acute{i}n} = -18,52 \text{ W m}^{-2}$) podem ser relacionados à névoa seca que se forma na região neste período do ano, em decorrência das queimadas, que ocorrem em grande quantidade e frequência próximo ao local em estudo. Comportamento semelhante foi observado na mesma região em estudo, onde Rn aumenta da estação seca para a úmida, embora com um decréscimo no mês de dezembro, devido a grande intensidade de chuvas, porém recompensado com aumento nos meses úmidos subsequentes (Vourlitis et al., 2008).

Ainda de acordo com a Figura 5, é possível observar que para ambas as localidades, os valores diários de λE foram

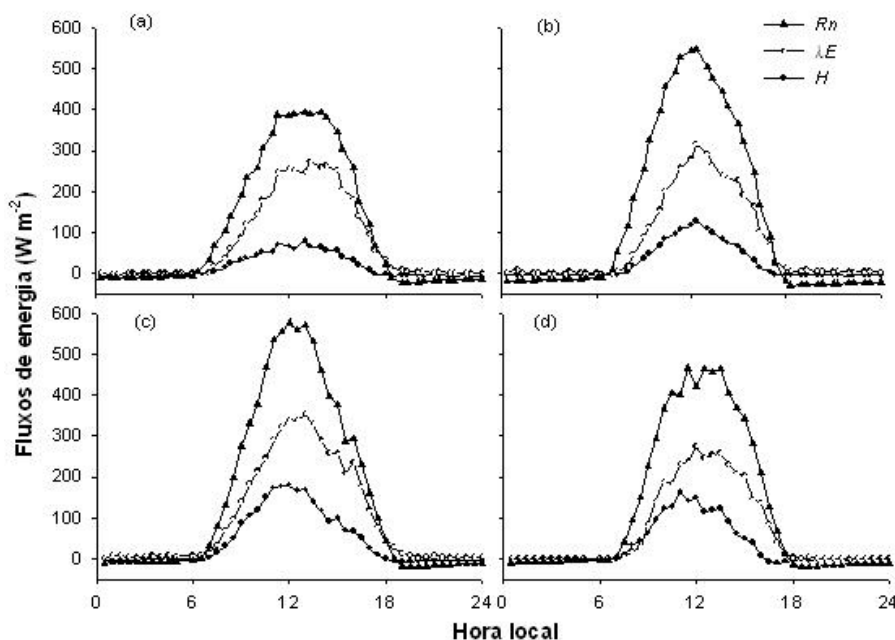


Figura 5 -Ciclo diário de saldo de radiação líquida (Rn), fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H) na Rebio Jaru (a) estação úmida e (b) estação seca e F. Maracai na (c) estação úmida e (d) estação seca.

maiores que H, característica esta observada em todo o ciclo sazonal, o que está de acordo com o observado em áreas de floresta, em que a maior parcela de Rn é utilizada em forma de λE (Priante Filho et al., 2004; Arruda et al., 2006; Hasler e Avissar, 2007).

Embora os valores de Rn na estação seca tenham sido maiores na Rebio Jaru em relação à estação úmida, esse aumento não refletiu no comportamento de λE , que permaneceu com valores semelhantes à estação úmida, assim como o observado para a umidade relativa, onde pouca variação entre as estações foi observada, indicando que a floresta mantém altas taxas de evaporação, mesmo durante a estação seca, e apresenta pouca variabilidade sazonal (Araújo et al., 2002; Rocha et al., 2004). Porém, o maior Rn na estação resultou em um acréscimo de H, padrão relatado por Galvão (1999) para a mesma região.

O comportamento sazonal com pequena alteração de λE verificado na Rebio Jaru, é uma característica desse ecossistema, que em grande parte conta com raízes profundas, capazes de buscar água a altas profundidades, também é uma forma de adaptação desse tipo de vegetação a períodos com menor precipitação.

