

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE FUSÃO DE MODELOS GLOBAIS PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL

*Gabriele Leão Cyganski¹ ; Ayan Santos Fleischmann²; Adriana Moreira³ ; Leonardo Laipelt⁴ ;
Anderson Ruhoff⁵; Carlos Antônio Costa dos Santos⁶; Marcelo Biudes⁷; Debora Roberti⁸ & Eric
Cosio⁹*

Palavras-Chave – Evapotranspiração, sensoriamento remoto, América do Sul.

RESUMO - A evapotranspiração (ET) é uma componente do ciclo hidrológico e seu fluxo pode ser obtido a partir de dados de campo observados em torres de covariância de vórtices turbulentos (*Eddy Covariance*, EC), ou ainda estimado a partir de imagens de satélite e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto (SR). Os produtos de SR possuem potencialidades e limitações distintas, tornando interessante o estudo de fusão de dados de diferentes produtos para a estimativa de ET ao longo de grandes áreas. Neste trabalho, foi realizada a fusão de dados dos produtos de SR GLEAM, MOD16, SSEBop e PML a partir de duas metodologias distintas e os resultados obtidos foram comparados com dados de campo de torres EC. Foram analisadas as correlações e desvios entre dados estimados e calculados, sendo observadas maiores correlações entre o conjunto calculado a partir da média dos modelos, com valores médios de todos os sítios de 0.72 e menores desvios em relação aos dados observados em campo, com valores de 0.46. Estes resultados indicam que para os locais e períodos de análise, o conjunto calculado a partir da média entre os valores de ET dos quatro produtos GLEAM, MOD16, SSEBop e PML apresentou-se mais satisfatório que os modelos de forma individual.

ABSTRACT - Evapotranspiration (ET) is a component of the hydrological cycle and it can be obtained from in situ flux towers (Eddy Covariance, EC) or remote sensing (RS) products. RS products have different strengths and limitations, making it interesting to study the fusion of data from different products to estimate ET over large areas. In this study, data merging of four RS products, i.e., GLEAM, MOD16, SSEBop and PML, was carried out using two different methodologies and the results obtained were compared with field data from EC flux towers. Correlations and deviations between estimated and calculated data were analyzed. Higher correlations

1) IPH/ UFRGS, (51) 98414 9621, gabriele.leao.c@gmail.com

2) IPH/UFRGS, ayan.fleischmann@gmail.com.

3) IPH/UFRGS, moreiradriana00@gmail.com

4) PH/UFRGS, leolaipelt@hotmail.com

5) IPH/UFRGS, andersonruhoff@gmail.com

6) DCA/UFMG, carlostorm@gmail.com

7) IF/UFMT, marcelo@fisica.ufmt.com

8) CCNE/UFMS, debora@ufsm.com

9) PUCP/Peru, ecosio@pucp.pe

were observed between the set calculated from the mean of the models, with mean values for all sites of 0.72 and lower deviations from the data observed in the field, with values of 0.46. These results indicate that for the locations and period of analysis, the set calculated from the average between the ET values of the four GLEAM, MOD16, SSEBop and PML products was more satisfactory than the individual models.

INTRODUÇÃO

A ET é um importante componente do ciclo hidrológico, sendo representada pelo somatório da evaporação de massas d'água e do solo e da transpiração da vegetação (Fisher *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2016). Este fluxo pode ser obtido através de dados de torres de fluxo ou através de imagens de satélite e aplicação de técnicas de SR (Shuttleworth, 2012; Bonan, 2015). Apesar de sua importância, os dados obtidos através das torres de fluxo possuem elevados custos associados e dificuldade de espacialização para grandes regiões com características heterogêneas de vegetação. Já os produtos de SR possuem facilidade na espacialização das informações, uma vez que os satélites orbitam a terra e são capazes de coletar informações ao longo de grandes áreas (Biggs *et al.*, 2015). Porém, uma vez que cada modelo tem suas vantagens e limitações (Zhang *et al.*, 2016), faz-se necessário o aprofundamento de estudos utilizando técnicas de fusão de modelos de estimativa de ET, visando aumentar a acurácia das informações para escalas continentais.

