

Aplicabilidade do produto de evapotranspiração do Land-SAF em uma área de floresta na Amazônia Ocidental

Nara Luisa Reis de Andrade¹
Larissa Paula Ferreira Corilaço¹
Luciana Sanches²
Renata Gonçalves Aguiar¹
Diego Raoni da Silva Rocha³
Humberto Alves Barbosa⁴

¹ Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Rua Rio Amazonas, 351, Jardim dos Migrantes, 76900-000. Ji-Paraná-RO
{naraluisar, rgaguiar}@gmail.com; larissa.corilaço@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança, 78060-900. Cuiabá - MT
lsanches@hotmail.com

³ Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Agrícola, Departamento de Geoprocessamento.
Av. Candido Rondon, 501; Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, 13083875.
Campinas, SP
diegorsrocha@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites – LAPIS, Instituto de
Ciências Atmosféricas – ICAT
Campus A. C. Simões, BR 104 Norte, Tabuleiro do Martins 57072-970 Maceió, AL
barbosa33@gmail.com

Abstract. The Amazon rainforest is one of the main sources of continental evapotranspiration and has vital role in climate dynamics, acting in the development processes of the terrestrial ecosystem. With increasing alterations in its land use, understanding the functioning of this ecosystem becomes crucial. In order to use promising methods for estimating the evapotranspiration the present study aimed to obtain values of evapotranspiration from Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (Land-SAF) product of the METEOSAT satellite and compare them with the eddy covariance (CV) method. For this, we used evapotranspiration data from September to November by 2009 and by the 2010 full year of Land-SAF product free available in the European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) site and the latent heat flux (LE) data measured in a flux tower belonging to the network towers of Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment of the Amazon - LBA Program, located in the Jaru biological Reserve in southwestern Amazonia, Rondonia state, Brazil. Products of the Land-SAF system showed an improvement from 2009 to 2010, and also showed a tendency to super estimate the CV measurements. However, for monthly measurements, no significative differences from CV in the dry months were observed, and for seasonal and diary analysis, this product showed a good accuracy, promising its applicability for estimates the evapotranspiration in the Amazon region for studies which require a continuous series of spatial information.

Palavras-chave: remote sensing, REBIO Jaru, eddy covariance, EUMETSAT, sensoriamento remoto, covariância dos vórtices turbulentos.

1. Introdução

O Brasil é o país com maior biodiversidade do mundo e o conhecimento sobre a dinâmica dessas comunidades é de grande importância para sua conservação. A maior parte das áreas

de floresta encontra-se na região Amazônica, além da diversidade biológica, esse bioma ganha destaque global pela magnitude das trocas de massa e energia, sendo considerada a maior fonte de evapotranspiração continental, além de atuar no equilíbrio do ciclo hidrológico (FISHER et al., 2009).

Essa região vem sofrendo mudanças no uso e ocupação do solo que consistem principalmente na conversão de florestas primárias para usos agrícolas (desmatamento), resultando em perda da quantidade e qualidade da biomassa aérea, alterações nas características físicas e químicas do solo e na emissão de gases de efeito estufa durante as operações de queima da floresta e/ou das pastagens (ARAÚJO et al., 2007).

Dentre as medidas úteis para acompanhar a evolução dos efeitos das ações antrópicas sobre o meio ambiente, a quantificação dos componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxo de calor no solo, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente) é importante para propósitos meteorológicos, agrônômicos e hidrológicos, bem como para o planejamento da irrigação das culturas e para uma melhor compreensão e modelagem dos processos de troca de massa e de energia que ocorrem na superfície da terra (LIMA et al., 2010).

Uma ferramenta que pode ser aplicada para conhecer o comportamento de variáveis micrometeorológicas principalmente devido à escassez de dados meteorológicos, além de alcançar áreas de grande dimensão em séries temporais longas é o sensoriamento remoto, ferramenta que vem se apresentando inovadora para avaliações meteorológicas, proporcionando medidas com informações espacialmente contínuas sobre superfícies vegetadas (HUANG et al., 2008).