A menor Rn observada na F. Maracaí durante a estação seca em relação à Rebio Jaru e à estação úmida, coincide com os menores valores de λE . Os menores valores de λE mostram uma maior vulnerabilidade deste ecossistema a períodos de seca, em relação à Rebio Jaru, e está de acordo com o observado anteriormente nos dados de umidade relativa, onde menores valores foram encontrados na F. Maracaí em ambas as estações. A diminuição de λE durante o período seco na F. Maracaí, foi observado por da Rocha et al. (2009), e, no mesmo estudo, maiores valores de λE na Rebio Jaru foram observados durante a estação seca, em uma relação diretamente proporcional a variação da Rn.

ii. Médias diárias sazonais

Para médias diárias do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H), nas estações úmida e seca, e medidas da fração evaporativa ($\lambda E/Rn$), foram encontrados os valores apresentados na Tabela 2.

Houve variação sazonal de Rn na Rebio Jaru e na F. Maracaí, sendo este comportamento diferenciado entre as duas áreas com acréscimo da estação úmida para a seca na Rebio Jaru (+19,7%), e decréscimo no mesmo período na F. Maracaí (-20,7%), confirmando o que foi anteriormente observado no ciclo diário.

A fração evaporativa ($\lambda E/Rn$) apresentou comportamento semelhante entre os ecossistemas analisados, sendo maior durante a estação úmida, resultado semelhante ao encontrado em estudos anteriores para áreas de florestas tropicais úmidas (Aguiar, 2005; Priante Filho et al., 2004; Vourlitis et al., 2002; Galvão, 1999) e de caatinga (Oliveira et al., 2006).

Porém, foi observado que o decréscimo de 12% de $\lambda E/Rn$ na Rebio Jaru em relação à estação úmida não se deu pelo decréscimo de λE , que foi de apenas 1,3%, sendo a maior parcela do aumento na estação úmida de $\lambda E/Rn$ devido o aumento de Rn em 19,7%. Esse resultado indica que o fluxo de calor latente não sofreu influência sazonal nessa área em estudo resultado de acordo com o citado por Hasler e Avissar (2007). Na estação úmida, foi observado um acréscimo de H (+47%) na Rebio Jaru, acima do aumento de Rn, indicando menor energia desprendida para aquecimento do ar no período chuvoso. Resultado semelhante, com incremento de H de até 118,2% durante a estação seca, foi anteriormente encontrado na mesma região (Aguiar et al., 2006).

Na F. Maracaí, contudo, o decréscimo de $\lambda E/Rn$ na estação seca (-11%) apresenta causas diversas da Rebio Jaru.

Tabela 2 - Médias de Rn, λE e H (\pm erro padrão), e fração evaporativa ($\lambda E/Rn$).

| Rebio Jaru | | | | |
|--------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------|
| Estação | Rn (W m ⁻²) | λE (W m ⁻²) | H (W m ⁻²) | $\lambda E/Rn$ |
| <i>úmida</i> | 112 ± 23 | 76 ± 15 | 16 ± 4 | 0,68 |
| <i>seca</i> | 134 ± 30 | 75 ± 15 | 24 ± 6 | 0,56 |
| F. Maracaí | | | | |
| Estação | Rn (W m ⁻²) | λE (W m ⁻²) | H (W m ⁻²) | $\lambda E/Rn$ |
| <i>úmida</i> | 152 ± 31 | 100 ± 18 | 43 ± 9 | 0,66 |
| <i>seca</i> | 121 ± 26 | 67 ± 14 | 32 ± 8 | 0,55 |

Nessa localidade, a menor fração evaporativa ocorreu devido a um decréscimo significativo de λE (-33 %), demonstrando maior sazonalidade da fração evaporativa nesta região. Para H, foi verificado um decréscimo de 26,2 % no mesmo período, em parte, devido a diminuição de R_n (-20,7 %).

De acordo com os dados acima citados, pode ser observado que, embora a sazonalidade de $\lambda E/R_n$ seja a mesma para ambas as localidades, com maiores valores no período úmido, as variações do fluxo de calor latente não se dão do mesmo modo, uma vez que este apresenta valores bem superiores na estação úmida em relação a estação seca na F. Maracá, enquanto esta percentagem é maior na Rebio Jaru.

