ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

CONVERSÃO DE FLORESTAS TROPICAIS EM SISTEMAS PECUÁRIOS NA AMAZÔNIA: QUAIS AS IMPLICAÇÕES NO MICROCLIMA DA REGIÃO?

GOMES, Josiane Brito – josiane.brito@jna.ifmt.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso

WEBLER, Alberto Dresch – betowebler@gmail.com
Universidade Federal de Rondônia

AGUIAR, Renata Gonçalves – rgaguiar@gmail.com
Universidade Federal de Rondônia

AGUIAR, Leonardo José Gonçalves – veraneiro@yahoo.com.br
Universidade Federal de Pelotas

NUÑES, Marcos Leandro Alves – marcosbatarelli@hotmail.com
Faculdade de Ouro Preto

RESUMO: A Amazônia tem sido alvo direto da ação humana indiscriminada, que sempre resulta no avanço do desmatamento, comprometendo o equilíbrio natural desse ecossistema. O objetivo deste estudo foi elucidar as possíveis implicações das mudanças no uso da terra amazônica no clima regional. Foi analisado o comportamento da precipitação, da umidade específica do ar, do saldo de radiação e dos fluxos de energia em dois ecossistemas localizados no sudoeste da Amazônia, sendo uma área de floresta tropical e uma área de pastagem, nos anos de 1999 a 2010. As medidas foram realizadas por instrumentos instalados em torres micrometeorológicas do Programa LBA. Os dados de fluxos de energia foram obtidos pelo método de covariância de vórtices turbulentos. Os resultados apontaram uma diminuição de 17% na precipitação e de 8,3% na umidade específica do ar devido às alterações no uso da terra. O saldo de radiação da pastagem foi 5,8% (período úmido) e 19,0% (período seco) inferior ao da floresta. O fluxo de calor latente foi 9,3% (período úmido) e 32,4% (período seco) inferior na região de pastagem, enquanto o fluxo de calor sensível foi 11,5% (período úmido) e 18,7% (período seco) superior, em relação à região de floresta. Tais alterações nos aspectos microclimáticos corroboram os resultados propagados de que a atmosfera tende a ser mais seca e mais quente em decorrência de mudanças na cobertura vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Desmatamento, pastagem, fluxos de energia.

CONVERSION OF TROPICAL FORESTS IN LIVESTOCK SYSTEMS IN THE AMAZON: WHAT ARE THE IMPLICATIONS FOR THE MICROCLIMATE OF THE REGION?

ABSTRACT: The Amazon has been direct target of indiscriminate human action, which always results in advance of deforestation, affecting the natural balance of this ecosystem. The objective of this study was to elucidate the possible implications of changes in the use of land in the Amazon regional climate. We analyzed the behavior of precipitation, specific humidity, net radiation and energy flows in two ecosystems located in southwestern Amazonia, with an area of tropical forest and pasture area, in the years 1999-2010. The measurements were performed by instruments installed on micrometeorological towers of the LBA. The data of energy flows were obtained by the eddy covariance method. The results showed a decrease of 17% in precipitation and 8.3% in the specific humidity due to changes in land use. The grassland net radiation was 5.8% (wet season) and 19.0% (dry season) lower than the forest. The latent heat flux was 9.3% (wet season) and 32.4% (dry season) than in the grassland flux region, while the sensible heat flux was 11.5% (wet season) and 18.7% (dry period) higher in relation to the forest region. Such changes in microclimate aspects corroborate the

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

results propagated that the atmosphere tends to be drier and warmer due to changes in vegetation cover.
KEYWORDS: Deforestation, pasture, energy fluxes.

.

1. INTRODUÇÃO

O desmatamento tropical é uma das principais causas das mudanças globais da atualidade, e os seus elevados e crescentes índices têm suscitado especulações sobre o cenário futuro do ecossistema amazônico, no que diz respeito à sua estabilidade ambiental, ecológica e climática.

As mudanças no uso da terra na Amazônia, em especial, no estado de Rondônia, foram caracterizadas inicialmente pelo seu processo de ocupação desordenado e estão intimamente ligadas às atividades econômicas predominantes na região que levam as fronteiras agrícolas e pecuárias por sobre as florestas nativas. Rondônia é um dos estados da região que apresenta maiores índices de alteração da paisagem original. Apenas no ano de 2011 foram desflorestados cerca de 74.000 hectares (PRODES-INPE 2013).

A pecuária é a atividade que impulsiona a economia regional; somente no ano de 2014 foram quantificados 2.174.772 abates, sendo o estado de Rondônia o quinto maior exportador de carne bovina do país (ABIEC, 2014). Assim, tal atividade resulta em um expressivo desenvolvimento econômico e, por conseguinte, na crescente expansão de pastagens tropicais em detrimento do ecossistema amazônico.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) divulgaram os resultados do Projeto Terra Class, sobre o uso das áreas desmatadas na Amazônia. Ao analisarem o uso no ano de 2012 verificaram que 52,69% da área desmatada na Amazônia foi convertida em pastagens (PRODES-INPE, 2015).

Alguns estudos foram realizados com o intuito de observar o variabilidade do clima frente às alterações do uso da terra (COHEN *et al*., 2007; CORREIA *et al.,* 2007; PHILLIPS *et al.,* 2009; MALHI, 2010) e esses mostraram que mudanças na cobertura superficial podem impactar significativamente no clima regional e global, ocasionando uma redução de 15 a 30% na evapotranspiração e uma redução na precipitação de 5 a 20%, além de influenciar de forma considerável no ciclo do carbono.

Não obstante, é imprescindível a continuidade de estudos que analisem os processos básicos do funcionamento do ecossistema amazônico sob diferentes tipos de superfície e com maior distribuição temporal, buscando elucidar os reais impactos do desmatamento tropical no equilíbrio ambiental e climático da região e facilitar a construção de modelos climáticos com maior grau de confiabilidade.