A evapotranspiração é uma das variáveis essenciais ao entendimento do clima, sendo comumente estimada a partir de dados de fluxo de calor latente obtidos pelo sistema de covariância dos vórtices turbulentos, neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar o produto de sensoriamento remoto de estimativa de evapotranspiração do sistema Land-SAF e sua aplicabilidade para uma área de floresta nativa na Amazônia Ocidental.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da área em estudo

O presente estudo foi realizado na Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru), uma unidade de proteção integral sob a tutela do órgão ambiental do governo brasileiro, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. A REBIO Jaru conta com uma torre micrometeorológica pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – Programa LBA, cujas coordenadas são 10°11'11,4"S e 61°52'29,9"O, com altura aproximada de 61,5 m, em funcionamento desde 2004.

2.2. Estimativa da evapotranspiração

Para fins de comparação, foram obtidos dados de evapotranspiração estimados por covariância dos vórtices turbulentos (ET_{CV}) e produto Land-SAF (ET_{SAF}) no período de setembro a dezembro de 2009, e para o ano de 2010, período em que havia dados do produto Land-SAF disponíveis.

As medidas de fluxo de calor latente (LE) foram adquiridas através do sistema de covariância dos vórtices turbulentos (CV) - *eddy covariance*. Para isso um aparelho de alta frequência dos fluxos de superfície, que medem as flutuações na velocidade vertical do vento, na temperatura e na densidade do vapor d'água, sendo: anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, Lymington, UK), que mede as flutuações das três componentes da velocidade do vento - velocidade horizontal do vento a leste (u), velocidade horizontal do vento a norte (v) e a velocidade vertical do vento (w), e a temperatura do ar, e analisador de gás por infravermelho de caminho aberto (LI-7500, LICOR Inc., Lincoln USA). Esses sensores foram conectados a um microcomputador tipo “*palmtop*”, que fez as leituras

dos sensores com frequência de 10,4 Hz e armazenaram os dados brutos em arquivos a cada 30 minutos.

Os dados do CV foram convertidos de LE (W m^{-2}) para ET (mm h^{-1}) com o intervalo de 30 minutos. Para a temperatura média utilizou-se dados medidos na torre da REBIO Jaru equivalente ao período estudado (Equações 1 e 2).

$$\lambda = [2,501 - 0,00236(T - 273,15)]10^6 \quad (1)$$

$$ET_h = \frac{\lambda ET * 3600}{\lambda} \quad (2)$$

Em que λ representa o calor latente de vaporização da água, λET (W m^{-2}), que foi estimado pelo CV e o ET_h é a evapotranspiração horária.

2.3. Produto *Land Surface Analysis Satellite Applications Facility – Land-SAF*

Foram utilizados dados do produto ET do satélite METEOSAT, dele foram extraídos dados de setembro de 2009 a dezembro de 2010, adquiridos gratuitamente através do sítio do sistema Land-SAF (<http://landsaf.meteo.pt/>). Os arquivos da América são identificados por “SAmE” (*South American continent within the Meteosat disk*).

O produto contém valores instantâneos de evapotranspiração (em mm/h), a partir de setembro de 2009, sendo que mapas de ET são gerados com resolução temporal de 30 minutos e espacial de 3 x 3 km. A ET de saída é gerada no formato HDF5 e as informações relevantes para o processamento de dados são inclusas nos atributos de arquivos HDF5. Esse formato foi descompactado para que os dados fossem processados no programa *Integrated Land and Water Information System - ILWIS*, v. 3.7.2.

O programa foi utilizado para processar os produtos do satélite Land-SAF e também para alterar seu formato em arquivo de texto (.txt). Para a realização desse procedimento fez-se uso da ferramenta estatística MapList Graph, os dados foram separados por mês e cada mês foi processado separadamente, com um total de 20.459 dados.

