

## **SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO: UMA REVISÃO SISTÊMICA**

César de Oliveira Ferreira Silva<sup>1</sup>, Rodrigo Lilla Manzione<sup>2</sup>, José Luiz Albuquerque Filho<sup>3</sup>

**RESUMO:** Essa nota científica apresenta os conceitos e fundamentos elementares do sensoriamento remoto orbital (acoplados a satélites) e seu uso na modelagem aplicada ao manejo da irrigação, como o monitoramento da evapotranspiração real, umidade do solo e parâmetros hidrológicos de interesse para a otimização do uso da água na agricultura. Essa ferramenta pode subsidiar o manejo racional dos recursos hídricos nas áreas de desenvolvimento agrícola em cenários de mudanças climáticas e variação no uso da terra. A aplicação efetiva dessa tecnologia depende das resoluções espaciais, temporais e espectrais dos sensores, que definem a capacidade da captação da variabilidade dos parâmetros de interesse, sendo primordial que estratégias baseadas em sensoriamento remoto sejam avaliadas e validadas com dados medidos para garantir a precisão necessária para um manejo adequado das culturas irrigadas. As principais perspectivas e desafios para os usos presentes e futuros dessas técnicas são apresentadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** agrometeorologia, hidrologia, pesquisa aplicada, modelagem, automatização.

## **ORBITAL REMOTE SENSING FOR IRRIGATION MANAGEMENT: A SYSTEMATIC REVIEW**

**ABSTRACT:** This scientific note presents basic concepts and basis of orbital remote sensing (coupled to satellites) and its use in applied to irrigation management, such as the monitoring of real evapotranspiration, soil moisture and hydrological parameters of interest for the optimization of the use of water in agriculture. This tool can support the rational management of water resources in areas of agricultural development under scenarios of climate change and

<sup>1</sup> Agronomical Sciences Faculty, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 18610-034, Brazil

<sup>2</sup> School of Sciences and Engineering, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 17602-496, Brazil

<sup>3</sup> Department of Hydrogeology, Institute of Technological Research (IPT), São Paulo 05508-901, Brazil

land use change. The effective application of this technology depends on the spatial, temporal and spectral resolutions of the sensors, which define the capacity of the capture of the variability of the parameters of interest. It is essential that strategies based on remote sensing been evaluated and validated with data measured to guarantee the accuracy required for management of irrigated crops. The main perspectives and challenges for the present and future uses of these techniques are presented.

**KEYWORDS:** agrometeorology, hydrology, applied research, modeling, automation.

## INTRODUÇÃO

O uso conjunto de sensoriamento remoto e dados agrometeorológicos é capaz de subsidiar o manejo de água em diferentes escalas espaciais e temporais por meio do monitoramento de parâmetros agroambientais e hidrológicos. Medições pontuais de parâmetros essenciais à irrigação, como evapotranspiração, umidade do solo e variáveis biofísicas como a relação entre a qualidade ambiental da vegetação e sua produtividade apresentam dificuldades para serem aplicadas em larga escala espacial, pois a variabilidade espaço-temporal desses parâmetros é significativa porém não são captadas satisfatoriamente por medidas pontuais, o que, aliado aos custos, torna essa abordagem ineficiente em estudos regionais (BASTIAANSEN et al., 2000; ALVINO e MARINO, 2017; BERNARDO et al., 2019).

Nesse contexto, a presente nota científica apresenta conceitos e fundamentos elementares do sensoriamento remoto orbital (acoplados a satélites) e seu uso na modelagem aplicada ao manejo da irrigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa exploratória a respeito de aplicações do sensoriamento remoto orbital para manejo da irrigação. Foram classificados diversos satélites que provêm informação de interesse à ciência da irrigação, destacando suas limitações e potenciais dentro da capacidade espacial e temporal de cada fonte de informação. A principal fonte para essa pesquisa foram as bases disponíveis no Google Earth Engine.

## **CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO**

O manejo da irrigação é o uso de estratégias de gerenciamento de água para evitar a aplicação excessiva de água, minimizando a perda de rendimento devido à escassez de água ou estresse hídrico. Pode ser planejado com maior acurácia utilizando monitoramento de parâmetros de interesse para determinar com precisão quando e quanto irrigar (ALVINO e MARINO, 2017).