4. CONCLUSÕES

O comportamento das variáveis micrometeorológicas radiação solar incidente (R_{sd}) e umidade relativa do ar, na Rebio Jaru, apresentou sazonalidade, com maiores valores de R_{sd} durante a estação seca e de umidade relativa do ar durante a estação úmida, e, na Fazenda Maracá, os maiores valores de R_{sd} , assim como de umidade relativa do ar, foram observados durante a estação úmida. Para temperatura, não foi possível observar diferenças significativas das médias entre as estações em ambas as localidades.

Houve comportamento diferenciado do balanço energético entre as regiões, tanto na média sazonal quanto no ciclo diário. A R_n apresentou maiores valores, durante a estação seca, na Rebio Jaru, enquanto a Fazenda Maracá, obteve maiores valores na estação úmida, coincidindo nos dois casos com o padrão observado para R_{sd} .

Foi observado, durante o período chuvoso, que a devolução de energia para a atmosfera é realizada predominantemente pelo fluxo de calor latente, cuja fração do saldo de radiação ($\lambda E/R_n$) utilizada foi 0,68 na Rebio Jaru e 0,66 na Fazenda Maracá. Observando os valores médios de λE , outra diferença entre as áreas é detectada: na Rebio Jaru, não há grande diferenças entre as estações seca e úmida, enquanto a Fazenda Maracá apresenta sazonalidade, com valores bem inferiores de λE na estação seca, indicando maior vulnerabilidade dessa área ao período de seca.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao suporte financeiro e logístico do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), a Universidade Federal de Rondônia (UNIR), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE), e ao Instituto Brasileiro de Proteção ao Meio Ambiente (IBAMA).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R.G. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 56 f, 2005.
- AGUIAR, R. G.; RANDOW, C. V.; PRIANTE FILHO, N.; MANZI, A. O.; AGUIAR, L. J. G.; CARDOSO, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n.3b, p. 248-257, 2006.
- 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. *J. Geophys. Res.* v. 107, p. 58-1 – 58-20, 2002.
- ARRUDA, J. C.; JORGE, A.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUERIA, J. S.; ALMEIDA FILHO, E. Q.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; VOURLITIS, G. L. Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3b, p. 21-28, 2006.
- ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C., LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO, A. S., RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*. v. 35(2), p. 185-196, 2005.
- BOSVELD, F. C.; BELJAARS, A. C. M.. The impact of sampling rate on eddy-covariance flux estimates. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 109, p. 39-45, 2001.
- CULF. In: JHC. GASH, J. H. C; NOBRE, C. N.; ROBERTS, J. M; VICTORIA, R. M, Editors, *Amazonian Deforestation and Climate*, Wiley, Nedlands, W.A. ISBN 0-471-96734-3. 1996.
- DA ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. C.; SALESKA, S.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; WOFSY, N. R. C.; BORMA, L. S.; NOBRE, A.D.; VOURLITIS, G. V.; NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; KRUIJT, B.; FREITAS, H.; VON RANDOWN, C.; AGUIAR, R. G.; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *J. Geophys. Res.*, v.114. 2009.
- ELBERS, A.J. Eddy correlation system: user manual version