2.4. Processamento e Análises Estatísticas dos Dados

Após aquisição dos dados, foram realizadas as médias mensais e médias horárias, juntamente com o intervalo de confiança, para fins de comparação entre medidas de CV e do Land-SAF.

Foi realizada ainda a regressão linear, extraído-se o coeficiente de determinação (r^2), que permite avaliar o quanto o modelo reflete a variância nos dados observados, juntamente com o coeficiente angular (b), com nível de significância de 5%. Para a obtenção da equação, as variáveis referentes ao produto Land-SAF foram consideradas como eixo Y (modelo), e as variáveis medidas na torre (CV), como eixo X (real). Deste modo, $b > 1$ representa tendência do modelo a superestimar as variáveis em questão, e $b < 1$, tendência a subestimar.

Para análise de variância entre as médias foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis a um nível de significância (α) de 5%, para os conjuntos analisados (ET_{SAF} e ET_{CV}) a fim de verificar se os mesmos são estatisticamente iguais.

3. Resultados e Discussão

3.1. Falhas

Para realizar análises comparativas das medidas de ET pelas metodologias Land-SAF e CV, primeiramente foram identificadas as falhas nos dados do satélite Land-SAF e do CV

para nortear sobre a quantidade de informações que os dois métodos forneciam. A Tabela 1 apresenta a porcentagem de falhas.

Tabela 1. Porcentagem de falhas nos dados do satélite Land-SAF e do sistema de Covariância dos Vórtices Turbulentos (CV), anos 2009 e 2010.

Mês	ET _{SAF}	ET _{CV}
Set/09	43,8%	58,4%
Out/09	46,8%	10,4%
Nov/09	40,0%	14,7%
Dez/09	20,4%	45,2%
Jan/10	23,7%	95,9%
Fev/10	21,9%	95,4%
Mar/10	28,4%	81,7%
Abr/10	14,9%	8,1%
Mai/10	20,0%	54,6%
Jun/10	11,7%	26,9%
Jul/10	10,9%	7,9%
Ago/10	10,2%	12,15%
Set/10	8,1%	90,4%
Out/10	20,0%	92,4%
Nov/10	22,2%	50,2%
Dez/10	25,4%	100%

Em 2009, as falhas nos dados ET_{SAF} variaram entre 46,8% no mês de outubro e 20,4% no mês de dezembro, sendo a média de falhas do período de 37,75% e nos dados ET_{CV}, as mesmas variaram entre 58,4% (mês de setembro) e 10,4% (mês de outubro), com média para o período de 32,18%. Em 2010, o ET_{SAF} apresentou média anual de falhas de 18,12%, e o ET_{CV}, de 59,64%.

Foi observado um aprimoramento na disponibilidade dos dados do Land-SAF, de 2009 para 2010, possivelmente devido ao ano de 2009 ter sido o ano de implementação do produto, sendo necessários ajustes no modelo, tendo o mesmo alcançado um desempenho aceitável, se comparado com as falhas encontradas no CV.

De acordo com Imbuzeiro (2005), em torres micrometeorológicas que realizam medidas contínuas, a existência de falhas no conjunto de dados é inerente. Tais erros podem ser atribuídos a erros intrínsecos aos sensores ou mesmo à manutenção técnica ou erros de coleta e armazenamento e podem variar, para diferentes áreas estudadas na região Amazônica, em média entre 0,3 e 59%. Nesse sentido, destaca-se como uma característica positiva do sistema Land-SAF o aprimoramento no desempenho de medidas de ET, com redução na lacuna de dados.

3.2. Análises mensal e do ciclo diário

Após conhecer o número de dados disponíveis para estimar a evapotranspiração, foi realizada a média mensal de setembro a dezembro do ano de 2009 (FIGURA 1), ilustrando o comportamento dos dois modelos (Land-SAF e CV). A média da ET entre os quatro meses foi de $5,73 \pm 0,17 \text{ mm.d}^{-1}$ (ET_{SAF}) e de $7,17 \pm 0,47 \text{ mm.d}^{-1}$ (ET_{CV}).

