

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **Monitoramento contínuo da evapotranspiração com alta resolução espacial por meio da integração de dados satelitais Landsat, Sentinel e VIIRS**

*Leonardo Laipelt, Ayan Fleischmann e Anderson Ruhoff*

**Abstract:** Evapotranspiration (ET) is essential for water resource management, supporting agricultural practices, water use decisions, and providing key information on the impacts of climate change and land use on the hydrological cycle. However, continuous and high-resolution monitoring of ET faces challenges due to the trade-off between spatial resolution and revisit frequency of current satellite sensors. Low-resolution satellites allow large-scale monitoring but lack the detail required for local applications. The combination of Landsat and Sentinel satellite constellations can enhance high-resolution vegetation monitoring, although Sentinel-2 does not provide surface temperature (Ts) data, which is crucial for remote sensing-based ET models. To overcome these limitations, this study proposes the integration of Landsat, Sentinel-2, and VIIRS data to generate continuous ET estimates, even in regions with frequent cloudiness. Downscaling techniques were applied to produce Ts data at 30-meter resolution, enabling the integration of multiple satellite constellations. The generated Ts time series were used to estimate ET using different models (geeSEBAL, SSEBop, SIMS, and PT-JPL), validated against in situ observations. The results showed high spatial agreement with expected patterns, demonstrating the potential of the approach for global-scale applications, with a 46% increase in the availability of high-resolution imagery for ET estimation.

**Resumo:** A evapotranspiração (ET) é essencial na gestão dos recursos hídricos, apoiando práticas agrícolas, decisões sobre o uso da água e fornecendo informações essenciais sobre os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra no ciclo hidrológico. No entanto, o monitoramento contínuo e em alta resolução da ET enfrenta desafios devido à limitação entre a resolução espacial e a frequência de revisita dos sensores de satélite atuais. Satélites de baixa resolução permitem o monitoramento em larga escala, mas não oferecem o nível de detalhamento necessário para aplicações locais. A combinação das constelações Landsat e Sentinel pode melhorar o monitoramento da vegetação em alta resolução, embora não haja dados de temperatura da superfície (Ts) na missão Sentinel-2, fundamental para a maioria das aplicações de modelos de ET baseados em sensoriamento remoto. Para superar essas limitações, este estudo propõe a integração de dados Landsat, Sentinel-2 e VIIRS para gerar estimativas contínuas de ET, mesmo em regiões com alta frequência de cobertura de nuvens. Técnicas de *downscaling* foram aplicadas para produzir dados de Ts com resolução de 30 metros, possibilitando a integração de múltiplas constelações de satélites. As séries de Ts geradas foram utilizadas para estimativas de ET utilizando diferentes modelos (geeSEBAL, SSEBop, SIMS e PT-JPL), validadas com base em medições *in situ*. Os resultados mostraram alta concordância espacial com os padrões esperados, demonstrando o potencial da abordagem para aplicações em escala global, com um aumento de 46% na disponibilidade de imagens de alta resolução para estimativas de ET.

**Palavras-Chave** – Temperatura da superfície, Downscaling, Landsat

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é um componente essencial na gestão de recursos hídricos, permitindo desde a avaliação da eficiência do uso da água na agricultura até o monitoramento de perdas em reservatórios e a análise de mudanças no ciclo hidrológico em diferentes escalas, especialmente diante das mudanças climáticas (Liu et al., 2021; F. Zhao et al., 2022; G. Zhao et al., 2022). Além disso, dados de ET são fundamentais para prever secas e entender seus efeitos em bacias hidrográficas, bem como para avaliar impactos de mudanças no uso do solo, como o desmatamento (Aragão, 2012; Lima et al., 2014).

