

## **USO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS E TERMOGRÁFICAS PARA MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**JANE MARIA DE CARVALHO SILVEIRA<sup>1</sup>; BERNARDO MOREIRA CÂNDIDO<sup>2</sup>;  
ANDRÉ LUIZ BARROS DE OLIVEIRA SILVA<sup>3</sup>; GLÁUCIA CRISTINA PAVÃO<sup>4</sup>;  
MAURO ALEXANDRE XAVIER<sup>5</sup> E REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisador Doutor, Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC, Avenida Doutor Theodureto de Almeida Camargo, 1.500, Caixa Postal 28, CEP 13012-970, Campinas, SP, Brasil, jane.silveira@sp.gov.br

<sup>2</sup> Pesquisador Doutor, Centro de Solos e Recursos Ambientais, IAC, Avenida Barão de Itapura, 1.481, Botafogo, CEP 13020-902, Campinas, SP, Brasil, b.candido@iac.sp.gov.br

<sup>3</sup> Doutor, Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC, Avenida Doutor Theodureto de Almeida Camargo, 1.500, Caixa Postal 28, CEP 13012-970, Campinas, SP, Brasil, andre Luiz.biologia@gmail.com

<sup>4</sup> Doutoranda, Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC, Avenida Doutor Theodureto de Almeida Camargo, 1.500, Caixa Postal 28, CEP 13012-970, Campinas, SP, Brasil, glauciapavao@gmail.com

<sup>5</sup> Pesquisador Doutor, Centro de Cana, IAC, Rodovia Antônio Duarte Nogueira, km 321 (Anel Viário Contorno Sul) Caixa Postal 206 - CEP 14.001-97, Ribeirão Preto, SP, Brasil, mxavier@iac.sp.gov.br

<sup>6</sup> Pesquisador Doutor, Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC, Avenida Doutor Theodureto de Almeida Camargo, 1.500, Caixa Postal 28, CEP 13012-970, Campinas, SP, Brasil, regina.pires@sp.gov.br

### **1 RESUMO**

Dentre as principais cadeias produtivas do estado de São Paulo destaca-se a cana-de-açúcar, com cultivo de áreas extensas e importância econômica para produção de açúcar, etanol e bioenergia. Uma das técnicas que permeia os cultivos de cana-de-açúcar em grandes áreas e pode contribuir para maiores produtividades e qualidade da produção é a irrigação. Logo, torna-se fundamental conhecer os diferentes manejos de irrigação que podem ser aplicados em áreas extensas visando o uso eficiente da água e considerando o estado hídrico e o desenvolvimento das plantas. Neste sentido, o sensoriamento remoto trouxe benefícios para o cultivo da cana-de-açúcar com estudos de estimativa de biomassa, crescimento e vigor de plantas, mas poucos estudos mostraram resultados sobre monitoramento do estado hídrico da planta visando possibilidades de manejo da irrigação considerando o déficit hídrico das plantas. O objetivo deste estudo foi avaliar alternativas para monitoramento do estado hídrico da cana-de-açúcar com uso de câmeras termográficas e multiespectral acopladas em veículo aéreo não tripulável (VANT). As avaliações permitiram registrar diferenças entre os tratamentos irrigados quando comparados aos tratamentos sem irrigação nas duas câmeras utilizadas. As imagens termográficas tem potencial para avaliação do estado hídrico de plantas de cana-de-açúcar de modo rápido, não destrutivo e eficiente.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, irrigação, estresse hídrico, RPA

**SILVEIRA, J. M. C.; CÂNDIDO, B. M.; SILVA, A. L. B. O.; PAVÃO, G. C.; XAVIER,  
M. A. E PIRES, R. C. M.  
MULTISPECTRAL AND THERMOGRAPHIC IMAGES FOR MONITORING THE  
WATER CONDITIONS OF SUGARCANE**