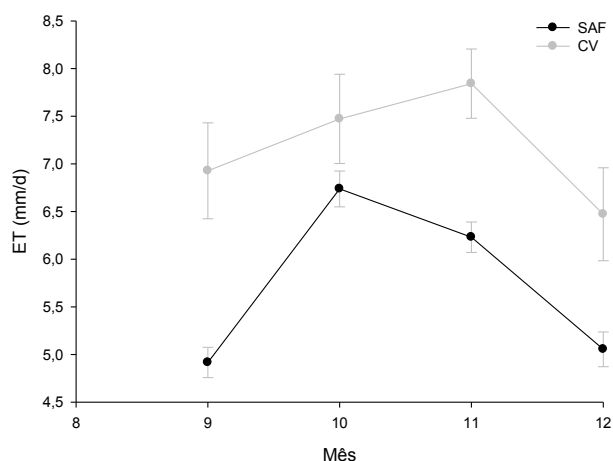


Figura 1. Média mensal (\pm DP) da evapotranspiração do ano de 2009, estimada pelo satélite Land-SAF e pela Covariância dos Vórtices Turbulentos (CV), sítio REBIO Jaru.

Comparando as estimativas, o satélite apresentou melhor desempenho no mês de outubro, pois foi o que mais se aproximou das medidas *in situ*, no entanto, os conjuntos de dados foram estatisticamente diferentes (para $\alpha=5\%$).

O mesmo processo foi realizado para o ano de 2010, em que todos os meses foram analisados (FIGURA 2). Foi verificada média anual de $5,74\pm 0,16$ mm.d⁻¹ para ET_{SAF} e $4,35\pm 0,4$ mm.d⁻¹ para ET_{CV}, sendo que o satélite apresentou melhor desempenho nos meses de julho, agosto, novembro e dezembro, meses esses em que não houve diferença significativa entre os conjuntos de dados analisados (para $\alpha=5\%$).

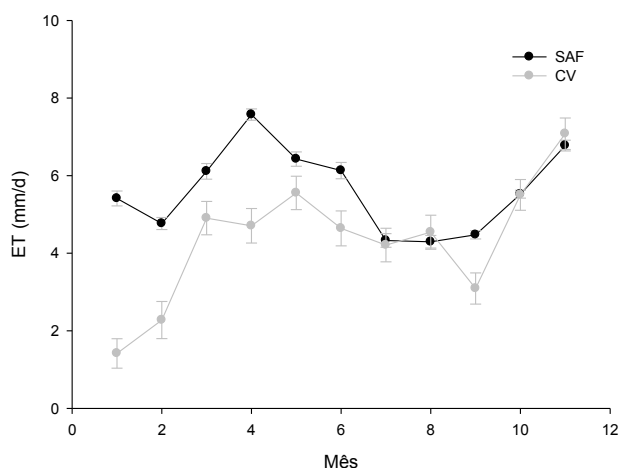


Figura 2. Média mensal (\pm DP) da evapotranspiração do ano de 2010, estimada pelo satélite Land-SAF (SAF) e pela Covariância dos Vórtices Turbulentos (CV), sítio REBIO Jaru.

No ano de 2010, houve uma tendência do Land-SAF em superestimar os valores de ET, no entanto, as diferenças entre os valores médios tenderam a diminuir após o período chuvoso, tendo uma melhor aproximação na estação seca (meses de julho e agosto), o que pode estar relacionado a dois fatores: i) à diminuição da cobertura de nuvens e ii) à maior disponibilidade de dados do CV, conforme apresentado na Tabela 1.