Os instrumentos de sensoriamento remoto são projetados para quantificar a reflectância de ondas eletromagnéticas dentro de faixas de comprimentos de onda do espectro eletromagnético, conhecidas como “bandas”. Os sensores costumam ser classificados de acordo com a amplitude das bandas, sendo mais comum os sensores multiespectrais (que geram imagens em bandas amplas e de interesse mais generalista, como as bandas do visível e do infravermelho) enquanto há sensores hiperespectrais (com bandas que possuem faixas mais estreitas, para estudos de reflectância mais específicos, principalmente ligados a geologia e solos. Na presente nota científica serão apresentadas aplicações e usos de imagens multiespectrais, sendo possível encontrar informações e aplicações das imagens hiperespectrais em em Formaggio, Sanches (2017), Fiorio et al. (2018) e Meneses, Almeida e Baptista (2019).

Com isso os sensores podem detectar o comportamento espectral de superfícies de acordo com a resolução espacial, ou tamanho de pixel, que é a menor área espacial captada pelo sensor. Cada pixel é caracterizado por atributos espaciais e espectrais específicos como a intensidade da reflectância ou da emitância medida por um sensor.

A interação radiação solar-vegetação acontece majoritariamente na região foliar durante o processo de fotossíntese. Dentro da região visível do espectro eletromagnético (no intervalo entre 0,4 e 0,7  $\mu\text{m}$ ) ocorre absorção da radiação incidente nas faixas do azul (com comprimento de onda central de 0,4  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,7  $\mu\text{m}$ ), enquanto na região do verde (0,55  $\mu\text{m}$ ) ocorre maior reflexão (JENSEN, 2000; FORMAGGIO, SANCHES, 2017; FIORIO et al., 2018; MENESES, ALMEIDA e BAPTISTA, 2019). Na faixa espectral do infravermelho próximo (acima de 0,7  $\mu\text{m}$ ), a reflectância é ainda maior que a do verde. Esse comportamento espectral é um padrão que flutua quantitativamente de acordo com outros fatores temporais, como o estágio de desenvolvimento da cultura, umidade do solo, irrigação e outros parâmetros agroclimáticos.

Dentre as principais limitações da utilização de imagens de satélite com reflectâncias na faixa do visível e do infravermelho uma das mais impactantes é a dificuldade em se obter imagens sem nuvens com regularidade, principalmente em regiões como o Nordeste e Amazônia, onde a nebulosidade permite durante todo o ano. Nessas regiões tem se dado maior foco em aplicações utilizando tecnologias orbitais com radar, que atravessam as nuvens e dão informação remota da superfície independente da nebulosidade no momento da passagem do satélite, entretanto essa tecnologia não será aprofundada no presente trabalho pois o foco da discussão será a aplicação de imagens de satélite e produtos derivados.

O sensoriamento remoto é capaz de fornecer medições não destrutivas, automáticas e periódicas. A maioria desses métodos pode ser calibrada e validada com dados medidos em campo, permitindo avaliar a capacidade do sensor, dentro de sua resolução espacial e temporal, de explicar e monitorar o uso da água a nível de propriedade, bacia ou região. Essas características conferem um grande potencial tanto para monitorar o estresse hídrico quanto para programar a irrigação e avaliar o desenvolvimento fenológico das culturas irrigadas.

## **MODELAGEM ESPACIAL DE PARÂMETROS AGROAMBIENTAIS**

O sensoriamento remoto é reconhecido como o meio mais viável para obter informações regionais de evapotranspiração e uso da água na agricultura. Ao ser aplicado conjuntamente com dados agrometeorológicos, torna-se um instrumento de manejo e gerenciamento da água em larga escala, tanto para agricultura dependente de chuva, como para culturas irrigadas, ou ainda, de recursos hídricos em geral. Com estas ferramentas pode-se fazer um acompanhamento dos impactos das mudanças climáticas (SNYDER, 2017) e daqueles causados pelas atividades da agropecuária intensiva sobre as condições ambientais e do consumo hídrico incremental das culturas. Sendo necessário construir séries temporais sob as mesmas condições de época (seca ou chuvosa), sob a mesma cultura e em áreas representativas para tornar os resultados generalizáveis.

