



SENSORIAMENTO REMOTO DE ALTA RESOLUÇÃO NA AVALIAÇÃO DE USO DE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR: IMPLANTAÇÃO DE EXPERIMENTO E PERSPECTIVAS

Alexandre Ferreira do Nascimento¹; Valéria Peixoto Borges²; Allef de Souza Silva³; Ericka Aguiar Carneiro⁴ & Davi de C. D. Melo⁵

RESUMO – A preocupação crescente pelo uso sustentável dos recursos hídrico demanda cada vez mais conhecimento sobre o uso racional da água na agricultura, bem como sobre a dinâmica da água em solos agrícolas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um experimento de campo recentemente implantado numa área de 25 ha sob plantio de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. O experimento proposto é composto por uma torre micrometeorológica e aeronaves remotamente pilotadas (ARP). Imagens de alta resolução, obtidas com ARP, nas bandas espectrais do visível, infravermelho próximo, infravermelho termal, vermelho, verde e azul, serão aplicadas juntamente com dados meteorológicos e de umidade do solo para analisar o desenvolvimento e uso da água pela cultura na área de estudo. Espera-se, com os dados levantados, gerar e validar modelos de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração, bem como determinar e mapear o déficit hídrico de forma remota, de maneira a trazer resultados em tempo real para o adequado manejo da água para a cana-de-açúcar.

ABSTRACT – The growing concern for the sustainable use of water resources requires state-of-the-art knowledge regarding the rational use of water in agriculture, as well as on the hydrodynamics on agricultural soils. The objective of this study is to introduce a field experiment recently implemented in a 25 ha area under sugar cane planting irrigated by the dripping technique. The experiment consists of a micrometeorological tower and unmanned aerial vehicles (UAV). High resolution images, obtained via UAV, at visible, near infrared, thermal infrared, red, green and blue spectral bands, will be combined with meteorological and soil moisture data to analyze the crop development and water use in the study area. We intend to use the data to produce and validate remote sensing-based evapotranspiration models, as well as to remotely determine and map the soil water deficit, in a way that real time data may allow the proper water management for sugar cane plantings in the region.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto; ARP; déficit hídrico.

¹ Graduando em Agronomia, Bolsista do PET AGROBIO, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), fone (83) 3362-1700 e e-mail: alexandre_fdn@hotmail.com.

² Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), fone (83) 3362-1700, valeria.borges@academico.ufpb.br

³ Graduando em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), fone (83) 3362-1700 e e-mail: allef.souza@academico.ufpb.br

⁴ Mestranda em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), fone (83) 3362-1700 e e-mail: ericka27aguiar@gmail.com

⁵ Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), fone (83) 3362-1700, davi.diniz@academico.ufpb.br



1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Na safra 2020/21, foi responsável pela produção de mais de 650 milhões de toneladas. Na Paraíba (PB), em 2020/21, a área plantada se aproximou de 120 mil ha, atingindo uma produtividade superior a 52 ton/ha (CONAB, 2021). A principal região produtora de cana-de-açúcar no estado da PB é a Zona da Mata, onde as chuvas ocorrem sazonalmente, com maior incidência entre março e agosto. A distribuição pluviométrica irregular ao longo do ano proporciona longos períodos de déficit hídrico no solo e, conseqüentemente, estresse hídrico às plantas, comprometendo seu desenvolvimento na ausência de irrigação.

O uso de água pelas culturas agrícolas, com o aporte da irrigação, permite a manutenção e qualidade das safras. A agricultura é o setor da economia que mais demanda água doce, portanto, seu uso de forma racional é fundamental para a sustentabilidade econômica e ecológica do agronegócio. Logo, é necessário aprimorar técnicas de irrigação que viabilizem o atendimento da demanda hídrica das culturas com máxima eficiência, bem como quantificar precisamente tal demanda, de maneira a reduzir o desperdício dos recursos hídricos.

O monitoramento dos processos hidrológicos são fundamentais para o gerenciamento hidroagrícola. Até meados do século XX, esse monitoramento se restringia a medições pontuais, limitando o entendimento dos processos em larga escala. O monitoramento hidroagrícola nas grandes áreas cultivadas é facilitado pelos produtos de sensoriamento remoto, os quais possibilitam a estimativa de diversas variáveis relevantes na hidrosfera e litosfera (e.g. precipitação, evaporação, umidade do solo). A partir de levantamentos aéreos, é possível avaliar espacial e temporalmente os parâmetros biofísicos das plantas e assim identificar áreas com maior expectativa de produção e aquelas onde é preciso corrigir algo para alcançar o resultado desejado (DE LA CASA, 2018).