Diante das limitações espaciais e temporais das observações *in situ* de ET, modelos baseados em sensoriamento remoto surgem como alternativa para monitorar continuamente a ET em múltiplas escalas. Satélites com resolução espacial mais grosseira (500 a 1000 metros) e alta frequência de revisita, como o MODIS, VIIRS e GOES-16, são essenciais para análises em escalas globais. No entanto, o monitoramento local em alta resolução espacial ainda enfrenta desafios, principalmente devido a relação existente entre resolução espacial e a frequência de revisita. Assim, a combinação de constelações de satélites tem sido uma solução promissora, embora a obtenção de todas as variáveis necessárias – especialmente a temperatura da superfície (Ts) – ainda seja limitada. Atualmente, a missão Landsat é amplamente usada para estimativas de ET em alta resolução (30 metros), porém devido ao seu ciclo de revisita (16 dias), regiões com intensa cobertura de nuvens podem apresentar longos períodos sem imagens de céu limpo, limitando a cobertura temporal e espacial da ET.

Significativos esforços foram realizados para superar essa limitação, como a combinação de dados Landsat com dados da missão Sentinel-2 (Ju et al., 2025), que oferece imagens multiespectrais de alta resolução com tempo de revisita a cada 5 dias. No entanto, a ausência de dados de Ts limita sua aplicação direta em modelos de ET. Para contornar essa limitação, diversos estudos propuseram técnicas de *downscaling* da Ts de dados de resoluções espaciais mais grosseiros para resoluções mais finas, como os algoritmos DISTRAD (Kustas et al., 2003) e TSHARP (Agam et al., 2007), que usam a vegetação como proxy para estimar Ts em alta resolução espacial. Além disso, existem algoritmos mais sofisticados – como STRAFM, ESTARFM e SADFAT – porém apresentam limitações para aplicações em escala global devido à alta demanda computacional.

Visto a necessidade de avançar na aplicabilidade em escala global do monitoramento contínuo da ET, este estudo propõe um algoritmo de *downscaling* simples, porém robusto, baseado nos algoritmos TSHARP e DISTRAD. As alterações propostas buscam uma melhor representação da variação da Ts, que não apenas é dependente da vegetação, mas também de variações do relevo (INAMDAR & FRENCH, 2009) e da emissividade da superfície (HUTENGs & VOHLAND, 2016).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Algoritmo de downscaling

O algoritmo de *downscaling* da Ts utilizado neste estudo é baseado nas metodologias propostas por Kustas et al. (2003) e Agam et al. (2007), fundamentadas na relação entre a vegetação da superfície e a Ts, assumindo uma relação linear que é independente da resolução espacial. No entanto, como os índices de vegetação podem apresentar limitações na representação com precisão da Ts em determinadas situações – como em áreas homogêneas ou regiões montanhosas (Hutengs & Vohland, 2016; Inamdar & French, 2009) – este estudo incorpora duas variáveis adicionais: emissividade e a elevação da superfície, todas assumidas como dependentes linearmente da Ts.

A estimativa da relação linear entre essas variáveis foi obtida por meio do método dos mínimos quadrados (Equação 1):

$$Ts_{1000}(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3) = f(fvc_{1000}, emis_{1000}, MDE_{1000}) \quad (1)$$

em que  $Ts_{1000}$  é a variável dependente e representa a  $Ts$  do produto VIIRS com 1000 metros de resolução espacial;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  são os coeficientes da regressão dos mínimos quadráticos para uma constante, a fração da vegetação ( $fvc$ ), a emissividade ( $emis$ ) e a informação de elevação do modelo digital de elevação ( $MDE$ ) Copernicus GLO DEM, respectivamente, em 1000 metros. Essa relação é então aplicada utilizando os dados do Sentinel com resolução espacial de 30 metros (HLS) para obtenção da primeira estimativa de  $Ts$  (Equação 2):

$$Ts_{30}^* = \beta_0 + \beta_1 * fvc_{30} + \beta_2 * emis_{30} + \beta_3 * MDE_{30} \quad (2)$$

Para garantir a conservação de energia (Agam et al., 2007), calcula-se a diferença entre o  $Ts_{30}^*$  estimado e o  $Ts_{1000}$  proveniente do VIIRS (Equação 3):

$$\Delta Ts = Ts_{30}^* - Ts_{1000} \quad (3)$$

Por fim, a  $Ts$  em 30 metros é obtida através da Equação 4:

$$Ts_{30} = Ts_{30}^* + \Delta Ts \quad (4)$$

Filtros adicionais foram aplicados para remoção de ruídos: apenas valores de NDVI com coeficiente de variação abaixo de 25% em janelas 3x3 foram incluídos, conforme recomendado por Kustas et al. (2003), e pixels de corpos d'água foram excluídos para evitar distorções nos coeficientes de regressão.