Com relação à variação horária da ET, é sabido que partir das 6h, com a incidência da radiação solar, o saldo de radiação torna-se positivo e crescente, atingindo seu valor máximo aproximadamente ao meio-dia, a ET segue o mesmo padrão, sendo que o intervalo de

evapotranspiração estende-se das 6h às 18h. O ciclo diário de ET_{SAF} no período analisado apresentou esse tipo de variação.

Para análise do ciclo diário, procedeu-se a escolha de um mês representando cada estação, sendo o mês escolhido aquele em que havia o menor número de falhas, sendo, para o ano de 2009, os meses escolhidos setembro (seco) e novembro (seco-úmido).

Foi observado melhor desempenho durante a estação seca se comparado transição seca - úmida, os valores se enquadram entre 0,4 e 0,6 $mm.h^{-1}$ para o satélite e 0,8 e 0,95 $mm.h^{-1}$ para a CV no ápice da evapotranspiração (12h), e os coeficientes de determinação entre os dados ET_{SAF} e ET_{CV} foram 0,61 e 0,55 respectivamente (FIGURA 3).

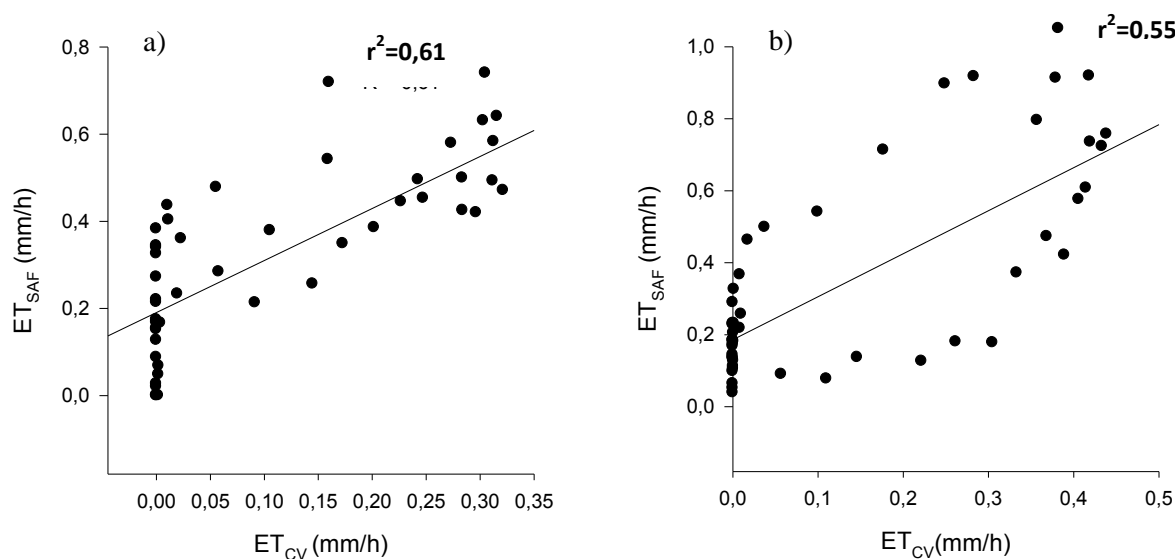


Figura 3. Correlação da evapotranspiração média horária estimada pelo satélite Land-SAF (ET_{SAF}) e pela Covariância dos Vórtices Turbulentos (ET_{CV}) nos períodos seco (a) e seco-úmido, ano 2009.

Foi observada novamente uma melhor aproximação do Land-SAF aos dados do CV no período seco, possivelmente devido à diminuição de cobertura de nuvens, o que permite melhor acurácia nas medidas do satélite. Resultados semelhantes foram observados anteriormente quanto à aplicabilidade do produto de evapotranspiração do MODIS (RUHOFF, 2011; ANDRADE, 2013).

Para o ano de 2010 (FIGURA 4) igualmente foi escolhido um mês representando cada estação. No mês de março (período úmido) os valores da ET estimada foram de 0-0,45 $mm.h^{-1}$ conforme o satélite e 0-0,64 $mm.h^{-1}$ pelo CV. No mês de abril (período úmido-seco) o Land-SAF apresentou valores maiores que 0,5 $mm.h^{-1}$ e a CV 0,64 $mm.h^{-1}$.