## 2 ABSTRACT

Among the main production chains in the state of São Paulo, sugarcane stands out, with the cultivation of extensive areas and economic importance for sugar, ethanol and bioenergy production. One of the techniques that permeate sugarcane crops in large areas and can contribute to higher productivity and production quality is irrigation. Therefore, it is essential to know the different irrigation management that can be applied in extensive areas aimed at the efficient use of water and considering the water status and plant development. In this sense, remote sensing brought benefits for sugarcane cultivation with studies of biomass estimation, plant growth and vigor, but few studies have shown results on monitoring the water status of the plant aiming at irrigation management possibilities considering the water deficit of plants. In this context, this study evaluated alternatives for monitoring the water status of sugarcane with the use of thermographic and multispectral cameras embedded in an unmanned aerial vehicle. The evaluations allowed recording differences between irrigated treatments compared to treatments without irrigation in the two cameras used. Thermographic images can evaluate the water status of sugarcane plants quickly, nondestructively and efficiently.

**Keywords:** remote sensing, irrigation, water stress, UAV

## 3 INTRODUÇÃO

A área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil é de cerca de 10 milhões de hectares com produtividade média de 76,1 t ha<sup>-1</sup>, sendo o estado de São Paulo responsável por 51% da produção brasileira (CANA-DE-AÇÚCAR, 2020). As tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas na agricultura têm permitido o monitoramento e o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal das lavouras em tempo real (SHIRATSUCHI et al., 2014).

Segundo Grego et al. (2014), o potencial de adoção da ferramenta de agricultura de precisão na cana-de-açúcar vai além de contribuir com a melhoria da qualidade e redução de custo da produção, apresenta também oportunidade de utilização como uma ferramenta de otimização de manejo, minimização de custos operacionais e adequação ambiental. Segundo Blatchford et al. (2019), os padrões de precisão para conjuntos de dados de sensoriamento remoto não foram estabelecidos especificamente para

aplicações na agricultura e salientam que a precisão do conjunto de dados de sensoriamento remoto que deve ser elevada para que os índices obtidos possibilitem melhorar o manejo do sistema agrícola e auxiliar na tomada de decisões.

Diversos autores citam as aplicações do sensoriamento remoto com destaque para: estimativa da biomassa e produtividade da cultura; o monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas e avaliação do estágio fenológico (BELLVERT et al., 2016; HOLMAN et al., 2016). Conforme estudos desenvolvidos por Bellvert et al. (2016), o advento de tecnologias modernas de sensoriamento remoto ofereceu possibilidade de desenvolver indicadores derivados da temperatura de imagens térmicas aerotransportadas e mapear a variabilidade espacial do estado da água. Segundo Khanal, Fulton e Shearer (2017), o sensoriamento remoto quando utiliza imagens de satélites é lento na diferenciação dos níveis de estresse em plantações até que os sintomas visuais se tornem perceptíveis uma vez que utiliza a

luz visível e regiões do infravermelho do espectro eletromagnético. Os autores relatam que a temperatura da superfície do alvo é considerada uma variável de resposta rápida podendo indicar as condições reais das plantas antes de seus sintomas visuais, portanto, uma ferramenta promissora na agricultura de precisão.

A respeito da temperatura foliar, as considerações sobre o balanço de energia apresentados por Taiz e Zeiger (2017) mostram que se a transpiração decresce, mas o balanço de radiação e a característica do vento se mantêm os mesmos, assim, o decréscimo da troca de calor latente resultará em aumento da temperatura da folha. Como a evaporação da água é um processo que demanda energia, aumentar as taxas de evapotranspiração diminui a temperatura da superfície ( $T_s$ ) das folhas e plantas (MAES; STEPPE, 2012). Com isso, a temperatura da folhagem ou do dossel pode ser utilizada como indicador de estresse hídrico, como indicação de deficiência hídrica, principalmente para fins de manejo de áreas irrigadas e para avaliação do monitoramento do déficit hídrico (GONZALEZ-DUGO; ZARCO-TEJADA; FERERES, 2014). O uso de imagens multiespectrais e índices de vegetação são comumente usados na agricultura, já sensores termográficos ainda tem uso limitado a pesquisa científica, principalmente pelo custo de aquisição (JORGE; BRANDÃO; INAMASU, 2014).