METODOLOGIA

Foram selecionados quatro produtos de SR a partir dos quais foram calculados dois conjuntos de dados. Os resultados obtidos foram comparados com dados de torres de fluxo localizadas na América do Sul. A seleção dos locais de análise foi realizada a partir da disponibilidade de dados nas torres de fluxo e ocorreram de forma pontual, para os dados extraídos dos produtos de SR de acordo com as coordenadas das torres de fluxo. A seleção dos locais de estudo foi realizada a partir de critério de disponibilidade de dados aplicado aos sítios das torres de fluxo.

Processamento de dados de Eddy Covariance

Com base em dados de torres de fluxo localizados na América do Sul, foi calculada a ET média diária em cada mês da série de dados disponível e, posteriormente, obtida a ET mensal em cada torre. Foi adotado o critério de disponibilidade de dados mínima igual ou superior a 75% de dias do mês (Fisher *et al.*, 2009). Os meses que não atendiam a este critério, era desconsiderados da análise. Assim, foi obtida a série de ET mensal para cada torre.

Produtos de SR

O SR é considerado a ferramenta mais efetiva para a estimativa de ET em grandes escalas (Ruhoff *et al.*, 2013). Entre os modelos de estimativa de ET de larga escala disponíveis baseados na vegetação, podemos citar o GLEAM (Miralles *et al.*, 2011), MOD16 (Mu, Zhao e Running, 2011) e PML (Leuning *et al.*, 2008), daqueles baseados em temperatura de superfície, podemos citar o SSEBop (Senay *et al.*, 2013). Assim, devido às diferenças metodológicas entre estes modelos e à sua escala global, foram selecionados os modelos GLEAM, SSEBop, MOD16 e PML. Foi realizada a compatibilização temporal de dados disponíveis entre os quatro produtos, sendo esta de 15 anos, com início em 2003 e final em 2017.

Locais de análise

Os locais de estudo foram selecionados a partir das localizações das torres de fluxo situadas na América do Sul com dados de ET disponíveis. Uma vez que foram obtidos os dados dos produtos de SR para as mesmas coordenadas das torres de fluxo, as análises realizadas neste estudo ocorreram a nível de pixel, correspondendo à localização da torre de fluxo. A compatibilização temporal dos

dados disponíveis foi realizada a partir da adoção de um critério de pelo menos 12 meses de dados simultâneos entre os produtos de SR e as torres de fluxo. A partir deste critério, foram selecionados 12 locais de análise. Estes locais são apresentados na Figura 1 e suas informações são descritas na Tabela 1.

Figura 1 – Localização dos sítios de estudo, com destaque para biomas sul americanos.



Tabela 1 – Dados referentes aos sítios de análise.

Código	Nome	Coordenadas		Uso do solo	Bioma	Número de meses de disponibilidade	Início de dados	Fim de dados	Referência
		Latitude	Longitude						
BAN	Javaés/Tocantins	-9.83°	-50.16°	Florestas naturais	Transição Amazônia-Cerrado	13	11-2003	11-2004	Borma <i>et al.</i> (2009)
CCG1	Serido Caatinga Densa	-7.28°	-35.97°	Caatinga densa	Caatinga	30	02-2013	03-2016	Campos <i>et al.</i> (2019)
CCG2	Serido Caatinga Esparsa	-7.25°	-35.95°	Caatinga esparsa	Caatinga	35	04-2013	01-2017	Campos <i>et al.</i> (2019)
CRA	Cruz Alta	-28.60°	-53.67°	Agricultura	Pampa	12	01-2009	08-2012	Moreira <i>et al.</i> (2015)
K67	Santarém – K67	-2.86°	-54.96°	Florestas	Amazônia	24	01-2003	11-2005	Saleska <i>et al.</i> (2003)
K77	Santarém – K77	-3.02°	-54.89°	Agricultura	Amazônia	20	01-2003	10-2004	Sakai <i>et al.</i> (2004)
NPW	Northern Pantanal Wetland	-16.50°	-56.41°	Bosques	Pantanal	32	12-2013	06-2017	Dalmagro <i>et al.</i> (2019)
PAS	Pedras Altas	-31.73°	-53.53°	Pastagens	Pampa	20	01-2014	08-2016	Rubert <i>et al.</i> (2019)
SIN	Sinop	-11.41°	-55.32°	Bosques	Amazônia	21	05-2005	05-2008	Biudes <i>et al.</i> (2015)
SLU	São Luíz	-33.46°	-66.46°	Mosaico de agricultura e pastagens	Transição Chaco-Patagônia	15	01-2010	03-2011	Garcia <i>et al.</i> (2017)