## Modelos de evapotranspiração

Neste estudo, foram utilizados quatro modelos de ET baseados em sensoriamento remoto: geeSEBAL (Laipelt et al., 2021), SSEBop (Senay, 2018), SIMS (Melton et al., 2012) e PT-JPL (Fisher et al., 2008). A Tabela 1 apresenta um sumário dos modelos, assim como as referências principais para acesso as formulações matemáticas e premissas.

**Tabela 1.** Informações adicionais dos modelos de evapotranspiração baseados em sensoriamento remoto utilizados no estudo. Entre as variáveis principais utilizadas estão o índice de vegetação (NDVI), umidade relativa (RH), temperatura da superfície ( $Ts$ ), temperatura do ar ( $Ta$ ), velocidade do vento ( $u$ ), saldo de radiação ( $Rn$ ) e coeficiente da cultura ( $Kc$ ).

Modelo	Abreviação	Variáveis principais	Referências
Priestly-Taylor Jet Propulsion Lab	PT-JPL	NDVI, RH, $Ts$ , $Ta$ e $Rn$	(Fisher et al., 2008)
Google Earth Engine Surface Energy Balance Algorithm for Land	geeSEBAL	NDVI, $Ta$ , $Rn$ , $u$ e RH	(Bastiaanssen et al., 1998; Laipelt et al., 2021)
Operational Simplify Surface Energy Balance model	SSEBop	NDVI, $Ts$ e $Ta$	(Senay, 2018; Senay et al., 2013)
Satellite Irrigation Management Support	SIMS	NDVI e $Kc$	Melton et al. (2012);

Esses modelos estão entre os mais amplamente utilizados em aplicações de ET devido as suas bases físicas, além de ser acessível via código aberto. Os modelos também fazem parte do projeto OpenET (Melton et al., 2021), que visa disponibilizar dados de ET em alta resolução em escala global. O modelo geeSEBAL é baseado no modelo SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998), desenvolvido para solucionar o balanço de energia ( $LE = Rn - G - H$ ;  $LE$  = fluxo de calor latente;  $Rn$  = Saldo de radiação;  $G$  = fluxo de calor do solo;  $H$  = fluxo de calor sensível) e voltado para aplicações globais (Laipelt et al., 2021). Já o SSEBop é um modelo simplificado de balanço de energia e com base no princípio de psicrometria por satélite (Senay 2018). O modelo SIMS é mais voltado para aplicações

agrícolas, combinando informações de índices de vegetação com coeficiente de cultura para estimativas de ET. Por fim, o PT-JPL baseia-se na equação de *Pristley-Taylor*, incorporando fatores de controle biofísico para representação da ET.

## Dados de sensoriamento remoto e meteorológicos

Os modelos de ET baseados em sensoriamento remoto utilizaram informações de satélites da coleção *Harmonized Landsat Sentinel* (HLS), que fornece dados consistentes de reflectância da superfície. Esse produto integra os dados das coleções 2 dos satélites Landsat 8 e 9 (NASA/USGS) com os satélites Sentinel-2A e 2B (ESA). O mesmo algoritmo foi aplicado para correção atmosférica, detecção de nuvens e harmonização espectral, com os dados do Sentinel reamostrados para resolução espacial de 30 metros. Os dados estão disponíveis na plataforma Google Earth Engine com os IDs: NASA/HLS/HL30/v002 (Landsat) e NASA/HLS/HLSS30/v002 (Sentinel).