Os coeficientes de determinação entre os dados ET_{SAF} e ET_{CV} foram 0,45 e 0,78 respectivamente em março e abril de 2010 (FIGURA 4- a, c). Em julho e novembro de 2010 (FIGURA 1- c, d), os coeficientes de determinação entre os dados ET_{SAF} e ET_{CV} foram 0,47 e 0,72, respectivamente.

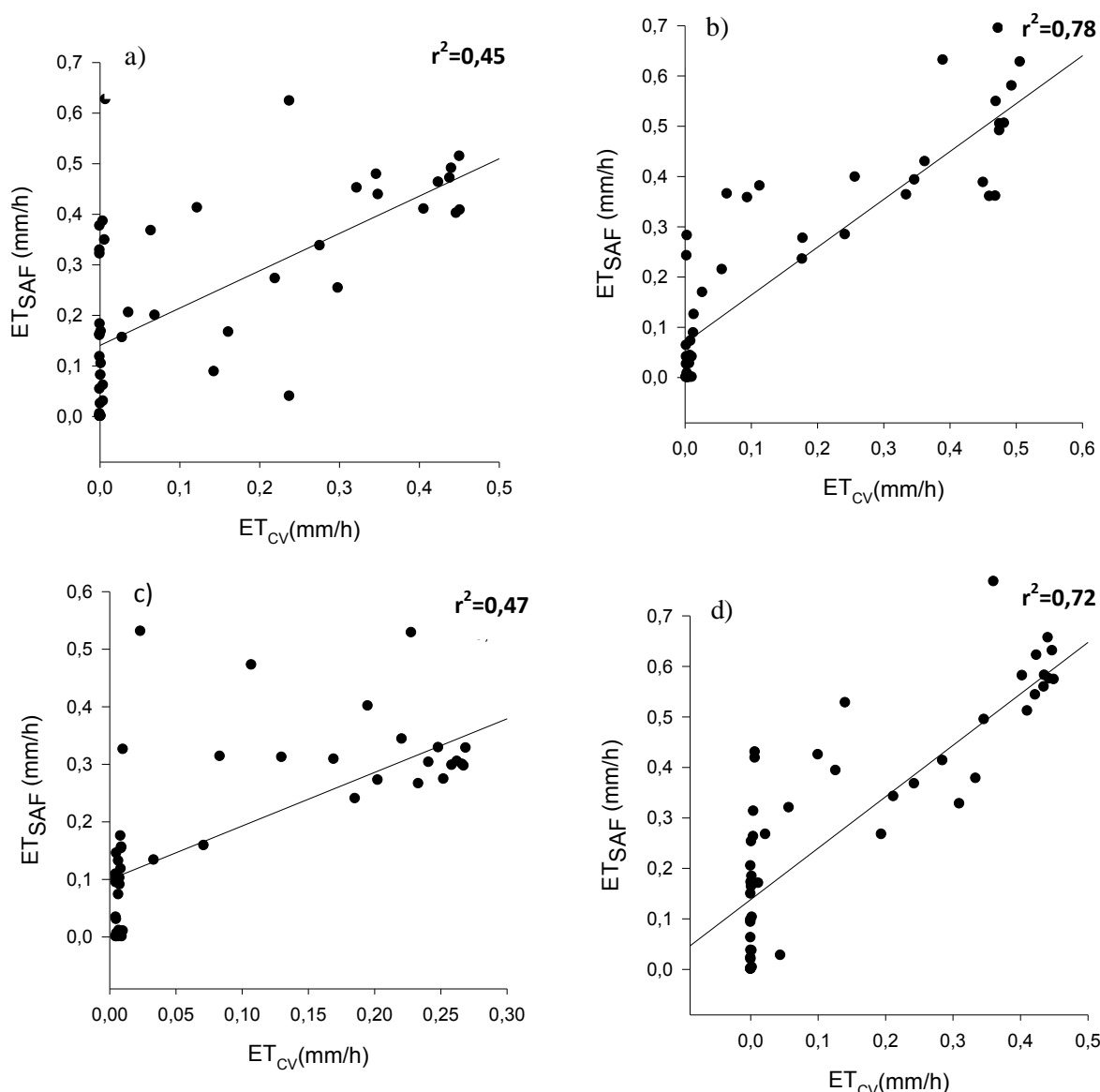


Figura 4. Correlação da evapotranspiração média horária estimada pelo satélite Land-SAF e pela Covariância dos Vórtices Turbulentos (CV) nos períodos úmido (a); úmido-seco (b); seco (c) e seco-úmido (d), ano 2010.

Ademais, foi verificada correlação forte nas estações seca-úmida e úmida-seca, e moderada nas estações úmida e seca, para o ano de 2010.

De um modo geral, foi observada uma aproximação entre os dados do Land-SAF e do CV, tanto em relação às médias quanto à variabilidade diária dos dados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração a partir de produto do sistema Land-SAF apresentou comportamento semelhante ao método de medida *in situ* da covariância dos vórtices turbulentos, especialmente no que diz respeito à representação do ciclo diário. As análises diárias mostraram que o produto Land-SAF segue um padrão próximo das medidas do CV, com melhor desempenho nos meses de transição (período úmido-seco e seco-úmido, ano de 2010). Com relação às médias mensais, foi observada a tendência do Land-SAF em superestimar os dados de ET no ano de 2010, com

melhor aproximação entre Land-SAF e CV nos meses correspondentes a estação seca e na transição da seca para a estação úmida.

Assim, as medidas de ET_{SAF} podem ser uma alternativa quando não existirem dados disponíveis das coletas *in situ*, ou ainda, em situações em que o elevado número de falhas nas coletas de dados pelo sistema CV impossibilita as análises das características dos ecossistemas.

Agradecimentos