SMA	Santa Maria	-29.72°	-53.76°	Pastagens	Pampa	15	12-2013	02-2016	Rubert <i>et al.</i> (2019)
TNR	Tambopata	-12.83°	-69.28°	Florestas mistas	Amazônia	12	01-2017	12-2017	Vihirmaa <i>et al.</i> (2016)

Fusão de modelos

As estimativas baseadas em fusão de modelos foram realizadas a partir dos dados extraídos dos quatro produtos de SR, para as coordenadas das torres de fluxo que atenderam aos critérios de disponibilidade. Assim, foram calculados dois conjuntos de dados, chamados aqui de E1 e E2.

O conjunto E1 foi obtido a partir da média aritmética entre os quatro produtos de SR, i.e., GLEAM, MOD16, SSEBop e PML. Assim, para cada mês com dados disponíveis nos quatro produtos de SR, foi possível obter a média destes valores.

A metodologia do conjunto calculado E2 segue a proposta por Zhang *et al.* (2018) e baseia-se em uma média ponderada em que os pesos são obtidos a partir da variância dos erros da série de evapotranspiração mensal extraída de cada modelo. A partir da equação (1) são obtidos os pesos de cada modelo e, a partir da equação (2) obtém-se o valor de E2 para cada mês da série de dados. Os pesos foram calculados considerando-se os dados de ET mensais disponíveis simultaneamente entre os quatro produtos de SR, para cada local de análise.

$$w_i = \frac{1/\sigma_i^2}{\sum_{j=1}^n 1/\sigma_j^2} \quad (1)$$

Onde w_i é o peso calculado para cada produto de SR estudado, sendo atribuído um peso para cada modelo e este peso constante para toda a série; σ^2 é a variância da série de dados; o numerador representa o inverso da variância observada em cada local de estudo, para cada um dos quatro produtos de SR; e o denominador é o somatório do inverso das variâncias observadas nos quatro produtos de SR.

$$E_2 = \sum ET_i \times w_i \quad (2)$$

Onde E_2 é o conjunto calculado, em mm.mês⁻¹ para o mês de análise; ET_i é o valor de ET estimado por cada um dos produtos de SR, em mm.mês⁻¹; e w_i é o peso calculado para cada um dos produtos de SR.

Análise de desempenho de cada conjunto de dados

A análise de desempenho foi realizada visando a identificar qual estimativa de ET possui maior proximidade daquela observada em campo nas torres EC. Para tal, foram calculados dois índices entre os dados estimados, i.e., GLEAM, MOD16, SSEBop, PML, E1 e E2, e os dados observados, i.e., EC. Foi realizada compatibilização temporal entre os dados estimados e observados, de acordo com a disponibilidade de dados em cada torre EC.

O primeiro índice foi o coeficiente de correlação de Pearson, o qual mensura a força, intensidade ou grau de relação linear entre duas variáveis. Para pequenos conjuntos de dados, a magnitude do coeficiente precisa ser elevada, com valores próximos de |1| para ser significativo. O coeficiente R é calculado a partir de equação (3).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) \times (\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (3)$$

Onde R é o coeficiente de correlação de Pearson; n o tamanho da amostra; \bar{x} e \bar{y} os valores médios do conjunto das variáveis; e x_i e y_i são os valores de ET mensal. A variável x refere-se aos conjuntos de dados estimados, e a y, aos dados observados.