Mediante o exposto, o objetivo deste estudo foi investigar as possíveis implicações que a conversão da floresta tropical para pastagem pode acarretar no microclima, analisando uma série de doze anos (1999 a 2010) de dados de elementos micrometeorológicos como precipitação, umidade específica do ar, saldo de radiação e fluxos de calor latente e sensível, em áreas de floresta tropical e pastagem da Amazônia Ocidental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas de estudo

O presente estudo foi realizado em dois sítios experimentais no estado de Rondônia, uma área de floresta tropical úmida e uma área de pastagem onde estão instaladas, e em funcionamento desde 1999, duas torres

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

micrometeorológicas com alturas aproximadas de 61,5 m e 10 m, respectivamente, pertencentes à rede de torres do Programa LBA (Figura 1). É importante ressaltar que no ano de 2003, a torre micrometeorológica da Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru) estava desativada, o que impossibilitou medidas neste período.

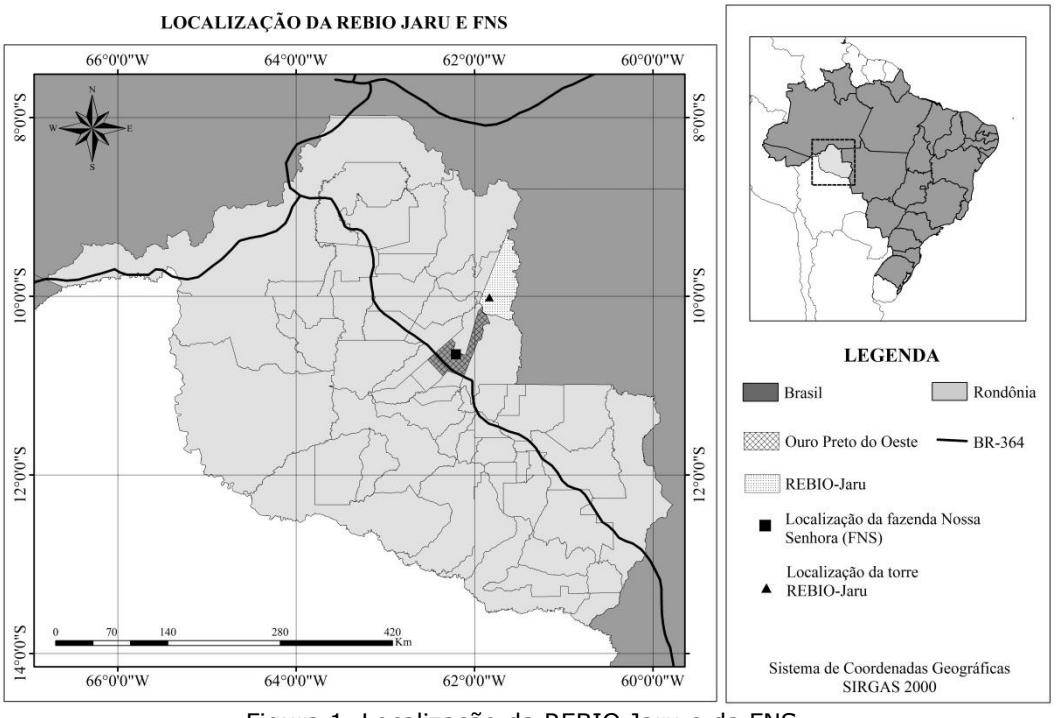

Figura 1. Localização da REBIO Jaru e da FNS.

O sítio de floresta está localizado na REBIO Jaru (10°11'11,4''S; 61°52'29,9" W), no município de Ji-Paraná. Com uma área de 352.000 ha, a REBIO Jaru é classificada como *Floresta Ombrófila Aberta* (CULF *et al*., 1996). Possui uma vegetação com características de terra-firme, com altura média do dossel de aproximadamente 35 m, sendo que algumas árvores emergentes podem atingir até 45 m. A altitude da área da reserva varia entre 120 m e 150 m, e o solo é caracterizado como podzólico vermelho-amarelo (HODNETT *et al.,* 1996). A direção predominante do vento na área é sul/sudeste (VON RANDOW *et al.,* 2004).

O sítio de pastagem está localizado na Fazenda Nossa Senhora (FNS) (10°45'44"S, 62°21'27" W), no município de Ouro Preto d´Oeste. Localiza-se a 80 km de distância da REBIO Jaru. Foi desmatada no ano de 1977, com raio de aproximadamente 50 km e encontra-se na maior área plana com pastagem da região, com aproximadamente 4 km², tendo uma altitude de 220 m acima do nível do mar (CULF *et al*., 1996).

A cobertura vegetal predominante é a gramínea *Brachiaria brizantha*, além de pequenas palmeiras dispersas. O solo é classificado como podzólico vermelho-amarelo (HODNETT *et al*., 1996). O *fetch* no sítio experimental é de aproximadamente 1-2 km em todas as direções (VON RANDOW *et al.,* 2004). A direção do vento na área apresenta predominância de ventos de sul/oeste no período diurno e de sul/leste no período noturno (SILVA JUNIOR *et al.,* 2004).

As duas regiões apresentam período úmido característico de janeiro a

março, período de transição úmido-seco de abril a junho, período seco de julho a setembro e período de transição seco-úmido de outubro a dezembro.

Descrição dos instrumentos e medidas

Os sensores que medem a precipitação (P) (ARG-100, Waterra, Solihull, UK), umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T) (HMP35A e o HMP45C, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) e saldo de radiação (Rn) (NR-Lite, Kipp e Zonen, Bohemia, USA) foram instalados em torres micrometeorológicas e conectados a sistemas de aquisição de dados (Datalogger CR23X na REBIO Jaru e Datalogger CR10X na FNS, ambos da Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) programados para fazer leitura das medidas a cada 30 segundos e armazenar médias a cada 10 minutos.