Neste contexto, o presente estudo objetivou comparar mapas gerados por câmera multiespectral e mapas gerados por câmera termográfica, em distintos voos, acopladas em VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado) em área experimental de cana-de-açúcar.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área experimental do Centro Avançado de

Pesquisa de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas localizado em Ribeirão Preto, localizada nas coordenadas geográficas 21°12'33" S, 47°52'27" O e 631 m de altitude.

As avaliações foram realizadas com a cultivar IACSP95-5094 na primeira soca. O experimento contou com duas parcelas, sendo uma parcela irrigada e outra não-irrigada (sequeiro). Na área irrigada a água é aplicada por gotejamento superficial com uma linha de tubogotejadores por linha de plantio. O manejo da água foi realizado com aplicação de 50% da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), caracterizada como uma irrigação deficitária. A  $ET_c$  foi estimada pela multiplicação da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ), sendo a evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith, conforme Allen et al., (1998). Os dados de clima foram obtidos de estação meteorológica automática, instalada em local próximo à área experimental.

Para obtenção das imagens, utilizou-se o VANT de asa fixa da marca SenseFly, modelo eBee X, onde foram acopladas, em voos distintos, câmera multiespectral (modelo Parrot Sequoia+) e termográfica (modelo Duet T). Os voos foram realizados nos meses de agosto e outubro de 2020. A aquisição de imagens termais foi feita em dois horários: 12h e 15h, enquanto a multiespectral em apenas um horário no período da tarde.

O planejamento e execução do plano de voo foi feito com o software eMotion, que permite controlar remotamente a aeronave durante a captação das imagens aéreas. O voo foi acompanhado em solo, mantendo sempre o contato visual com a aeronave. O plano de voo foi determinado para que houvesse sobreposição longitudinal e lateral superior a 80% para as câmeras termal e multiespectral (BOESCH, 2017; TMUŠIĆ et al., 2020). O voo foi executado a 30 m de altura com a câmera

térmica e 45 m com a multiespectral, resultando GSD (*ground sample distance*) de 4 cm por pixel em ambos levantamentos.

As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo software Pix4Dmapper. A partir dos arquivos gerados na etapa de processamento dos dados foram obtidos os mapas com imagem espectral da área experimental apresentando o índice de vegetação da diferença normalizada, NDVI, determinado conforme a equação 1 (DEERING et al., 1975). Também foi obtido o mapa com as temperaturas registradas pelo processamento da imagem termográfica.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Em que:

NIR - reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo

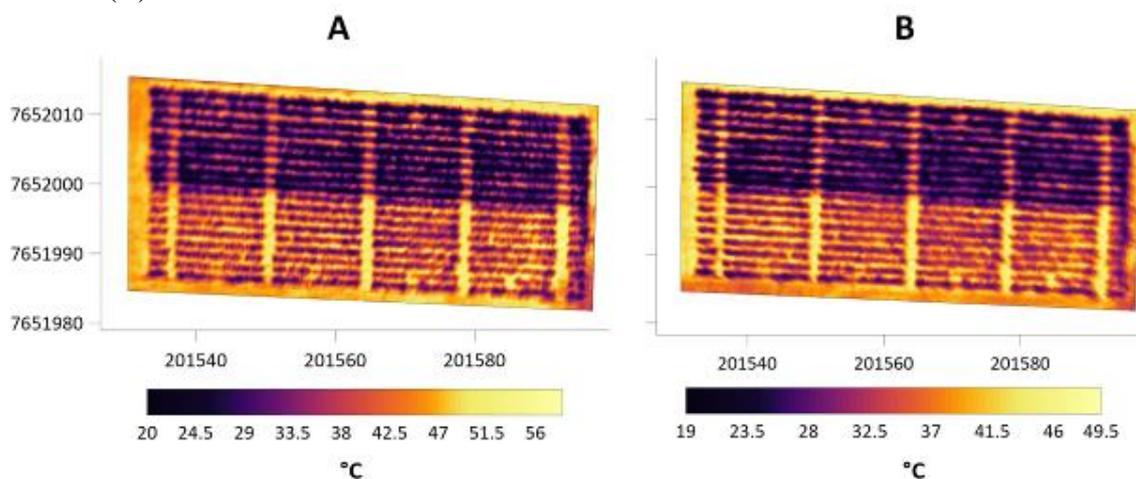
RED - reflectância na faixa espectral do vermelho.