O segundo índice foi a raiz normalizada do desvio médio quadrático (NRMSD), a partir da qual é possível quantificar o quanto cada valor estimado se afasta do valor observado e é obtido a partir da equação (4).

$$NRMSD = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Onde $NRMSD$ é a raiz normalizada do desvio médio quadrático; n o tamanho da amostra; e \bar{x} a média do conjunto. A variável x refere-se aos conjuntos de dados estimados, e a y , aos dados observados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação de desempenho dos conjuntos de dados de estimativa de ET em relação aos dados observados de EC são apresentados, respectivamente para R e NRMSD, na Figura 2 e Figura 3. Estes resultados foram obtidos a partir da análise da compilação dos resultados obtidos em cada sítio.

Em relação a R, foram obtidas as distribuições médias entre os dados observados e os produtos de SR e conjuntos calculados de 0.65, 0.51, 0.66, 0.46, 0.72 e 0.65, respectivamente para GLEAM, SSEBop, MOD16, PML, E1 e E2. A maior média foi observada entre os dados do conjunto calculado E1 e os dados de campo, seguido do MOD16, E2, GLEAM, SSEBop e PML. Ainda, foi possível observar que os conjuntos com melhores correlações médias com os dados observados foram aqueles que também apresentaram menor dispersão nos resultados

Em relação ao NRMSD, foi possível observar que os valores médios entre os desvios calculados entre os conjuntos estimados e observados foi respectivamente de 0.64, 0.66, 0.63, 0.67, 0.48 e 0.46, para GLEAM, SSEBop, MOD16, PML, E1 e E2. Os menores desvios dos conjuntos estimados em relação aos dados observados foram calculados respectivamente para E2, E1, MOD16, GLEAM, SSEBop e PML. Novamente foi possível observar que as menores dispersões ocorreram nos conjuntos com menores desvios.

Figura 2 – Boxplot do coeficiente de correlação de Pearson (R) para cada conjunto de dados estimados, em relação aos observados.