A umidade específica do ar foi calculada a partir da Equação 1, o défice de umidade específica do ar pela Equação 2 e a umidade específica de saturação pela Equação 3, sendo que os dados de pressão atmosférica (Pa) foram obtidos por meio do sensor PTB100 (Vaisala, Helsinki, FIN).

$$q = \frac{0{,}622e}{Pa - 0{,}378es} x1000 \quad (1)$$

$$\Delta q = q - qs \quad (2)$$

$$qs = \frac{0{,}622es}{Pa - 0{,}378es} x\ 1000 \quad (3)$$

no qual *Pa* é a pressão atmosférica (hPa), *e* é a pressão atual do vapor d'água (hPa), e_s é a pressão de saturação do vapor d'água (hPa), *q* é a umidade específica do ar (g kg^{-1}) e *qs* é a umidade específica de saturação (g kg^{-1}) .

As medidas de fluxos de calor latente (λE) e calor sensível (H) foram obtidas por um sistema de medição de alta frequência dos fluxos de superfície composto por um anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, Lymington, UK) que mede as três componentes da velocidade do vento e a temperatura do ar e um analisador de gás por infravermelho que mede as concentrações de vapor de água.

Na REBIO Jaru, o analisador de gás era de caminho fechado até o ano de 2002 (Li-6262), a partir de 2004 foi instalado o de caminho aberto (IRGA, Li-7500). Na FNS, até o ano de 2008 era utilizado o de caminho fechado e a partir desse período foi instalado o de caminho aberto, ambos da LICOR Inc., Lincoln, USA. Esses sensores estavam conectados a um microcomputador tipo "*palmtop*" que fazia as leituras dos sensores com uma frequência de 10,4 Hz e armazenava os dados brutos em arquivos a cada 30 minutos.

Os dados brutos contendo as flutuações em alta frequência dos componentes da velocidade do vento medidos pelo anemômetro sônico e da concentração de vapor d'água medidos pelo IRGA, foram processados em um computador com o auxílio do *software* Alteddy (ELBERS, 1998), desenvolvido pela Alterra Green World Research da Holanda a fim de se obter os fluxos turbulentos de energia através do método de correlação de vórtices turbulentos (*Eddy Covariance - EC*) (Equações 4 e 5).

$$\lambda E = p\lambda\omega\,'q\,' \quad (4)$$

$$H = pC_p\omega\,'T\,' \quad (5)$$

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

onde
p corresponde à densidade do ar (kg m^{-3}), λ corresponde ao calor latente de evaporação (J kg^{-1}), q' corresponde à flutuação da umidade específica do ar (Kg Kg^{-1}), C_p representa o calor específico do ar ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$), ω' corresponde às flutuações em ω e T representa a temperatura do ar (ºC).

Uma importante limitação desse método está baseado no fato de mesmo durante o dia, quando as condições de turbulência são geralmente ideais, o balanço de energia, descrito comumente pela Equação 6, não apresentar fechamento completo (Ruhoff, 2011).

$$Rn = \lambda E + H + G \quad (6)$$

onde,
Rn é o saldo de radiação (W m^{-2}), λE é o fluxo de calor latente (W m^{-2}), H é o fluxo de calor sensível (W m^{-2}) e G é o fluxo de calor no solo (W m^{-2}).

Os baixos valores do fechamento de energia estão associados a erros nas medidas de alguns componentes desse balanço. Webler *et al*. (2013) ao analisarem os fluxos de energia obtidos pelo sistema EC constataram que os dados de calor latente são subestimados enquanto o calor sensível apresenta uma medida mais precisa pois é calculado unicamente por meio de medidas sônicas.

Neste sentido, de modo a minimizar a influência de erros de medidas, Von Randow *et al.* (2004) e Twine *et al*. (2000) apontam duas formas de ajuste dos dados dos componentes do balanço de energia, (i) o descarte dos dados de calor latente e realizar sua estimativa como o resíduo do balanço de energia ou (ii) o ajuste de forma proporcional conforme a razão de Bowen.

No presente estudo, a forma de ajuste utilizada foi o descarte dos dados de λE e a sua posterior estimativa como o resíduo do balanço entre a energia disponível e o fluxo de calor sensível (Rn – H). Os termos referentes ao armazenamento de energia no dossel e na biomassa são nulos, pois o estoque de energia ocorrido durante o dia é balanceado pela perda noturna (Falge *et al*. 2001).

Análise dos dados

Com o intuito de retirar dados espúrios e incoerentes, os dados foram filtrados com valores máximos e mínimos. Após a filtragem, foram utilizadas técnicas estatísticas para calcular as médias horárias, mensais e anuais. Devido a não aderência aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade, os intervalos de confiança (IC) de 95% foram calculados utilizando reamostragem *bootstrap* com 1000 replicações. Métodos *bootstrap* são técnicas de simulação para avaliar as propriedades de repetidas amostragens de procedimentos estatísticos que não podem ser facilmente analisadas por métodos tradicionais (KLEIJNEN E DEFLANDRE, 2006). A amostra é composta retirando uma amostra com reposição*,* de tamanho *n,* da amostra original. Essa amostra é denominada amostra *bootstrap* (SILVA, 1995). Cada reamostragem foi realizada com o mesmo número de elementos do conjunto de dados original, com a finalidade de inferir sobre a distribuição aproximada de uma dada estatística (HENDERSON, 2005).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação

A precipitação apresentou uma variabilidade sazonal bem característica, com valores acumulados mensais médios mais elevados entre janeiro e abril e outubro a dezembro e menor precipitação entre junho a agosto (Figura 2).