Ao Programa LBA, pelo fornecimento dos dados de microclima e fluxos de energia da REBIO Jaru e ao Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) pelo suporte com os dados do Land-SAF.

Referências Bibliográficas

Andrade, N.L.R. **Fluxo de calor latente em uma floresta tropical da Amazônia: uma análise de séries temporais e de produtos do MODIS**. 2013. 167 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2013.

Araújo, E.A.; Ker, J.C.; Mendonça, E.S.; Silva, I.R.; Oliveira, E.K. Impacto da conversão de floresta em pastagem nos estoques e na composição isotópica do carbono e de frações da matéria orgânica do solo na Amazônia Ocidental, Acre. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2007.

Fisher, J.B.; Malhi, Y.; De Araújo, A.C.; Bonal, D.; Gamo, M.; Goulden, M.L.; Hirano, T.; Huete, A.R.; Kondo, H.; Kumagai, T.; et al. The land-atmosphere water flux in the tropics. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2694–2714, 2009.

Huang, C.; Li, X.; Wang, J.; Gu, J. Assimilation of Remote Sensing Data Products into Common Land Model for Evapotranspiration Forecasting. In: **Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences**. Shanghai, P. R. China. pp. 234-241. 2008.

Imbuzeiro, H.M.A. **Calibração de um modelo para simular fluxos de massa e energia entre a floresta amazônica e a atmosfera usando múltiplos sítios**. 2005. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

Lima, J.R.S.; Padilha, K.M.; Gomes, C.A.; Antonino, A.C.D.; Orlando, R.C. Balanço de energia e evapotranspiração em mamona cultivada em garanhuns-Pe. In: Congresso Brasileiro de Mamona e Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 4, 1, 2010, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: VI CBM & III SIOE, 2010.

Ruhoff, A.L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. 2011. 162 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.