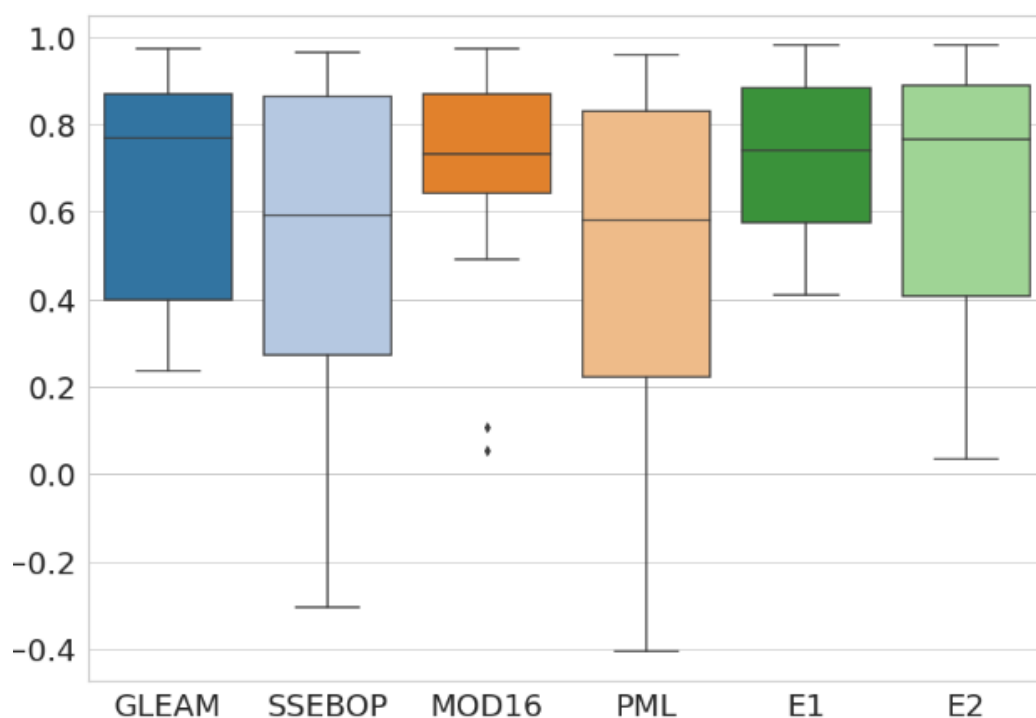
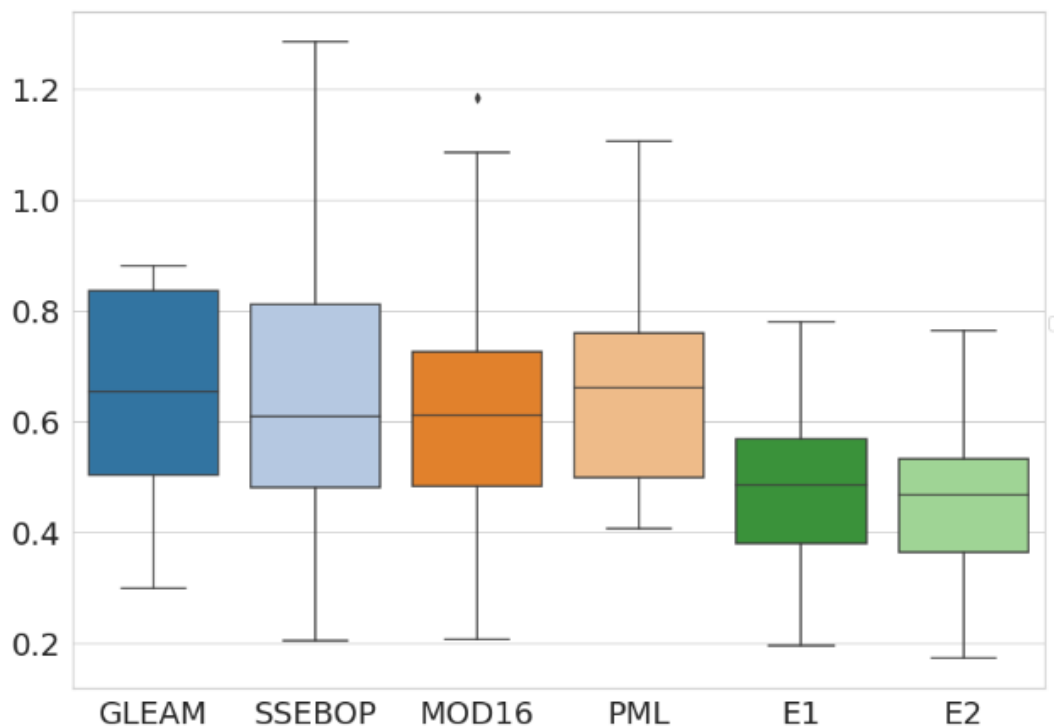


Figura 3 – Boxplot da raiz normalizada do desvio médio quadrático (NRMSD), para cada conjunto de dados estimados, em relação aos observados.



CONCLUSÕES

A partir dos quatro modelos de SR investigados, GLEAM, SSEBop, MOD16 e PML, foi possível avaliar duas formas de fusão de dados para estimativa de ET na América do Sul, E1 e E2. Para avaliar o desempenho dos conjuntos de dados, foram utilizados dados de torres de fluxo situadas em biomas distintos ao longo do continente sul americano. Foi realizado cálculo de dois índices entre cada conjunto de dados estimados, i.e., GLEAM, SSEBop, MOD16, PML, E1 e E2, e dados observados, EC, sendo estes o R e o NRMSD. Os resultados obtidos indicam que, para os locais de estudo e período de disponibilidade de dados, o conjunto E1 desempenhou de forma mais satisfatória que os demais, sendo obtidas médias de R de 0.72 entre E1 e dados EC, valores estes superiores que aqueles observados entre conjuntos GLEAM, MOD16, SSEBop PML, e E1 e dados EC, que foram de 0.65, 0.51, 0.66, 0.46 e 0.65, indicando que E1 apresentou melhor correlação com dados de campo para os sítios estudados e período de análise. Em relação às médias dos resultados de NRMSD, os menores desvios foram observados entre E1 e E2 e dados EC, com valores respectivos de 0.48 e 0.46. Estes desvios foram menores que aqueles observados entre conjuntos GLEAM, SSEBop, MOD16 e PML e dados EC, que foram respectivamente de 0.64, 0.66, 0.63 e 0.67. Os resultados apresentados indicam que as duas metodologias propostas de fusão de dados desempenharam de forma mais satisfatória que cada conjunto de dados de forma individual, sendo que E1 apresenta maior correlação com dados de campo e ainda possui a vantagem de maior simplicidade para sua obtenção.