As aeronaves remotamente tripuladas (ARP) se apresentam como importantes ferramentas para quantificar processos hidrológicos e realizar o manejo de grandes culturas. As ARP vêm sendo utilizadas com diversas finalidades (e.g. avaliação de déficit hídrico, monitoramento ambiental, planejamento da irrigação, estimativa da evaporação). No entanto, os estudos em áreas de cultivo de cana-de-açúcar são reduzidos e concentrados no sudeste do país.

A pesquisa aqui apresentada tem por objetivo contribuir para o avanço da irrigação de precisão e no entendimento da dinâmica da água no solo a partir do ARP de alta resolução, mediante a quantificação parâmetros biofísicos e o uso da cultura da cana de açúcar, na Zona da Mata Paraibana.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na bacia do rio Miriri, Município de Rio Tinto - PB (região da Zona da Mata Paraibana), numa área destinada a produção de açúcar e etanol (Fig. 1). A precipitação acumulada anual varia entre 1200 e 1700 mm, com período úmido compreendido entre março a agosto; setembro é considerado o mês mais seco e, no restante do ano, as chuvas ocorridas são de forma isolada (Francisco e Santos, 2017).

O local do experimento foi escolhido estrategicamente, sendo este composto por três talhões de cana-de-açúcar onde o proprietário aplica diferentes lâminas mensais de irrigação, por gotejamento, com objetivo de definir a melhor relação mínima lâmina vs. máxima produtividade (Fig. 2).

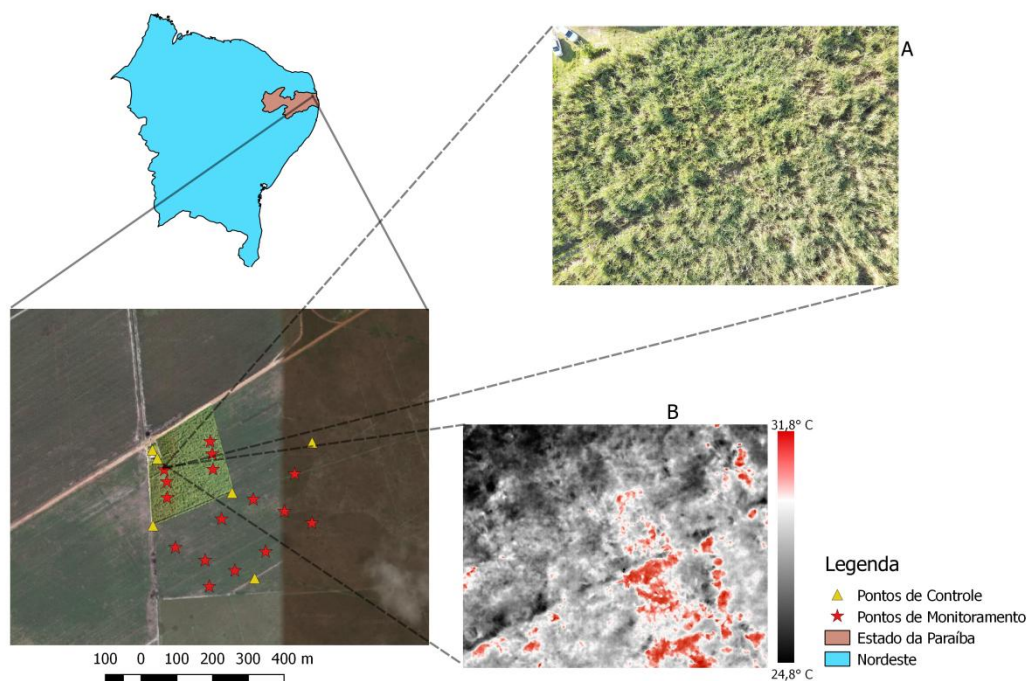


Figura 1: Localização da área de estudo com destaque para fotogrametria com resolução de 2,7 cm / px (A) e 8,5 cm / px (B).