A precipitação média no ano de 1999 a 2010 na REBIO Jaru foi de 2001 mm e na FNS foi de 1660mm. Corroborando com estudos anteriores, a precipitação da região florestada manteve-se superior ao da área de pastagem ao longo de quase todo o período de observações, exceto nos meses de agosto e setembro. Essa diferença de precipitação acumulada nos sítios é originada primordialmente pela influência da floresta, que emite uma maior quantidade de gases que atuam como núcleos de condensação das nuvens, propiciando a precipitação, além de fatores, como a evapotranspiração, que atua como um agente fundamental da precipitação. Na região de pastagem a concentração de tais gases é consideravelmente menor, ocasionando assim, uma menor taxa de precipitação (SILVA DIAS; COHEN; GANDU, 2003).

Apesar da evapotranspiração ser maior no sítio de floresta, nos meses de agosto e setembro houve maior índice de precipitação na pastagem do que na floresta. Tal fato pode ser decorrente do transporte advectivo de umidade de áreas florestadas em direção ao sítio de pastagem, uma vez que no período seco (julho a setembro) os ventos predominantes são de leste (SILVA DIAS, 2006), e o sítio de pastagem está a oeste do sítio de floresta. Além disso, a presença de aerossóis resultantes das queimadas características desta época na região de pastagem podem ter representado uma fonte de núcleos higroscópicos atuantes na formação de chuva (ARTAXO et al., 2014)

O mês que apresentou o maior pico médio de chuvas foi o de janeiro, com um total de 375 mm na floresta e 267 mm na pastagem, sendo o mês com maior diferença entre os dois sítios (17%).

Fisch *et al.* (2004) elucidam que quando a cobertura vegetal original do solo é substituída por superfícies com rugosidade, albedo e propriedades térmicas diferentes, o armazenamento de energia, a troca de *momentum* e as propriedades térmicas são diretamente interferidas, o que origina implicações em diversos processos atmosféricos, e em especial, no desenvolvimento da precipitação, uma vez que as interações água-solo-planta-atmosfera são alteradas.

Ao analisar a variabilidade diária, ambos os sítios apresentaram incidência de chuvas similares, a maior concentração ocorreu entre as 13 e 18 h, como pode ser observado na Figura 3. As chuvas nesses horários representaram 37% na REBIO Jaru e 39% na FNS do total precipitado. A elevada incidência de eventos no final da tarde sugere a atuação de mecanismos de convecção local (YANG; SMITH, 2006), os quais favorecem a formação de nuvens cumulonimbus. A menor concentração ocorreu no intervalo das 2 às 11 h. O período diurno (6 às 18 h) detém 56% do total de chuvas da REBIO Jaru e 57% da FNS.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

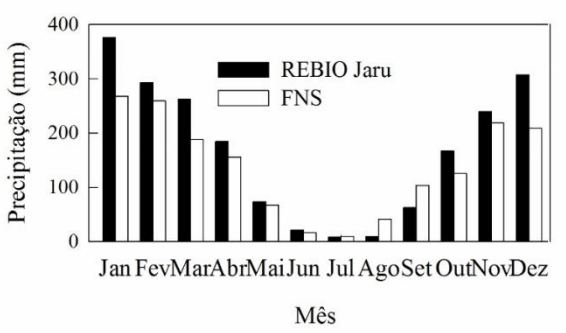

Figura 2. Média mensal da precipitação da REBIO Jaru e da FNS nos anos de 1999 a 2010.

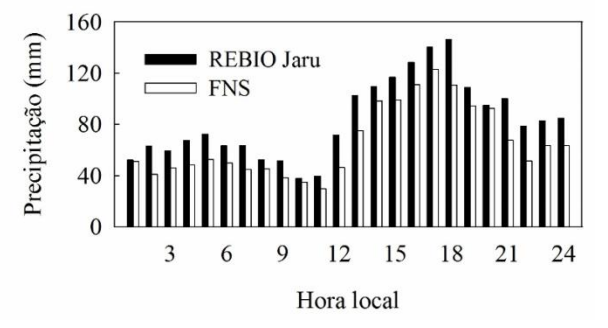

Figura 3. Variabilidade média horária da precipitação da REBIO Jaru e da FNS nos anos de 1999 a 2010.

De acordo com Tota et al. (2000) a incidência das chuvas durante a madrugada se deve a sistemas convectivos de mesoescala, o restante se deve a máxima convecção do ciclo diurno. As chuvas no início da manhã e durante o período noturno também podem ser manifestações de sistemas transientes formados em outras regiões da bacia amazônica (RICKENBACH, 2004).

Umidade específica do ar

A umidade específica do ar variou juntamente com a precipitação, sendo que os meses mais úmidos corresponderam ao período com maior disponibilidade hídrica (janeiro a abril e outubro a dezembro) e os mais secos ao período de défice de chuvas (junho a setembro) (Figura 4).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

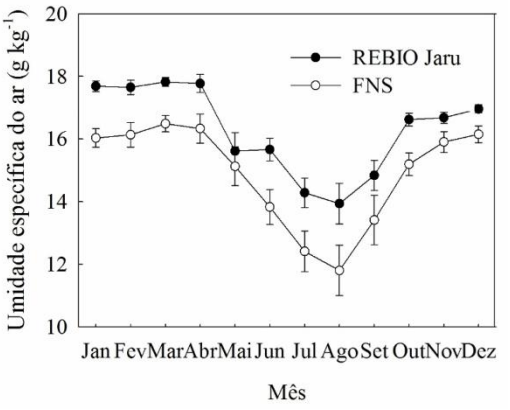

Figura 4. Média mensal da umidade específica do ar e IC de 95% na REBIO Jaru e na FNS nos anos de 1999 a 2010.