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de serviço de computação intrinsecamente paralelo de alto desempenho para análise espacial em grande escala utilizando as capacidades computacionais do Google para realizar o cruzamento de dados espacializados. Permite a realiza de análises espaciais em ambiente de “nuvem” (cloud computing), agilizando as análises já que dispensa o download dos arquivos das imagens de satélite e o uso de softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

As combinações da reflectância de alvos da superfície em dois ou mais comprimentos de onda, especialmente na região do visível e infravermelho, geram medidas radiométricas adimensionais chamadas de índices de vegetação. O objetivo dos índices de vegetação (IV) é destacar uma propriedade particular da vegetação como, por exemplo, o índice de área foliar (IAF), a porcentagem de cobertura verde, o teor de clorofila, a biomassa verde e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JENSEN, 2000).

Dados de sensoriamento remoto, especialmente os de satélites em órbita polar, fornecem informações sobre superfícies vegetadas, úteis para medidas regionais e monitoramento de variáveis biofísicas que afetam os fluxos de água e energia no solo, como albedo, tipo de biomassa e índice de área foliar (IAF) e desempenham um papel crucial na compreensão da dinâmica na disponibilidade de água. Há dificuldades na distinção entre campos irrigados e áreas úmidas sem irrigação devido à sobreposição e semelhança de suas assinaturas espectrais.

Para acompanhar a dinâmica do uso da terra o mais indicado é o uso de reflectâncias obtidas de imagens de satélite multiespectrais, como o sensor MODIS (para grandes áreas e bacias hidrográficas) e o Sentinel-2 (para escala de propriedade rural) utilizando métodos de aprendizado de máquina, como árvore de decisão e redes neurais convolucionais podem ser aplicadas.. O sensor MODIS apresenta alta resolução espectral, com 36 bandas, e faixa de imageamento de 2330 km com obtenção de dados diários, porém tem baixa resolução espacial (de 250 metros na região do visível chegando a 1 km nas bandas termais) (SILVA, 2019). Este sensor foi concebido para fins de monitoramento ambiental em três diferentes campos de estudo: atmosfera, oceano e terra. Para monitoramento a cada 8 dias o produto MOD09GQ é disponibilizado sem nuvens. Já o Sentinel-2 foi projetado especificamente para monitoramento ambiental, apresentando resolução temporal de 5 dias com faixa de imageamento de 290 km e resolução espacial de 10 metros na região do visível e infravermelho próximo e de 20 a 60 metros em outras bandas (VAN DER WERFF, VAN DER MEER, 2015). O projeto MapBiomas realizou o mapeamento anual do uso da terra em todo o Brasil com imagens dos satélites Landsat-5, 7 e 8 de 1985 a 2018 (MAPBIOMAS, 2019).

O monitoramento da evapotranspiração pode ser realizada também com dados diários do sensor GLDAS (Global Land Data Assimilation System) com resolução de  $0,25^\circ$  (que na região da Linha do Equador equivale a 27 km), mesmo sensor que capta o conteúdo de água no solo (em  $\text{kg m}^{-2}$ ) nas quatro primeiras camadas de solo, 0-10 cm, 10-40 cm, 40-100cm e 100-200 cm a cada 3 horas. Também pode ser monitorada com o produto MOD16A2

(derivado do sensor MODIS) com resolução espacial de 500 metros porém acumulado por 8 dias. Também é possível realizar a sua modelagem que associam dados de imagens de satélite com dados agrometeorológicos, como o Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration – METRIC (ALLEN, TASUMI, TRESSA et al., 2005a, 2007a,b) e o Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving – SAFER (TEIXEIRA, 2010). O METRIC foi automatizado na plataforma EEFLUX (FOOLAD et al., 2019), baseada em Google Engine, onde imagens Landsat-7 e -8 são processadas e processos que originalmente eram feitos manualmente, como a escolha dos pixels quente e frio, que direcionam o balanço de energia que origina o modelo de evapotranspiração do METRIC, foi automatizada. Já o SAFER foi implementado em ambiente R no pacote “agriwater” (SILVA et al., 2019), sendo possível realizar modelagens de evapotranspiração real e balanço de energia no solo com imagens Sentinel-2, Landsat-8 e MODIS (com resoluções espaciais de 10, 30 e 250 metros, respectivamente) associadas a dados de estação agrometeorológica (temperatura média do ar, radiação solar global e evapotranspiração de referência).