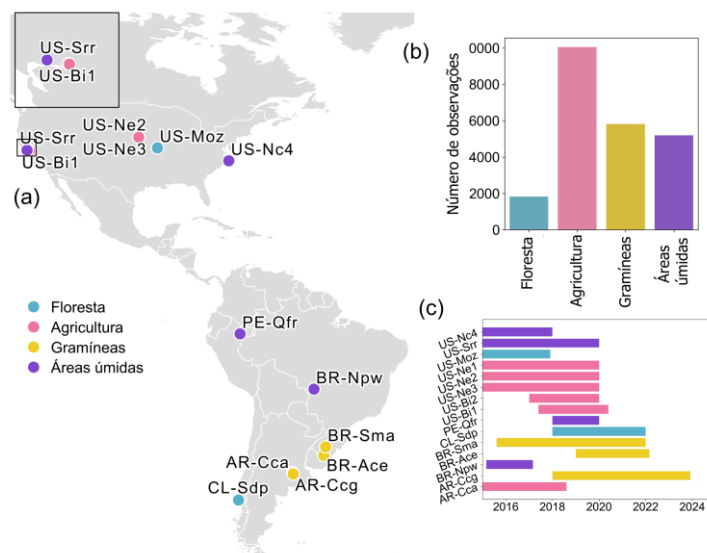
Os dados meteorológicos horários e diários foram obtidos do sistema NLDAS para os Estados Unidos contíguos (CONUS), com resolução espacial de ~14 km. Dados de reanálise ERA5-Land, com resolução de 10 km e dados horários, foram utilizados para os demais locais. A ET de referência, necessária para calcular a fração de ET e as estimativas diárias, foi calculada através do método padronizado da ASCE, com base na equação de Penman-Monteith (ASCE-EWRI, 2005).

## Validação

Os resultados obtidos com o método de *downscaling* da Ts foram validados por meio da análise do desempenho estatístico dos quatro modelos de ET. Essa avaliação considerou tanto as estimativas baseadas exclusivamente em imagens Landsat quanto a combinação de imagens Landsat com dados Sentinel, os quais utilizaram a Ts do VIIRS reprocessada para 30 metros.

Para validação, foram utilizados dados observados de 15 torres de fluxo (Figura 1), distribuídas em diferentes tipos de cobertura do solo — florestas, agricultura, pastagens e zonas úmidas — localizadas na Argentina, Chile, Brasil, Peru e Estados Unidos. Foram selecionadas apenas torres que possuíam dados a partir de 2015 (ano inicial da série de dados Sentinel) e com, no mínimo, um ano completo de medições. Os dados foram obtidos das redes AMERIFLUX e SULFLUX, e pós-processados utilizando o algoritmo de (Volk et al., 2024), garantindo a qualidade dos dados e o fechamento do balanço de energia.

Figura 1 – Localização das torres de fluxo utilizadas para validação da consistência dos dados de Ts estimados através de *downscaling* através da comparação com os resultados de evapotranspiração obtidos por diferentes modelos.

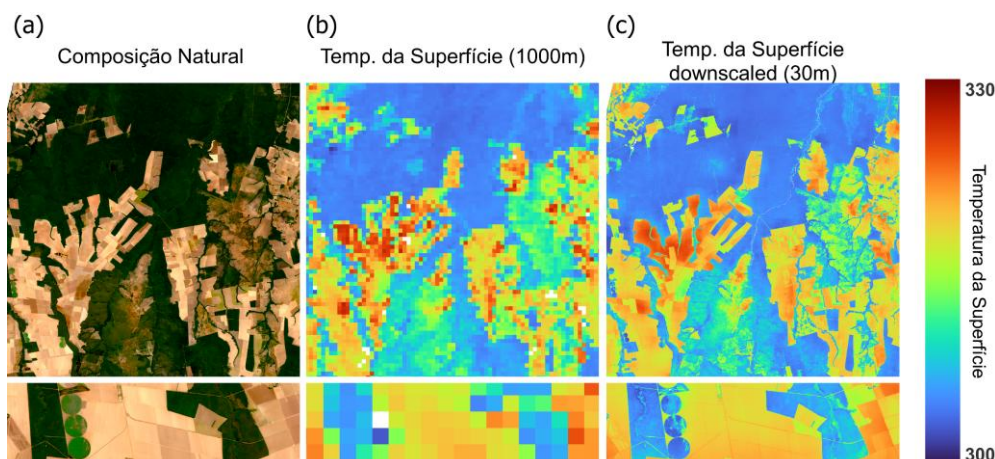




## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos no processo de *downscaling* da Ts derivada do sensor VIIRS para a escala correspondente às imagens Sentinel harmonizadas pelo produto HLS.