A umidade específica variou entre 13,9 (agosto) e 17,8 g kg^{-1} (março) na REBIO Jaru e de 11,8 (agosto) a 16,5 g kg^{-1} (março) na FNS, sendo sempre inferior no sítio de pastagem durante todo o período de estudo. Tal comportamento pode estar relacionado com a maior disponibilidade hídrica da floresta, que possui um índice médio de chuvas 20% superior ao da pastagem. Além disso, a estrutura radicular das árvores da floresta Amazônica possibilita uma boa adaptação da floresta à diminuição das chuvas, uma vez que suas raízes profundas são capazes de alcançar o nível freático nas camadas inferiores do solo (VON RANDOW et al, 2004).

A média anual da umidade específica foi de 16,24 [16,14; 16,33] g kg^{-1} na floresta (todo valor entre colchetes corresponde a um intervalo de confiança da média de 95% utilizando reamostragem *bootstrap* com 1000 replicações) e de 14,90 [14,71; 15,10] g kg^{-1} na pastagem, sendo, portanto, 8,3% menor na FNS. Além da maior disponibilidade hídrica na floresta, esse resultado pode ocorrer devido à vegetação da floresta ser capaz de interceptar maior quantidade de água da chuva, sendo essa evaporada logo após o evento (CORREIA et al., 2007).

Os valores médios da umidade específica do ar e do seu défice estão apresentados na Tabela 1, assim como da precipitação total média nos períodos úmido e seco. Foi observado que as condições micrometeorológicas são sempre mais favoráveis na área florestada, e apesar do menor índice pluviométrico no período seco, a umidade específica do ar permaneceu 15,0% menor na FNS, o que ratifica a melhor adaptação de uma região florestada aos longos períodos de seca.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1. Valores médios da precipitação (P) em mm, umidade específica do ar (q) em g kg^{-1} e défice de umidade específica do ar (Δq) em g kg^{-1}, nos sítios experimentais, durante os períodos úmido e seco. P-F é a diferença absoluta entre os dois sítios e (P-F)/F (%) representa os efeitos das mudanças no uso da terra.

	Úmido			Seco		
Região	**P**	**q**	**Δq**	**P**	**q**	**Δq**
Pastagem	735,1	16,2	3,9	154,1	12,5	8,7
Floresta	974, 9	17,4	2,7	80,3	14,7	7,1
P-F	-239,8	-1,2	1,2	73,8	-2,2	1,6
(P-F)/F (%)	-24,6	-6,9	+44,4	+91,9	-15,0	+22,5

.

Saldo de Radiação

O padrão do ciclo diário do saldo de radiação manteve-se similar nos dois ecossistemas. Durante a noite os valores são negativos, uma vez que nesse período a energia disponível é governada pelo balanço de radiação de ondas longas, sendo que a perda radiativa através da emissão pela superfície da Terra é maior do que a radiação emitida pelos constituintes atmosféricas em direção à superfície.

A partir das 6 h, com a incidência da radiação solar, o saldo de radiação passa a ser governado pelo balanço de ondas curtas, tornando-se positivo e crescente, atingindo seu valor máximo aproximadamente ao meio-dia. A partir das 13 h, o saldo de radiação volta a decrescer alcançando o menor valor do período diurno por volta das 18 h, tornando-se novamente negativo durante o período noturno.

O padrão sazonal do saldo de radiação manteve-se semelhante nos dois tipos de superfície (Figura 5), não obstante, é possível observar que o saldo de radiação foi maior na região florestada ao longo de todo o período de observação.

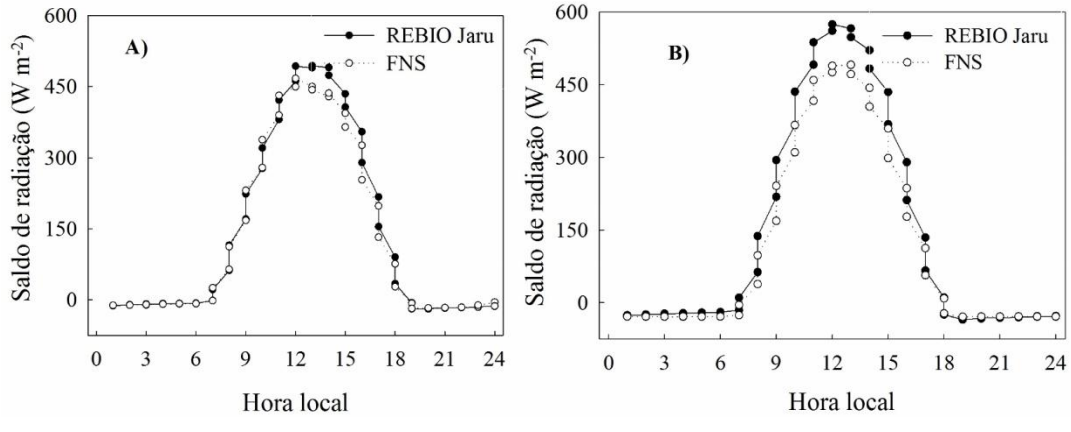

Figura 5. Variabilidade do saldo de radiação médio diário, no período úmido A) e no período seco B), nos anos de 1999 a 2010.

No período úmido o saldo de radiação apresentou uma média de 136,9

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

[83,93; 193,54] W m^{-2} na REBIO Jaru, enquanto que na FNS foi de 128,9 [78,94; 181,72] W m^{-2}. O valor médio máximo foi de 493,8 W m^{-2} na floresta e de 466, 8 W m^{-2} na pastagem.

O período seco correspondeu ao período do ano com maior quantidade de energia disponível na REBIO Jaru, com uma média de 138,1 [77,55; 202,68] W m^{-2}, havendo assim um acréscimo de 0,9% em relação ao período úmido. Na FNS, o período seco apresentou saldo de radiação médio de 111,8 [59,15; 167,96] W m^{-2}, evidenciando um decréscimo de 13,3%. O valor médio máximo foi de 574,4 W m^{-2} na floresta e de 490,9 W m^{-2} na pastagem.