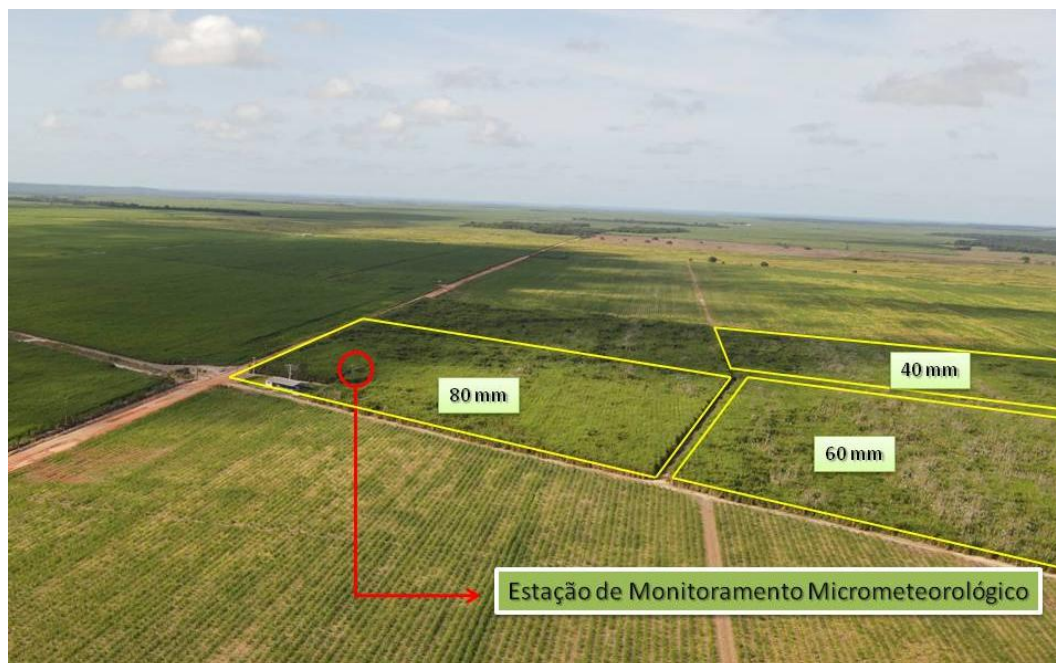


Figura 2 – Localização da torre de monitoramento e delimitação dos talhões de cana-de-açúcar nos quais são aplicadas três lâminas de irrigação por gotejamento (40, 60 e 80 mm/mês).

Para obtenção dos dados necessários à pesquisa foi instalada uma estação de monitoramento micrometeorológico com os seguintes instrumentos:

- Saldo radiômetro (Kipp & Zonen NR-LITE2-L): sensor que computa o balanço entre a radiação solar global incidente e refletida e os fluxos de radiação termal da atmosfera e da superfície, isto é, o saldo de radiação (R_n);
- Termopar ultrafino (Campbell FW3): sensor para medir temperatura do ar em alta frequência (10 Hz), visando a determinação do fluxo de calor sensível (H);
- Anemômetro sônico (RM Young 81000): sensor que mede as três componentes da velocidade do vento em alta frequência (10 Hz), para aplicações em estudos de turbulência atmosférica;
- 2 Placas de fluxo de calor (Hukseflux HFP01): medição de fluxo de calor no solo, sendo uma posicionada na linha e outra na entrelinha do cultivo;
- Termohigrômetro (Vaisala HMP45): sonda de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR). As faixas de medição da sonda são $0 \leq UR \leq 100\%$ e $-40^\circ \leq T \leq +60^\circ\text{C}$. Esta sonda é adequada para monitoramento de longo prazo, sem vigilância (Campbell, 2022);



- Pluviógrafo (Texas Electronics TR-525): medidor de chuva (P) estilo balança que mede a precipitação líquida (Texas Electronics, 2022) com resolução de 0,1 mm.
- Sensores de temperatura do solo (Campbell T109 e T107): sondas medidoras da temperatura do ar, do solo ou da água para uma variedade de aplicações (Campbell, 2022), neste projeto serão usadas para medir a temperatura do solo;
- Sensores de umidade do solo (Campbell CS 615 e CS616): medem o teor de água volumétrica do meio porosa usando métodos da reflectometria no domínio de tempo.