Figura 2 – Exemplo da aplicação da técnica de *downscaling* para a Ts para a região do Xingu, Mato Grosso. Em (a) é apresentado a composição natural, em (b) a temperatura da superfície proveniente do VIIRS (1000 metros) e o resultado de temperatura da superfície aplicando a técnica de *downscaling* (30 metros).

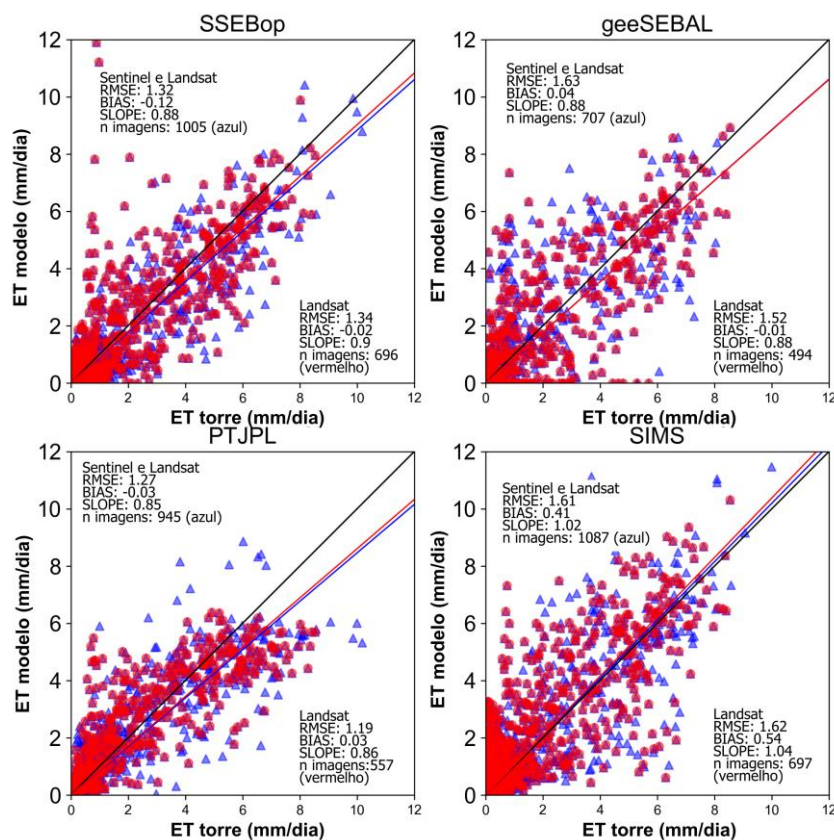


De modo geral, foi possível preservar a variabilidade espacial da Ts observada no produto VIIRS (Figura 2b), indicando uma correlação consistente com as variáveis independentes utilizadas no processo de *downscaling* (NDVI, emissividade e elevação), além de assegurar a conservação da energia. De acordo com Gao et al. 2012, essa conservação da energia é fundamental para garantir que as respostas da superfície estejam alinhadas com as captadas pelo sensor de resolução mais grosseira. Além disso, a correção da Ts por meio da adição da diferença entre a Ts do VIIRS e a estimada (Equação 3) contribui para minimizar a perda de informações espaciais, como a detecção de áreas irrigadas (Xue et al., 2020).

Em relação à validação, os resultados indicaram um aumento de aproximadamente 46% no número de imagens disponíveis para a estimativa da ET nas áreas avaliadas, com a incorporação dos dados dos satélites Sentinel e VIIRS. Os modelos de ET apresentaram desempenho estatístico semelhante tanto nas estimativas utilizando exclusivamente imagens Landsat quanto naquelas obtidas com o acréscimo das imagens Sentinel utilizando a Ts estimada por meio da técnica de *downscaling* (Figura 2).