O TerraClimate é uma base de dados mensais de balanço hídrico e normais climatológicas em todo o globo de 1958 a 2018. Esses dados fornecem informações importantes para estudos ecológicos e hidrológicos em escalas de bacia hidrográfica, município ou estados. Todos os dados têm resolução temporal mensal e uma resolução espacial de aproximadamente 4 km (1/24 de grau) (ABATZOGLO et al., 2018). Os dados abrangem o período de 1958 a 2018.

A produção primária de biomassa é um indicador baseado na energia capturada na fotossíntese, que é representada parcialmente pela matéria seca total por unidade de área na superfície em um intervalo de tempo. Também está associada a taxa de carbono fixada pelas plantas. Essa variável pode ser monitorada com o produto MOD17A2H. A relação entre o teor de umidade da colheita e sua temperatura pode ser explorada por dispositivos de sensoriamento remoto por ondas de radiação infravermelha, enquanto os dispositivos de infravermelhos visíveis ou próximos exploram a relação entre o conteúdo de umidade e a absorção de clorofila.

O monitoramento por sensoriamento remoto gera subsídios para o manejo racional dos recursos hídricos nas áreas de desenvolvimento agrícola em cenários de mudanças climáticas e variação no uso da terra, visando-se um melhor aproveitamento da água das chuvas e na minimização das deficiências e desperdícios da água de irrigação em perímetros irrigados com redução do impacto ambiental provocado pela lixiviação de produtos químicos para os rios.

A Tabela 1 apresenta um sumário dos produtos de sensoriamento remoto orbital abordados ao longo do trabalho que tem potencial de aplicação em manejo da irrigação em diferentes escalas, desde o nível de propriedade rural (como o Sentinel-2 e Landsat-8) a nível regional, como os demais conjuntos de dados, sendo essa escala dada principalmente pela resolução espacial.

**Tabela 1.** Características técnicas de produtos de sensoriamento remoto de interesse para manejo da irrigação em diferentes escalas espaço-temporais

Produto	Descrição	Resolução	
		Espacial (m)	Temporal (dias)
Landsat-8 <sup>1</sup>	Reflectâncias na região do visível e infravermelho para modelagem de uso da terra	30	16
Sentinel-2 <sup>2</sup>		10	3
MOD09GQ <sup>3</sup>		250	8
MapBiomass <sup>4</sup>	Mapeamento anual do uso da terra em todo o Brasil com imagens dos satélites Landsat-5, 7 e 8 de 1985 a 2018		
MOD17A2H <sup>5</sup>	Produção primária de biomassa	500	8
MOD16 <sup>6</sup>	Evapotranspiração real e potencial em termos de água (mm) e energia (MJ)	500	8
EEFLUX <sup>7</sup>	Evapotranspiração real e outros parâmetros do modelo METRIC com escolha automatizada dos pixels quente e frio com imagens Landsat-7 e -8	30	16
GLDAS <sup>8</sup>	Conteúdo de água no solo (em kg m <sup>-2</sup> ) nas quatro primeiras camadas de solo, 0-10 cm, 10-40 cm, 40-100cm e 100-200 cm.	~25000	0.125
TerraClimate <sup>9</sup>	Dados mensais de balanço hídrico e normais climatológicas em todo o globo de 1958 a 2018 .	~4 km	mensal
agriwater <sup>10</sup>	Pacote do R que modela a de evapotranspiração real e balanço de energia no solo com imagens Sentinel-2, Landsat-8 ou MODIS e dados de estação agrometeorológica	Mesmas do Sentinel-2, Landsat-8 ou MODIS	

Acesso:

1 <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat-8/>,

2 <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel/>,

3 [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS\\_006\\_MOD09GQ](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MOD09GQ),

4 <http://mapbiomas.org/>,

5 [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS\\_006\\_MOD17A2H](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MOD17A2H),

6 [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS\\_006\\_MOD16A2](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MOD16A2),