Os sensores da estação micrometeorológica estarão programados para leituras contínuas com frequência de medição variando desde 10 Hz (anemômetro e termopar ultrafino) até 1 minuto (demais sensores) e registro, a cada 30 min, do total acumulado (no caso do pluviógrafo) ou das médias dos dados das demais variáveis. Os dados são armazenados em dois dataloggers (CR1000 e CR1000x) e coletados quinzenalmente. Além dos sensores fixos acima, serão tomadas medidas dos seguintes instrumentos portáteis:

- Sensor de umidade do solo (Diviner 2000): Sonda que mede a água em várias profundidades utilizando tubos de acesso a intervalos de 10 cm através do perfil do solo (Sentek, 2022);
- Sensor quântico em linha (Apogee MQ-301X Line Quantum): O sensor mede uma média espacial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). O MQ-301X tem uma barra de sensores separada com seis sensores conectados a um medidor portátil via cabo.

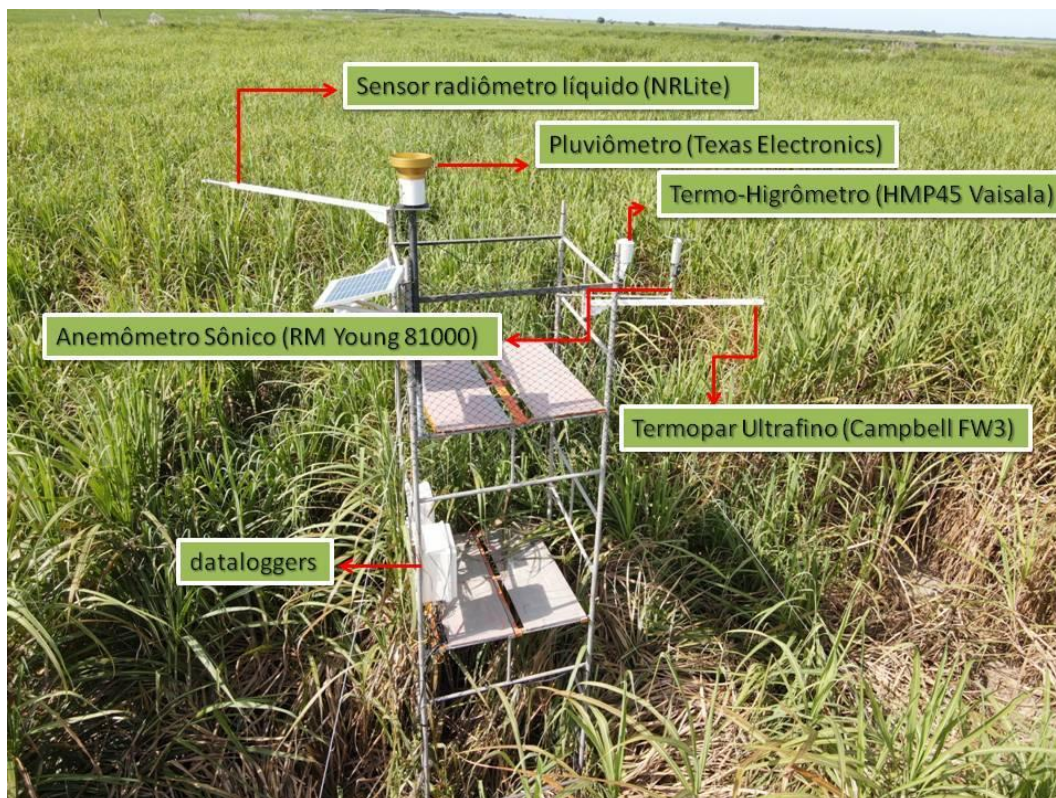


Figura 2: Sensores da estação de monitoramento micrometeorológico.

Tais medidas serão empregadas para determinar a evapotranspiração (ET), e avaliar a disponibilidade de água no solo. A ET da cultura será determinada pelo método Surface Renewal (Renovação do Ar na Superfície), que foi proposto por Paw-U et al. (1995) e Snyder et al. (1996) para estimativas do fluxo de calor sensível em superfícies vegetadas, já sido validado em diversas superfícies (Pozníková et al., 2018; Suvočarev et al., 2019). Para tanto, são necessárias medidas de temperatura do ar em alta frequência. Neste trabalho, serão tomadas medidas em 10 Hz com um termopar ultrafino tipo E (cromel-constantan) com diâmetro de 0,08 mm. Os valores de temperatura do ar medidos em alta frequência mostram padrões tipo “rampas”, oriundos de movimentos turbulentos de troca das parcelas de ar sobre a superfície. Estas chamadas “estruturas turbulentas coerentes” se comportam da seguinte maneira: uma parcela de ar vem de cima e entra em contato com a superfície, havendo transferência de energia, que leva ao aquecimento ($H > 0$) ou resfriamento ($H < 0$) do ar. Imediatamente em seguida esta parcela é ejetada da superfície e substituída por outra, ocorrendo a renovação do ar. Aplicando a teoria de estruturas de Van Atta (1977), é possível definir as características das “rampas” de renovação do ar e calcular o fluxo de calor sensível.