Os mapas gerados foram utilizados para avaliação do estado hídrico das plantas de acordo com as parcelas experimentais.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens termográfica e multiespectral obtidas na área experimental podem ser observadas nas Figuras 1, 2 e 3. É possível notar a diferença entre a área irrigada, com cores mais fortes e escuras observadas em toda parte superior das figuras, da área não irrigada na parte inferior da imagem.

**Figura 1.** Temperaturas (°C) obtidas com câmera termográfica em voos realizados na área experimental no dia 06 de agosto de 2020 com VANT ao meio-dia (A) e às 15h (B).



Observa-se pela Figura 1, que a temperatura foi menor na área irrigada variando na faixa de 22 até 37 graus e na área não irrigada as temperaturas foram superiores a 37°C. Ao meio-dia foram registradas as maiores temperaturas tanto na área irrigada quanto na área não irrigada. Nos dois voos realizados neste dia 06 de

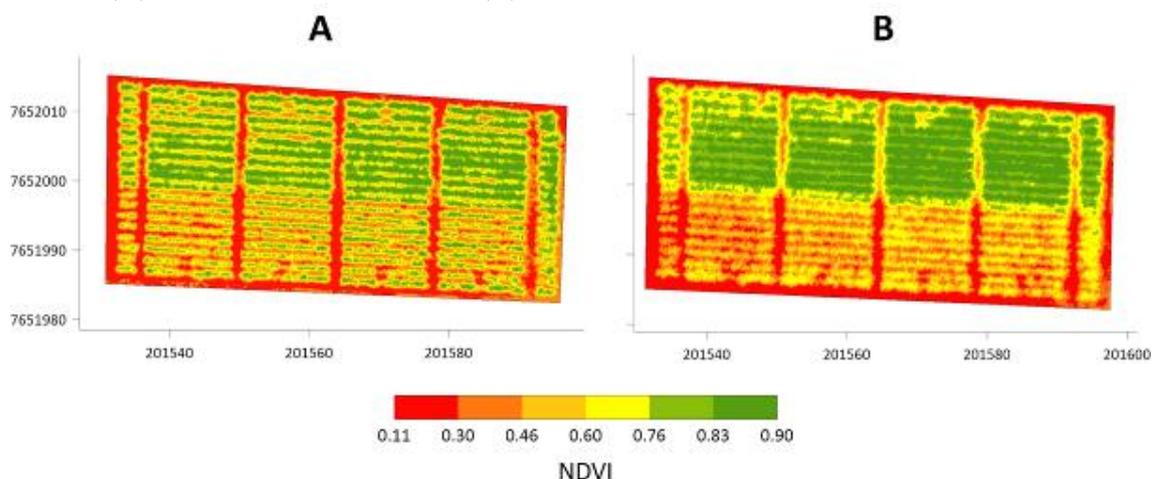
agosto, é notável a diferença de temperatura da área irrigada para a área não irrigada.

Bellvert et al. (2016) mostraram que indicadores derivados da temperatura, obtida a partir de imagens térmicas, podem mapear a variabilidade espacial do estado da água nas plantas, o que foi confirmado no presente estudo. Os autores utilizaram o índice de estresse hídrico da cultura (CWSI

- Crop Water Stress Index) estimado remotamente usando imagens térmicas de alta resolução adquiridas de uma plataforma aérea e relacionaram ao potencial da água na folha ( $\Psi_L$ ) em pomares ao longo do

crescimento das plantas. Pretende-se, em trabalhos futuros, apresentar correlações como estas, utilizando dados da imagem termal com dados de monitoramento de irrigação obtidos nas parcelas.