As maiores diferenças no saldo de radiação entre os dois ecossistemas ocorreram no período seco, sendo a quantidade de energia disponível na região de pastagem 19,0% inferior ao da floresta, uma diferença média de 26,3 W m^{-2} no saldo de radiação em decorrência da mudança no uso da terra.

Durante a estação chuvosa, quando há grande disponibilidade hídrica no solo e na atmosfera, é tênue a variação no saldo de radiação entre a floresta e a pastagem, contudo, nos meses de défice de chuvas, a gramínea *Brachiaria brizantha* sofre estresse hídrico, diminuindo a abertura dos seus estômatos de modo a inibir a perda de água para o ambiente. Assim, a coloração da vegetação tende a ser alterada, tornando-se mais clara, o que acarreta um consequente aumento na refletividade (albedo) da radiação incidente, diminuindo assim o saldo de radiação.

Outro possível fator que limita a disponibilidade de energia na região de pastagem durante a estação seca é a alta concentração de material particulado (aerossóis) proveniente principalmente da queima de biomassa, a qual atua de forma a refletir a radiação que incide sobre a superfície, diminuindo a absorção de energia, e consequentemente, o saldo de radiação. . Schaefer et al. (2008) elucidam que os eventos de queima de biomassa resultam em uma carga significativa de aerossóis que afetam diretamente a Amazônia e são persistentes durante a estação seca.

Martin et al. (2010) relatam que a alta concentração de aerossóis também alteram a microfísica das nuvens e a precipitação, influenciando significativamente em todo o ciclo hidrológico da Amazônia.

Fluxos de Energia

Na Figura 6 estão apresentados os comportamentos dos fluxos de calor latente (λE) e sensível (H) no período úmido. É possível observar que em ambos os sítios o calor latente é superior ao calor sensível, apresentando médias de 114,3 [70,97; 160,33] W m^{-2} (λE) e de 22,6 [12,60; 33,40] W m^{-2} (H) na REBIO Jaru, e de 103,7 [63,19; 146,23] W m^{-2} (λE) e de 25,2 [15,34; 35,53] W m^{-2} (H) na FNS. Os resultados aqui apresentados são semelhantes aos encontrados por Aguiar et al. (2006), com valores médios de 115,5 W m^{-2} (λE) e 17,0 W m^{-2} (H) ao estudarem a mesma região de floresta.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

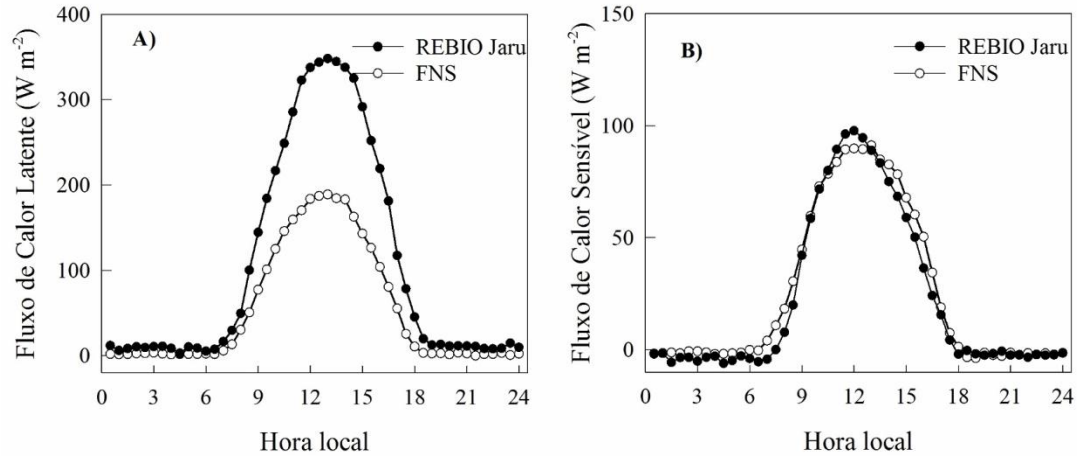

Figura 6. Padrão médio diário do fluxo de calor latente A) e fluxo de calor sensível B) na REBIO Jaru e na FNS durante o período úmido, nos anos de 1999 a 2010.

Tal comportamento dos fluxos pode ser elucidado pela presença em abundância de água disponível no solo para as plantas, o que faz com que a maior parte da energia que chega seja destinada à evapotranspiração e uma menor parte para o aquecimento do ar. Apesar do padrão similar nos dois sítios, constata-se que no período úmido, o λE é 9,3% menor na região de pastagem e o H é 11,5% maior na região de pastagem (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (λE) e fluxo de calor sensível (H) em W m^{-2} nos sítios experimentais, durante os períodos úmido e seco. P-F é a diferença absoluta entre os dois sítios e (P-F)/F (%) representa os efeitos das mudanças no uso da terra.

	Úmido			**Seco**		
Região	**Rn**	**ΛE**	**H**	**Rn**	**λE**	**H**
Pastagem	128,9	103,7	25,2	111,8	68,8	43,1
Floresta	136,9	114,3	22,6	138,1	101,8	36,3
P-F	-8,0	-10,6	2,6	-26,3	-33,0	6,8
(P-F)/F (%)	-5,8	-9,3	+11,5	-19,0	-32,4	+18,7

No período seco, é possível observar que o calor sensível ficou bem próximo do calor latente na FNS, representando 38,5% do total de energia disponível. A média do λE foi de 68,8 [32,77; 106,31] W m^{-2} e do H de 43,1 [26,19; 61,06] W m^{-2} (Figura 7). Assim, é possível constatar que no período seco, a área de pastagem é bem mais suscetível às variações microclimáticas, uma vez que a quantidade de energia atuante no aquecimento da atmosfera apresentou considerável aumento (≈71%), enquanto que a quantidade de energia atuante no processo de evapotranspiração apresentou um expressivo declínio (≈34%).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