Para proporcionar a calibração do método à superfície desejada, utiliza-se um anemômetro sônico para determinar H de forma independente, pelo método Eddy Covariance. Uma vez calibrado, os valores de H , juntamente com as medidas de G e R_n são aplicados para determinar o fluxo de calor latente (LE), como resíduo da equação de balanço de energia:

$$R_n = LE + H + G$$

O fluxo de calor latente, por fim, é utilizado para determinar a lâmina de água evapotranspirada pela cultura.

Para aquisição de imagens aéreas, serão utilizados três ARPs (nomeados de P4Multi, P4Map, M2EA), portando câmeras RGB (vermelho - R, verde - G e azul - B), uma câmera multiespectral (P4Multi), uma câmera termal (M2EA) e uma câmera RGN (P4Map). Ambos os sensores podem gerar imagens com resolução espacial inferior a 50 cm, o que possibilita análise detalhada do cultivo, bem como a geração de mapas de temperatura da superfície e índices de vegetação com altíssima resolução espacial. Os voos serão realizados quinzenalmente, cobrindo a parcela experimental na qual a estação micrometeorológica está instalada e as demais parcelas às quais são aplicadas lâminas mensais de irrigação de 80 mm, 60 mm e 40 mm.

- DJI M2EA – é um ARP compacta e muito versátil que entrega desempenho e ótima resolução de imagem. Com câmeras duplas RGB e Termal (visual e termográfica) de alta resolução, no mesmo voo pode se fazer fotogrametria e fotografia termal não necessitando de instalação de adaptação para alocação de câmera termal e podendo ser analisada as fotografias separadamente. podendo obter diferentes informações sobre a cultura, tal como o estresse hídrico;
- DJI P4Multi e P4Map: são ARPs robusto que possui alta precisão de navegação, grande estabilidade de voo, tem grande resistência a vento, sendo ideal para região de litoral e tem boa adaptação com vários tipos de câmeras, são exemplos: câmera com sensor RGB, é o mais utilizado na área de captação de imagens e está presente na maioria dos ARPs vendidos no mercado (Lima,2020), câmera multiespectral que possuem filtros de alta qualidade que capta diferentes bandas infravermelhas com largura estreita interagindo com a luminosidade gerada pelas plantas, podendo fazer análise da variabilidade temporal utilizando Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), câmera MAPIR com

filtro RGN utilizando filtro para que o comprimento de onda no azul é bloqueado, permitindo somente a entrada da luz infravermelha e sendo substituída na banda (azul - B), fazendo com que permita apenas o sistema de cores (vermelho - R, verde - G) alcance o sensor da câmera.

3 - RESULTADOS ESPERADOS

Propõe-se empregar algoritmos originalmente desenvolvidos para estimar ET a partir de dados de satélites, utilizar imagens geradas a partir de ARP com sensor termal para estimar a umidade na camada superficial do solo e temperatura foliar. Tais informações poderiam ser empregadas com diversas finalidades, tais como o manejo agrícola e melhoria do balanço hídrico. De maneira especial, espera-se que o monitoramento da umidade do solo por ARP possa ser útil para detectar e mapear déficits hídricos significativos no solo quase que em tempo real.

Estimar índice de área foliar (IAF) a partir de imagens RGB. Os métodos indiretos para estimativa de IAF a partir do sensoriamento remoto geralmente dependem de sensores multi e hiperespectrais, limitando a utilização no sensoriados remotamente por ARP. Espera-se, portanto, gerar estimativas de IAF utilizando câmeras comercialmente mais acessíveis.

Propõe-se utilizar o ARP como ferramenta de interligação entre dados de satélite e de campo. Para diversas aplicações, a resolução espaço-temporal dos produtos do Sensoriamento Remoto a partir de Satélites é insuficiente. Apesar de o monitoramento em terra poder possuir altíssima resolução temporal, a representatividade espacial das medições é bastante limitada, devido à heterogeneidade do meio. O drone tem o potencial de contornar tais limitações, fornecendo as medições na escala espaço-temporal desejável ou fornecendo meios para refinar dados de sensoriamento remoto por satélite ou extrapolar dados de campo.