**Figura 2.** Índices de vegetação (NDVI) da área experimental nos dias 06 de agosto de 2020 (A) e 01 de outubro de 2020 (B).

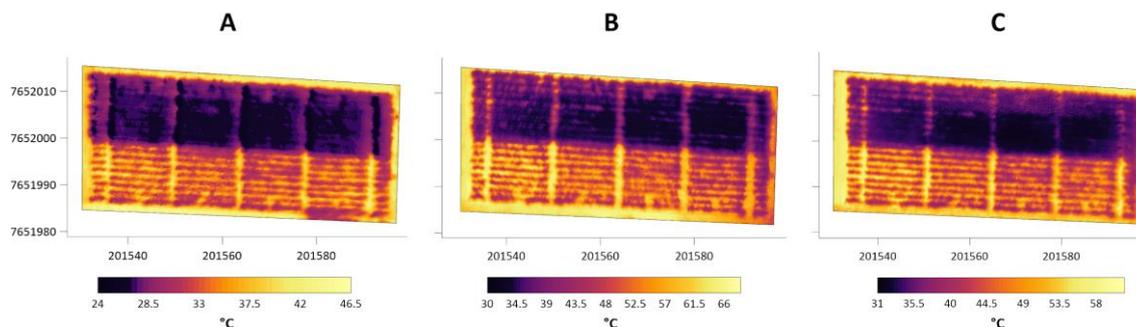


Observa-se na Figura 2, a variação espacial do índice de vegetação (NDVI) das parcelas com irrigação quando comparadas às parcelas sem irrigação. Os maiores índices de vegetação ocorreram na área irrigada com valores superiores a 0,65 em agosto e superiores a 0,76 em outubro, indicativo de maior vigor das plantas e maior cobertura de solo. Ao contrário, as parcelas não irrigadas apresentaram um decréscimo de valores de NDVI em outubro, podendo estar relacionado a um período com poucas chuvas entre agosto e

outubro de 2020, indicando que as plantas aumentaram o déficit hídrico.

Grego et al. (2019), utilizando imagens do satélite Sentinel 2D, obtiveram valores de NDVI em área de cana-de-açúcar maiores do que 0,76 e um valor de 0,35 logo após a colheita. A literatura é rica em dados de NDVI para cana-de-açúcar obtidos a partir de imagens de satélites ou com câmera multiespectral em tratores. Entretanto, poucos estudos apresentam valores de NDVI obtidos com câmeras multiespectrais acopladas em VANT da forma como foi realizado neste estudo.

**Figura 3.** Temperaturas obtidas com câmera termográfica em voos realizados na área experimental no dia 01 de outubro de 2020 com VANT às 7h (A), meio-dia (B) e 15h (C).



Pela Figura 3, observa-se o comportamento e a variação da temperatura ao longo do dia nos voos realizados no mês de outubro. As maiores temperaturas foram registradas ao meio-dia conforme esperado. Independente do horário de voo, ficou ainda mais nítido nestas imagens a separação das parcelas irrigadas das não irrigadas. Comparando as imagens termais obtidas em agosto com as de outubro, percebe-se maior homogeneidade dos dados de temperatura na área irrigada no mês de outubro, podendo ser indicativo de crescimento mais homogêneo da cana-de-açúcar nas parcelas irrigadas e até mesmo inferir boa uniformidade de irrigação. Por sua vez, a área não irrigada apresenta as maiores temperaturas e com menor uniformidade das parcelas não irrigadas.