REFÊRENCIAS

BIGGS, T. W., PETROPOULOS, G. P., VELPURI, N. M., MARSHALL, M., GLENN, E. P., NAGLER, P., MESSINA A. (2015) “Remote Sensing of Evapotranspiration from Croplands” in *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studie*. Ed. Por Ph.D. Thenkbail. University of Wisconsin, Madison – USA. pp. 59 -99.

- BIUDES, M. S., VOURLITIS, G. L., MACHADO, N. G., ARRUDA, P. H. Z., NEVES, G. A. R., LOBO, F. A., NEALDE, C. M. U., NOGUEIRA, J. S. (2015). “*Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil.*” *Agricultural and Forest Meteorology* (1-124), pp. 112-124.
- BONAN, G. (2015). *Ecological Climatology: Concepts and Applications (3rd ed.)*. Cambridge University Press - Cambridge.
- BORMA, L. S., DA ROCHA, H. R., CABRAL, O. M., VON RANDOW, C., COLLICCHIO, E., KURZATKOWSKI, D., BRUGGER, P. J., FREITAS, H., TANNUS, R., OLIVEIRA, L., RENNÓ, C. D., ARTAXO, P. (2009), “*Atmospheric and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia*” *Journal of Geophysical Research* (114).
- CAMPOS, S., MENDES, K.R., SILVA, L.L., MUTTI, P.R., MEDEIROS, S.S., AMORIM, L.B., SANTOS, C.A.C., PEREZ-MARIN, A.M., RAMOS, T.M., MARQUES, T.V., LUCIO, P.S., COSTA, G. B., SANTOS E SILVA, C.M., BEZERRA, B.G. (2019). “*Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest*”. *Agricultural and Forest Meteorology* 271, 398-412.
- DALMAGRO, H. J., ZANELLA DE ARRUDA, P. H., VOURLITIS, G. L., LATHUILLIÈRE, M. J., DE S. NOGUEIRA, J., COUTO, E. G., JOHNSON, M. S. (2019) “*Radiative forcing of methane fluxes offsets net carbon dioxide uptake for a tropical flooded forest*” *Global change biology* 25, pp. 1967-1981.
- FISHER, J. B., MELTON, F., MIDDLETON, E., HAIN, C., ANDERSON, M., ALLEN, R., MCCABE, M. F., HOOK, S., BALDOCCHI, D., TOWNSEND, P. A., KILIC, A., TU, K., MIRALLES, D. D., PERRET, J., LAGOUARDE, J. O., WALISER, D., PURDY, A. J., FRENCH A., SCHIMEL, D., FAMIGLIETTI, J. S., STEPHENS, G., WOOD, E. F. (2017) “*The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources*” *Water Resources Research* 53 (2618– 2626). pp. 2828-2626.
- FISHER, J. B., MALHI, Y., BONAL, D., DA ROCHA, H. R., DE ARAÚJO, A. C., GAMO, M., GOULDEN, M. L., RANO, T. H., HUETE, A. R., KONDO, H., KUMAGAI, T., LOESCHER, H. W., MILLER, S., NOBRE, A. D., NOUVELLON, Y., OBERBAUER, S. F., PANUTHAI, S., ROUPSARD, O., SALESKA, S., VON RANDOW, C. (2009) “*The land-atmosphere water flux in the tropics*” *Global Change Biology* 15(11) pp. 2694-2714.
- GARCIA, A. G., BELLA, C. M. D., HOUSPANOSSIAN, J., MAGLIANO, P. N., JOBBÁGY, E. S., POSSE, G., FERNÁNDEZ, R. J., NOSETTO, M, D. (2017) “*Patterns and controls of carbon dioxide and water vapor fluxes in a dry forest of central Argentina*” *Agricultural and Forest Meteorology* 247, pp. 520-532.
- LEUNING, R., ZHANG, Y. Q., RAJAUD, A., CLEUGH, H., TU, K. (2008) “*A simple surface conductance model to estimate regional evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation*”. *Water Resources Research* 44.
- MIRALLES, D. G., HOLMES, T. R. H., DE JEU, R. A. M., GASH, J. H., MEESTERS, A. G. C. A., DOLMAN, A. J. (2011) “*Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations*” *Hydrology Earth System Science*, 15, pp. 453–469.
- MOREIRA, V. S., ROBERTI, D. R., MINELLA, J. P., GONÇALVES, L. G. G., DE, CANDIDO, L. A., FIORIN, J. E., MORAES, O. L. L., TIMM, A. U., CARLESSO, R., DEGRAZIA, G. A. (2015). “*Seasonality of soil water exchange in the soybean growing season in southern Brazil*” *Scientia Agricola*, 72(2), pp. 103-113.

- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. (2011) “*Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm*” *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 8, p. 1781–1800.
- RUBERT, G. C.; ROBERTI, D. R.; PEREIRA, L. S.; QUADROS, F. L. F.; CAMPOS VELHO, H. F.; MORAES, O. L. L. (2018) “*Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors.*” *Water* 2018, 10, 1864. *Water*, v. 11, n. 9, 1890.
- RUHOFF, A. L.; PAZ, A. R.; ARAGAO, L. E.O.C.; COLLISCHONN, W.; MU, Q.; MALHI, Y.; ROCHA, H. R. (2013) “*Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin*” *Hydrological Sciences Journal*, v. 58 (8), pp. 1-19.
- SAKAI, R.K., FITZJARRALD, D.R., MORAES, O.L.L., STAEBLER, R.M., ACEVEDO, O.C., CZIKOWSKY, M.J., DA SILVA, R., BRAIT, E., MIRANDA, V. (2004) “*Land-use change effects on local energy, water, and carbon balances in an Amazonian agricultural field*”. *Global Change Biol.* 10, pp. 895–907.
- SALESKA, S.R.; MILLER, S.D.; MATROSS, D.M.; GOULDEN, M.L.; WOFSY, S.C.; DA ROCHA, H.R.; DE CAMARGO, P.B.; CRILL, P.; DAUBE, B.C.; DE FREITAS, H.C.; HUTYRA, L.; KELLER, M.; KIRCHHOFF, V.; MENTON, M.; MUNGER, J.W.; PYLE, E.H.; RICE, A.H.; SILVA, H. (2003) “*Carbon in Amazon forests: Unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses*” *Science*, v.302, pp. 1554-1557.
- SENAY, G. B., BOHMS, S. S. R. K., GOWDA, P. H., VELPURI, N. M., ALEMU, H. V., JAMES P., (2013) “*Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach.*” *Journal of the American Water Resources Association* 49(3), PP. 577– 591.
- SHUTTLEWORTH, W. J. (2012). *Terrestrial Hydrometeorology*. West Sussex – UK.
- VIHERMAA, L. E., WALDRON, S., DOMINGUES, T., GRACE, J., COSIO, E. G., LIMONCHI, F., HOPKINSON, C., DA ROCHA, H. R., GLOOR, E. (2016) “*Fluvial Carbon Export From A Lowland Amazonian Rainforest In Relation To Atmospheric Fluxes*” *Journal Of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121(12), pp. 3001-3018.
- ZHANG, K., KIMBALL, J. S., & RUNNING, S. W. (2016) “*A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation.*” *Water*, 3(6), pp. 834–853.
- ZHANG, Y., PAN, M., SHEFFIELD, J., SIEMANN, A. L., FISHER, C. K., LIANG, M., BECK, H. E., WANDERS, N., MACCRACKEN, R. F., HOUSER, P. R., ZHOU, T., LETTENMAIER, D. P., PINKER, R. T., BYTHEWAY, J., KUMMEROW, C. D., WOOD, E. F. (2018) “*A Climate Data Record (CDR) for the global terrestrial water budget: 19884 – 2010.*” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, pp. 241-263.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento às redes de dados de torres de covariância de vórtices turbulentos Fluxnet, Ameriflux, Sulflux e Onda CBC.