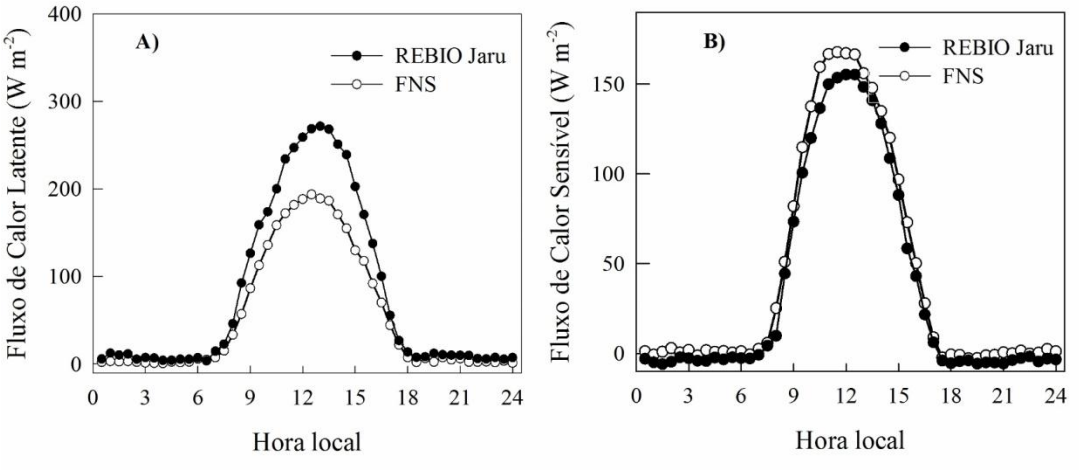

Figura 7. Padrão médio diário do fluxo de calor latente A) e do fluxo de calor sensível B) na REBIO Jaru e na FNS durante o período seco, nos anos de 1999 a 2010.

Esse fato pode ser explicado novamente pela ausência de precipitação e menor disponibilidade de água no solo, ocasionando estresse hídrico na gramínea *Brachiaria brizantha,* que diminui a abertura dos estômatos a fim de reduzir a perda de água pela transpiração (JACOBSEN; LIU; JENSEN, 2009).

A Floresta Amazônica, por sua vez, possui maior capacidade de se adaptar ao período de défice de chuvas. O fluxo de calor latente permaneceu 180% em média superior em relação ao de calor sensível, com uma média de 101,8 [56,80; 149,15] W m^{-2}. O fluxo de calor sensível apresentou média de 36,3 [20,29; 53,28] W m^{-2}. O mesmo padrão foi observado em outros estudos desenvolvidos na Amazônia como Von Randow et al. (2004) e Rocha et al. (2009).

Assim, ao comparar os valores médios dos fluxos de energia nas duas regiões durante o período seco, constata-se que o λE é maior na REBIO Jaru e o H é maior na FNS, havendo um declínio de 32,4% no calor latente e um acréscimo de 18,7% no calor sensível (Tabela 2), decorrentes das alterações no uso da terra amazônica de floresta para pastagem.

É notável que as condições meteorológicas da área florestada permanecem favoráveis ao longo dos dois distintos períodos, sendo que no período seco os efeitos negativos sobre a região de pastagem são mais intensos. Na área florestada uma maior quantidade de energia é utilizada na evapotranspiração, enquanto na pastagem uma maior quantidade de energia é utilizada no aquecimento do ar.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos utilizando uma série de dados de 12 anos (1999 a 2010) denotaram efeitos das mudanças no uso da terra amazônica, como diminuição na precipitação, na umidade específica do ar, no saldo de radiação e no fluxo de calor latente, e aumento no fluxo de calor sensível.

A redução no índice pluviométrico foi de 17%. Foi constatada diminuição de 6,9% (período úmido) e 15,0% (período seco) na umidade específica do ar. Um aumento de 44,4% (período úmido) e 22,5% (período seco) no défice de umidade específica do ar também foi evidenciado, em decorrência das mudanças de cobertura da superfície.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

O saldo de radiação na pastagem foi 5,8% (período úmido) e 19,0% (período seco) inferior ao da floresta. O fluxo de calor latente também apresentou um decréscimo de 9,3% no período úmido e de 32,4% no período seco em consequência da menor disponibilidade hídrica e ainda da menor quantidade de energia disponível na região de pastagem. O fluxo de calor sensível apresentou uma elevação de 11,5% (período úmido) e 18,7% (período seco).

A diminuição do λE e o aumento do H na área de pastagem influi diretamente nas condições climáticas e de conforto termo-higrométrico da região, resultando em um clima mais seco e mais quente, em relação ao da floresta. Uma vez que há maior restrição de água no solo para as plantas no período seco, a energia que seria utilizada na evapotranspiração passa a atuar no aquecimento da atmosfera.

Assim, se torna evidente que as mudanças no uso da terra interferem diretamente no comportamento padrão do clima local e as florestas tropicais são fundamentais à manutenção da estabilidade climática regional.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (Programa LBA) e à Universidade Federal de Rondônia (UNIR) pela oportunidade de estudo e suporte logístico; à Fundação Amazônica de Defesa da Biosfera (FDB), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas; aos técnicos do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelo suporte nas coletas e aos alunos bolsistas da UNIR - *Campus* de Ji-Paraná pela coleta e processamento dos dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes). Estatísticas de abates e exportação. Disponível em: <http://www.abiec.com.br>. Acesso em: 30 out. 2015.

AGUIAR, R. G.; VON 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, p. 248-257, 2006.