4 - CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou um estudo experimental pioneiro na Paraíba, no qual serão combinadas medidas micrometeorológicas e dados obtidos por sensoriamento remoto suborbital com o intuito de investigar a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Através de resultados obtidos em campo será possível validar modelos de estimativa de ET alimentados por dados imageados a partir de ARPs. Espera-se também gerar e validar um modelo de estimativa da ET, de fácil aplicabilidade, com índice de vegetação e temperatura da superfície cultivada, estimar o



conteúdo de água no solo a partir de ARP utilizando sensor termal e obter indicadores de déficit hídrico em curtíssimo prazo.

5 - REFERÊNCIA

CAMPBELL SCIENTIFIC BRASIL. (2022). *linha de produtos*.
<https://www.campbellsci.com.br/products>.

CONAB. (2022). *Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar*.
https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/39836_dace9b05e78210b93d898b3ff45f19c8.

DE MELO, A. L. L.; FERREIRA, M. E. *Calibração de câmera digital modificada para geração de índice de vegetação por diferença normalizada com utilização de rpas*. Anais do XIX Simposio brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, abr. 2019, pp. 3461-3464

DJI. (2022). *Mavic 2 Enterprise Advanced*. <https://www.dji.com/br/mavic-2-enterprise-advanced>.

FRANCISCO, P. R. M.; DJAIL, S. *Climatologia do Estado da Paraíba*. EDUFPG, Campina Grande – PB, 2017

HUKSEFLUX BRASIL. (2022). Sensor de Fluxo de Calor. <https://huksefluxbrasil.com.br/sensor-fluxo-de-calor#:~:text=A%20Hukseflux%20desenvolveu%20para%20seus,voc%C3%AA%20ter%C3%A1%20o%20fluxo%20radiativo>.

Kalma, J.D., McVicar, T.R., McCabe, M.F. (2008). *Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data*. *Surv Geophys* 29, 421–469.

Kidd, C., Huffman, G. (2011). *Global precipitation measurement*. *Meteorological Applications* 18, 334–353.

Lima, D. C. D. (2020). *Métodos para estimativa de imagens NIR a partir de imagens de câmeras RGB*. Tese de doutorado. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12450>.

Lovato, J. G. L. (2021). *Identificação de áreas de renovação da cultura da cana-de-açúcar por meio de índice de vegetação e técnicas de sensoriamento remoto*. Trabalho de conclusão de curso.

Njoku, E.G., Entekhabi, D. (1996). *Passive microwave remote sensing of soil moisture*. *Journal of Hydrology, Soil Moisture Theories and Observations* 184, 101–129.



PAW U, K.T.; QIU, J.; SU, H.B.; WATANABE, T.; BRUNET, Y. (1995). *Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes*. Agricultural and Forest Meteorology, v. 74, n. 2, p. 119-137.

Pozníková, G., Fischer, M., van Kesteren, B., Orság, M., Hlavinka, P., Žalud, Z., Trnka, M. (2018). *Quantifying turbulent energy fluxes and evapotranspiration in agricultural field conditions: A comparison of micrometeorological methods*. Agricultural Water Management 209, 249–263. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.041>.

SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. (2015). *Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.1, p.9–14.

SENTEK. (2022). *Sondas de dados do solo*. <https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/>.

SNYDER, R.L.; SPANO, D.; PAW U, K.T. (1996). *Surface renewal analysis of sensible and latent heat flux density*. Boundary Layer Meteorology, v. 77, p. 249-266.

Suvočarev, K., Castellví, F., Reba, M.L., Runkle, B.R.K. (2019). *Surface renewal measurements of H, λE and CO2 fluxes over two different agricultural systems*. Agricultural and Forest Meteorology 279, 107763. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107763>.

TEXAS ELECTRONICS. (2022). *produtos*. <https://texaselectronics.com/products/>.

VAN ATTA, C.W. (1977). *Effect of coherent structures on structure functions of temperature in the atmospheric boundary layer*. Archives of Mechanics, v. 29, p. 161-171.

Young. (2022). *Sensores e acessórios de vento*. <https://www.youngusa.com/product-category/wind-sensors-accessories/>.