7 <http://eeflux-level1.appspot.com>,

8 [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA\\_GLDAS\\_V021\\_NOAH\\_G025\\_T3H](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_GLDAS_V021_NOAH_G025_T3H),

9 [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/IDAHO\\_EPSCOR\\_TERRACLIMATE](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/IDAHO_EPSCOR_TERRACLIMATE)

10 <https://cran.r-project.org/package=agriwater>

## CONCLUSÕES

O sensoriamento remoto permite a geração de séries espaço-temporais de variáveis essencial ao manejo da agricultura irrigada e o monitoramento de variáveis biofísicas, principalmente, onde os recursos são limitados e pouca informação in situ é acessível. Isso permite a otimização da distribuição de água, avaliação do desempenho da irrigação (por meio do desvio-padrão dos pixels de evapotranspiração), quantificação de impactos ambientais, avaliando objetivamente o uso da água de irrigação e as mudanças ocorridas com a implantação de irrigação em escala de propriedade, bacia ou região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) pela bolsa de estudos para o primeiro autor. Os autores também agradecem ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pelo apoio através do programa "Novos Talentos", que permitiu que o primeiro autor participasse do INOVAGRI Meeting 2019.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, J.T.; DOBROWSKI, S.Z.; PARKS, S.A.; HEGEWISCH, K.C. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. **Scientific Data**, 5, 170191, 2018.

ALLEN, R.G., M. TASUMI, R. TRESSA. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 395–406, 2007a.

ALLEN, R.G., M. TASUMI, R. TREZZA. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 380–394, 2007b.



ALVINO, A.; MARINO, S. Remote sensing for irrigation of horticultural crops. **Horticulturae**, v. 3, p. 40, 2017.

BASTIAANSEN, W.G.M., MOLDEN, D.J. MAKIN, I.W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural water management**, v. 46, p. 137-155, 2000.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 9 ed., 2019.

FIORIO, P. R.; COELHO, R. D.; BARROS, P. P. S.; BONILLA, M. Z.; GADY, A. P. B. Comportamento espectral de folhas da cana-de-açúcar na presença de déficit hídrico. **Irriga**. v. 23, n. 3, p. 609-621, 2018.

FOOLAD, F.; BLANKENAU, P.; KILIC, A.; ALLEN, R.G.; HUNTINGTON, J.L.; ERICKSON, T.A.; OZTURK, D.; MORTON, C.G.; ORTEGA, S.; RATCLIFFE, I.; FRANZ, T.E.; THAU, D.; MOORE, R.; GORELICK, N.; KAMBLE, B.; REVELLE, P.; TREZZA, R.; ZHAO, W.; ROBISON, C.W. Comparison of the Automatically Calibrated Google Evapotranspiration Application—EEFlux and the Manually Calibrated METRIC Application. **Preprints**, v.1, n.40, p. 2018070040, 2018.

FORMAGGIO, A. R.SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

JENSEN, J. R. Remote sensing of vegetation. In. \_\_\_\_\_. **Remote sensing of the environment, an earth resource perspective**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. cap. 10, p. 333-377.

MAPBIOMAS. **Dados atualizados, versão 3.1. set. 2019**. Disponível em <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso 18 set. 2019.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância dos materiais terrestres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SILVA, C. O. F. **Modelagem espacial da recarga das águas subterrâneas sob diferentes usos e coberturas da terra**. 2019. 225 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2019.

SILVA, C. O. F.; MANZIONE, R. L.; TEIXEIRA, A. H. C. Large-Scale Spatial Modeling of Crop Coefficient and Biomass Production in Agroecosystems in Southeast Brazil. **Horticulturae**, v. 4, n. 4, 44, 2018.

SILVA, C. O. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; MANZIONE, R. L. agriwater: An R package for spatial modelling of energy balance and actual evapotranspiration using satellite images and agrometeorological data. **Environmental Modelling & Software**, v. 120, 104497, 2019.

SNYDER, R. Climate change impacts on water use in horticulturae. **Horticulturae**, v. 3, p. 27, 2017.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M.; BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 477-490, 2009.

TEIXEIRA, A.H.C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

VAN DER WERFF, H.; VAN DER MEER, F. Sentinel-2 for Mapping Iron Absorption Feature Parameters. **Remote Sensing**. v. 7, p. 12635–12653, 2015.