- 2.0. Alterra, Wageningen, The Netherlands, 39p, 1998.
- FALGE, E.; BALDOCCHI, D.; OLSON, R. J.; ANTHONI P.; AUBINET, M.; BERNHOFER, C.; BURBA, G.; CEULEMANS, R.; CLEMENT, R.; DOLMAN, H.; GRANIER, A.; GROSS, P.; GRÜNWARD, T.; HOLLINGER, D.; JENSEN, N. O.; KATUL, G.; KERONEN, P.; KOWALSKI, A.; TA LAI, C.; LAW, B.E.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MOORS, E.; MUNGER, J.W.; PILEGAARD, K.; RANNIK, Ü.; REBMANN, C.; SUYKER, A.; TENHUNEN, J.; TU, K.; VERMA, S.; VESALA, T.; WILSON, K.; WOFSY, S. Gap filling strategies for long term energy flux data sets. *Agricultural Forest Meteorology*. v.107, p.71-77, 2001.
- FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet*. v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.
- GALVÃO, J. A. C. Estudo observacional do balanço de energia em áreas de floresta e pastagens. *Rev. Bras. Geof.* v.17, n.2-3. São Paulo, 1999.
- GASH, J.H.C., NOBRE, C.A. - Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78(5), p. 823 – 830, 1997.
- HASLER, N.; AVISSAR, R. What controls evapotranspiration in the Amazon Basin? *Jounal of hydrometeorology*. 2007.
- LEOPOLDO P.R., FRANKEN W.K., VILLA NOVA N.A. Real evapotranspiration and transpiration through a tropical rain forest in central Amazônia as estimated by the water balance method. *Forest Ecology and Management*, v. 73, p. 185-195, 1995.
- MAITELLI, G. T.; WRIGHT, I. R. (1996). The climate of a riverside city in the Amazon Basin: urban-rural differences in temperature and humidity. In: *Amazonian deforestation and climate*. (eds Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.). p. 193-206. J. M Wiley and Sons, New York.
- MALHI, Y.; PEGORARO, E.; NOBRE, A. D.; PEREIRA, M. G. P.; GRACE, J.; CULF, A. D.; CLEMENT, R. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. *J. Geophys. Res.* v. 107, p. 45-1 – 45-17, 2002.
- OLIVEIRA, M. B. L., SANTOS, A. O. M., ALVALÁ, R. C. S., CORREIA, M. F., MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxos de carbono entre a vegetação de caatinga e a atmosfera no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n.3b, p. 378-386, 2006.
- PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L., HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CAMPELO JR, J.H.; NUNES, P.C., SANCHES, L.; COUTO, E.G.; HOEGER, W., RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C., PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M.. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. *Global Change Biology*, v. 10, p. 863-876, 2004.
- RAITER, F.; HOEGER, W.; CAMPELO JR, J.H. Effects of meteorological variations of the CO2 exchange of a Brazilian transitional tropical Forest. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. S89-S100, 2004.
- ROCHA, H. R.; GOLDEN, 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 Amazônia. *Ecological Applications*. v. 14, p. S22-S32, 2004.
- ROTTENBERGER, S.; KUHN, U.; WOLF, A.; SCHEBESKE, G.; OLIVA, S.T.; TAVARES, T.M.; KESSELMEIER, J.. Exchange of short-chain aldehydes between Amazonian vegetation and the atmosphere at a remote forest site in Brazil. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. 247-262, 2004.
- SOUZA, J. R. S.; COHEN, J. C. P.; COSTA, A. C. L.; LOPES, Z. F., 2002: Soil Temperature And Moisture Variability, Beneath Forest, Pasture And Mangrove Areas, In Eastern Amazonia. II Conferência Científica Internacional do Experimento LBA. Manaus-AM, Julho de 2002.
- VILANI, M.T.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J.S. de. Variáveis micrometeorológicas e conteúdo de água no solo em uma floresta tropical de transição Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 21, n.3b, p. 119-131, 2006.
- VON RANDOWN, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M.J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*. p. 1-22, 2004.
- VOURLITIS, G. L., PRIANTE FILHO N., HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S., CASEIRO, F. T., CAMPELO JR., J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resources Research*, v. 38, 2002.
- VOURLITIS, G. L., NOGUEIRA, J. S., LOBO, F. A., SENDALL, K. M., DE PAULO, S. R., DIAS, C. A. A., PINTO JR., O. B., ANDRADE, N. L. R. Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. *Water Resources Research*, v. 44, 2008.
- WILLIAM. IN: J.H.C. GASH, JHC; NOBRE, CN, ROBERTS, JM; VICTORIA, RM, Editors, *Amazonian Deforestation and Climate*, Wiley, Nedlands, W.A. ISBN 0-471-96734-3. 1996.