A raiz do erro médio quadrático (RMSE) variou entre 1,19 e 1,62 mm.dia<sup>-1</sup> utilizando apenas imagens Landsat, enquanto a combinação com dados Sentinel e VIIRS apresentou valores entre 1,27 e 1,63 mm.dia<sup>-1</sup>. O erro médio (BIAS), por sua vez, apresentou uma variação entre -0,02 e 0,54 mm.dia<sup>-1</sup> para Landsat, e entre -0,12 e 0,41 mm.dia<sup>-1</sup> para a combinação Landsat e Sentinel/VIIRS.

Figura 2 – Validação dos modelos de evapotranspiração com dados observados para os modelos SSEBop, geeSEBAL, PT-JPL e SIMS. Em vermelho a comparação entre dados observados e imagens Landsat, enquanto que em azul é a comparação dos dados observados com a combinação de imagens Landsat e Sentinel.



Esses resultados indicam que a inclusão da Ts estimada para as imagens Sentinel não promoveu alterações significativas na acurácia dos quatro modelos de ET avaliados. Inclusive, o desempenho estatístico observado é compatível com os resultados apresentados pelo projeto OpenET (Volk et al., 2022), que validou os mesmos modelos em diferentes regiões dos Estados Unidos. Assim, conclui-se que a Ts obtida por meio da metodologia de *downscaling* é representativa, trazendo como benefícios uma maior cobertura temporal e espacial, diminuindo o intervalo entre imagens, e possibilitando um aprimoramento no monitoramento contínuo da ET. Ainda assim, ressalta-se a importância e a necessidade de medições *in-situ* da Ts para aprimorar a validação e o desenvolvimento de técnicas de *downscaling*.

## CONCLUSÃO

Informação de ET em alta resolução espaciais são essenciais não apenas para aprofundar o entendimento dos processos hidrológicos em escala local, mas também para compreensão mais precisa de dinâmicas em escala global. Este trabalho propõe uma metodologia que amplia a disponibilidade de imagens de alta resolução para o monitoramento contínuo da ET em larga escala, por meio da aplicação de técnicas de *downscaling* para obtenção de séries de Ts em alta resolução espacial, essenciais para a modelagem da ET com imagens de satélites, com a integração de diferentes fontes de dados.

As próximas etapas do estudo incluem a aplicação dessa abordagem em escala global, com o foco em sua implementação operacional para o monitoramento do uso da água, tanto na agricultura, quanto na avaliação dos impactos de eventos extremos, como secas severas e desmatamento, sobre o ciclo hidrológico. Espera-se também desenvolver estimativas de ET por meio de múltiplos modelos no contexto do projeto OpenET Brasil, com o objetivo de disponibilizar dados de alta acurácia e

resolução espacial para o país, contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos e monitoramento contínuo do uso da água.

**AGRADECIMENTOS** – Os autores gostariam de agradecer o apoio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para o desenvolvimento do projeto Desenvolvimento de Tecnologias Inovadoras Baseadas em Modelagem Hidrológica e Sensoriamento Remoto para Monitoramento da Agricultura Irrigada no Brasil, através de um Termo de Execução Descentralizada (TED) firmado entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e a Superintendência de Fiscalização da ANA (TED N° 03/2023/ANA). Os autores também gostariam de agradecer o suporte computacional do Google Earth Engine para a execução do projeto OpenET-Brasil.