ARTAXO, P.N.; SILVA DIAS, M.A.F.; NAGY, L.; LUIZÃO, F.J.; CUNHA, H.B.; QUESADA, C.A.N.; MARENGO, J.A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. Ciência e Cultura, v. 66, n.3, p. 41-46 , 2014.

COHEN, J.C.P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. *Ciência e Cultura,* v. 59, p. 36-39, 2007.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.;CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças de cobertura vegetal. *Ciência e Cultura*, v. 59, p. 39-43, 2007.

CULF, A. D.; FISCH, G.; MALHI, Y.; NOBRE, C. A. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. *Agr Forest Meteorol*, v. 85, p. 149-158, 1996.

ELBERS, J. A. *Eddy correlation system: user manual version 2.0.* Alterra, Wageningen, The Netherlands, 1998. 39 p.

EMBRAPA; INPE.2011. *Levantamento de Informações de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia*. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2654>Acesso em: 13 out. 2011.

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.; GRÜNWALD, 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. *Agr Forest Meteorol*,v.107, p.71-77, 2001.

FISCH, G.; TOTA, J.; MACHADO, L. A. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; LYRA, R. F. F. NOBRE, C. A. DÓLMEN, A. J.; GASH, J. H. C. The convective boundary layer over pasture and Forest in Amazonia.*Theor Appl Climatol*,v. 78, p. 47-59, 2004.

HENDERSON, A. R. The bootstrap: a techinique for data-drivem statistics. Using computer -intensive analyses to explore experimental data. *Clin. Chim. Acta*, v. 359, p 1-26, 2005.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. O. Comparisons of long-term soil water storage behavior under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: GASH, J.; NOBRE, A.C.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. (org.). *Amazonian deforestation and climate*. Chichester: John Wiley and sons, 1996,p. 57-77.

JACOBSEN, S. E.; LIU, F.; JENSEN, R. C. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Sci Hortic Amsterdam,* v.122, p. 281-287, 2009.

KLEIJNEN, J. P. C.; DEFLANDRE, D. Validation of regression metamodels in simulation: bootstrap approach. *European Journal of Operational Research*, v. 170, p. 120-131, 2006.

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.

MALHI, Y. The carbon balance of tropical forest regions, 1990–2005. *Environmental Sustainability,* v. 2, p. 237-244, 2010.

MARTIN, S. T.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; BAUMGARDNER, D.; CHEN, Q.; GOLDSTEIN, A. H.; GUENTHER, A.; HEALD, C. L.; MAYOL-BRACERO, O. L.; MCMURRY, P. H.; PAULIQUEVIS, T.; POSCHL, U.; PRATHER, K. A.; ROBERTS, G. C. R.; SALESKA, S. R.; SILVA DIAS, M. A.; SPRACKLEN, D. V.; SWIETLICKI, E.; TREBS, I. Sources and properties of amazonian aerosol articles. *Rev Geophys,* v. 48, p. 1-42, 2010.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L.; LEWIS, S. L.; FISCHER, J. B.; LOYD, J.; LOPEZ-GONZALES, G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A. DROUGHT SENSITIVITY OF THE AMAZON RAINFOREST. *Science*, v. 323, p. 1344-1347, 2009.

PRODES-INPE, 2015. Projeto de Monitoramento da floresta amazônica por satélite - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/TerraClass_2012.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

RICKENBACH, T. M. Nocturnal cloud systems and the diurnal cariation of clouds and rainfall in Southwestern Amazonia. *Mon Weather Rev*, v. 132, p. 1201-1219, 2004.

ROCHA, R. H.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; COUPE, N. R.; WOFSY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITS, G., NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, 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, p. 1-8, 2009.

RUHOFF, A. L. *Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração*. 187 f. Tese (Doutorado em Recursos hídricos e saneamento ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.

SCHAEFER, J.S.; ECK, T.F.; HOLBEN, B.N.; ARTAXO, P.; DUARTE, A.F. Characterization of the optical properties of atmospheric aerosols in Amazonia from long-term AERONET monitoring (1993–1995 and 1999–2006). *Journal of Geophysical Research,* v. 113, p. 1-16, 2008.

SILVA, D. N. 1995. *O método bootstrap e aplicações à regressão múltipla.* 1995. Dissertação de Mestrado, Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação/Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 185p.

SILVA DIAS, M.A.F.; COHEN, J.C.P.; GANDU, A.W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. *Acta Amazonica*, v**.** 35, p. 215-222, 2003.

SILVA DIAS, M.A.F. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia,* v. 21, p. 190-199, 2006.

SILVA JÚNIOR, R.S.; MOURA, M.A.L.; MEIXNER, F.X.; KORMANN, R.; LYRA, R.F.F.; NASCIMENTO FILHO, M.F. Estudo da concentração do CO_2 atmosférico em área de pastagem na região amazônica. *Revista Brasileira de Geofísica,* v. 22, p. 259-270, 2004.

TOTA, J.; FISCH, G.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P. J.; GARSTANG, M.; REITZ, R.; SIGLER, J. Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 – Projeto TRMM/LBA. *Acta Amazonica*, v. 30, p. 629-639, 2000

TWINE, T. E.; KUSTAS, W. P.; NORMAN, J. M.; COOK, D. R.; HOUSER, P. R.; MEYERS, T. P.; PRUEGER, J. H.; STARKS, P. J.; WESELY, M. L. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agr Forest Meteorol,* v. 103, p. 279-300, 2000.

VON RANDOW, 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*. Theor Appl Climatol,* v. 24, p. 1-22, 2004.

WEBLER, A. D.; GOMES, J. B.; AGUIAR, R. G.; ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, L. J. G. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,* v.17, n.8, p.868–876, 2013

YANG, S.; SMITH, E. A. Mechanism for diurnal variability of global tropical rainfall observed for TRMM. *J Climate*, 19: 5190-5226, 2006.

Texto submetido à RBClima na data de 28/08/2015