## 6 CONCLUSÕES

Tanto a câmera termal como a multiespectral apresentaram diferenças dos tratamentos irrigados quando comparado aos sem irrigação. As imagens termográficas têm potencial de uso para avaliação do estado hídrico de plantas, de modo rápido, não destrutivo e eficiente, podendo expressar alterações do estado hídrico mais precocemente do que os dados de NDVI obtidos por imagens multiespectrais.

## 7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelos auxílios recebidos 2017/50338-9; 2018/26366-5.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BELLVERT, J.; MARSAL, J.; GIRONA, J.; GONZALEZ-DUGO, V.; FERERES, E.; USTIN, S. L.; ZARCO-TEJADA, P. J. Airborne Thermal Imagery to Detect the Seasonal Evolution of Crop Water Status in Peach, Nectarine and Saturn Peach Orchards. **Remote Sensing**, Basel, v. 8, n. 39, p. 1-17, 2016. DOI: 10.3390/rs8010039. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/1/39>. Acesso em: 22 out 2020.
- BLATCHFORD, M. L.; MANNAERTS, C. M.; ZENG, Y.; NOURI, H.; KARIMI, P. Status of accuracy in remotely sensed and in-situ agricultural water productivity estimates: A review. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 234, n. 1, p. 111413, 2019.

BOESCH, R. Thermal remote sensing with UAV-based workflows. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Bonn, v. XLII-2/W6, p. 42-41, set. 2017.

CANA-DE-AÇÚCAR. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de açúcar**, Brasília, DF, v. 7, n. 3, p. 12-17, dez. 2020. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/34870\\_e1c52a336b53ca05c29824831da3c9e9](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/34870_e1c52a336b53ca05c29824831da3c9e9). Acesso em: 13 out. 2020.

DEERING, D. W.; ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTING SENSING OF ENVIRONMENT, 10., 1975, Ann Arbor. **Proceedings** [...]. Ann Arbor: ERIM, 1975. v. 2, p. 1169-1178.

GONZALEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J.; FERERES, E. Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 198-199, n. 12, p. 94-104, nov/dez 2014.

GREGO, C. R.; ARAÚJO, L. S.; VICENTE, L. E.; NOGUEIRA, S. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; VICENTE, A. K.; BRANCALÃO, S. R.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Agricultura de precisão em cana-de-açúcar. *In*: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

GREGO, C. R.; SPERANZA, E.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F. Definição de zonas de manejo em cana-de-açúcar usando séries temporais de NDVI derivados do satélite Sentinel-2a. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2019. p. 1-3. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/definicao-de-zonas-de-manejo-em-cana-de-acucar-usando-series-temporais-de-ndvi-derivados-do-satelite-sentinel-2a>. Acesso em: 23 out. 2020.

HOLMAN, F. H.; RICHE, A. B.; MICHALSKI, A.; CASTLE, M.; WOOSTER, M. J.; HAWKESFORD, M. J. High Throughput Field Phenotyping of Wheat Plant Height and Growth Rate in Field Plot Trials Using UAV Based. **Remote Sensing**, Basel, v. 8, n. 12, p. 1031-1055, 2016.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. **SPIE Remote Sensing**, Madri, v. 9239, n. 16, p. 923911-18, 2014.

KHANAL, S.; FULTON, J.; SHEARER, S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 139, n. 8, p. 22-32, jun. 2017.

MAES, W. H.; STEPPE, K. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. **Journal of Experimental Botany**, Londres, v. 63, n. 13, p. 4671-4712, ago. 2012.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. *In*: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TMUŠIĆ, G.; MANFREDA, S.; AASEN, H.; JAMES, M. R.; GONÇALVES, G.; BENDOR, E.; BROOK, A.; POLINOVA, M.; ARRANZ, J. J.; MÉSZÁROS, J.; ZHUANG, R.; JOHANSEN, K.; MALBETEAU, Y.; LIMA, I. P.; DAVIDS, C.; HERBAN, S.; MCCABE, M. F. Current Practices in UAS-based Environmental Monitoring. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 6, p. 1001-1035, 2020.