## REFERÊNCIAS

- Agam, N., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Li, F., & Neale, C. M. U. (2007). A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote Sensing of Environment*, 107(4), 545–558.
- Aragão, L. E. O. C. (2012). The rainforest's water pump. *Nature*, 489(7415), 217–218.  
<https://doi.org/10.1038/nature11485>
- ASCE-EWRI. (2005). *The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration* (p. 173).
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212–213, 198–212. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- Fisher, J. B., Tu, K. P., & Baldocchi, D. D. (2008). Global estimates of the land-atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 901–919.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.025>
- Hutengs, C., & Vohland, M. (2016). Downscaling land surface temperatures at regional scales with random forest regression. *Remote Sensing of Environment*, 178, 127–141.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.006>
- Inamdar, A. K., & French, A. (2009). Disaggregation of GOES land surface temperatures using surface emissivity. *Geophysical Research Letters*, 36(2).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2008GL036544>
- Ju, J., Zhou, Q., Freitag, B., Roy, D. P., Zhang, H. K., Sridhar, M., Mandel, J., Arab, S., Schmidt, G., Crawford, C. J., Gascon, F., Strobl, P. A., Masek, J. G., & Neigh, C. S. R. (2025). The Harmonized Landsat and Sentinel-2 version 2.0 surface reflectance dataset. *Remote Sensing of Environment*, 324, 114723. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114723>
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C., & French, A. N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment*, 85(4), 429–440.
- Laipelt, L., Henrique Bloedow Kayser, R., Santos Fleischmann, A., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson, T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 81–96.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018>



- Lima, L. S., Coe, M. T., Soares Filho, B. S., Cuadra, S. V, Dias, L. C. P., Costa, M. H., Lima, L. S., & Rodrigues, H. O. (2014). Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: implications for the provision of ecosystem services. *Landscape Ecology*, 29(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9962-1>
- Liu, J., You, Y., Li, J., Sitch, S., Gu, X., Nabel, J. E. M. S., Lombardozzi, D., Luo, M., Feng, X., Arneth, A., Jain, A. K., Friedlingstein, P., Tian, H., Poulter, B., & Kong, D. (2021). Response of global land evapotranspiration to climate change, elevated CO<sub>2</sub>, and land use change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 311, 108663. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108663>
- Melton, F. S., Johnson, L. F., Lund, C. P., Pierce, L. L., Michaelis, A. R., Hiatt, S. H., Guzman, A., Adhikari, D. D., Purdy, A. J., Rosevelt, C., Votava, P., Trout, T. J., Temesgen, B., Frame, K., Sheffner, E. J., & Nemani, R. R. (2012). Satellite Irrigation Management Support With the Terrestrial Observation and Prediction System: A Framework for Integration of Satellite and Surface Observations to Support Improvements in Agricultural Water Resource Management. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(6), 1709–1721. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2012.2214474>
- Senay, G. B. (2018). Satellite Psychrometric Formulation of the Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) Model for Quantifying and Mapping Evapotranspiration. *Applied Engineering in Agriculture*, 34(3), 555–566. <https://doi.org/10.13031/aea.12614>
- Senay, G. B., Bohms, S., Singh, R. K., Gowda, P. H., Velpuri, N. M., Alemu, H., & Verdin, J. P. (2013). Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(3), 577–591. <https://doi.org/10.1111/jawr.12057>
- Volk, J. M., Huntington, J. L., Melton, F. S., Allen, R., Anderson, M., Fisher, J. B., Kilic, A., Ruhoff, A., Senay, G. B., Minor, B., Morton, C., Ott, T., Johnson, L., Comini de Andrade, B., Carrara, W., Doherty, C. T., Dunkerly, C., Friedrichs, M., Guzman, A., ... Yang, Y. (2024). Assessing the accuracy of OpenET satellite-based evapotranspiration data to support water resource and land management applications. *Nature Water*, 2(2), 193–205. <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00181-7>
- Xue, J., Anderson, M. C., Gao, F., Hain, C., Sun, L., Yang, Y., Knipper, K. R., Kustas, W. P., Torres-Rua, A., & Schull, M. (2020). Sharpening ECOSTRESS and VIIRS land surface temperature using harmonized Landsat-Sentinel surface reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112055. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112055>
- Zhao, F., Ma, S., Wu, Y., Qiu, L., Wang, W., Lian, Y., Chen, J., & Sivakumar, B. (2022). The role of climate change and vegetation greening on evapotranspiration variation in the Yellow River Basin, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 316, 108842. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108842>
- Zhao, G., Li, Y., Zhou, L., & Gao, H. (2022). Evaporative water loss of 1.42 million global lakes. *Nature Communications*, 13(1), 3686. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31125-6>