

IMAGENS MULTIESPECTRAIS DE SATÉLITES NO ESTUDO DO CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM AMBIENTES HÍDRICOS CONTRASTANTES

Glauber José de Castro Gava¹, Adolfo Bergamo Arlanch² Jose Izquierdo Hernandez³ Bruno
Marcos Nunes Cosmo⁴ Augusto Bergamo Arlanch⁵ Sergio Salgado García⁶

¹ Prof. Dr. Instituto Agronômico de Campinas (IAC) – Jaú, ggava@iac.sp.gov.br

² Doutorando em Irrigação e Drenagem, UNESP – FCA (Botucatu)

³ Doutorando Colegio de Postgraduados (COLPOS), Tabasco, México

⁴ Mestrando em Irrigação e Drenagem, UNESP – FCA (Botucatu)

⁵ Graduando em Química, UTFPR - Campo Mourão

⁶ Prof. Dr. Colegio de Postgraduados (COLPOS), Tabasco, México

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi o de utilizar as bandas espectrais das imagens do Sentinel-2A e Sentinel-2B para monitoramento das diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar em dois sistemas de manejos: irrigado e de sequeiro. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis repetições constituídos pela combinação de dois manejos, totalizando 12 áreas distintas, 6 áreas irrigadas e 6 áreas de sequeiro. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92579. Foram calculados os índices vegetais: i) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); ii) índice de diferença normalizada da água (NDWI) e a iii) estimativa do teor de clorofila do dossel da planta em g/cm², de diferentes épocas e estádios fenológicos da cultura de cana-de-açúcar. Constatou-se que ocorreram diferenças nos índices, entre os manejos de cana-de-açúcar irrigado e de sequeiro. A irrigação promoveu a elevação dos índices NDVI e NDWI como também do teor de clorofila do dossel da planta.

Palavras-chave: Sentinel. Saccharum spp. Sensoriamento remoto. Irrigação.

1 INTRODUÇÃO

Agricultura de precisão é a aplicação de um conjunto de técnicas e métodos para recuperar informações úteis para monitorar e gerenciar culturas, considerando a heterogeneidade e a variabilidade da cultura (GAGO et al., 2015). Ela tem como objetivo otimizar a eficiência e a qualidade da produção, melhorar o manejo da terra, minimizar o impacto e o risco ambiental, reduzir as incertezas associadas às decisões necessárias para o melhor manejo e pode contribuir na melhoria das técnicas de irrigação.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979) dependendo do clima, a quantidade de água que a cultura de cana-de-açúcar necessita é estimada entre 1.500 e 2.500 mm. No Brasil o seu cultivo se localiza em áreas de precipitação média de 1.100 à 1.500 mm ano⁻¹

(ALFONSI et al., 1987). Este volume de precipitação, muitas vezes é mal distribuído durante o ciclo agrícola, sendo assim, de grande importância o uso correto de irrigação para minimizar a deficiência hídrica, obtendo altas produtividades (GAVA et al., 2019).

A melhoria contínua das tecnologias de sensoriamento remoto em termos de resoluções espectrais, espaciais e temporais, tem permitido monitorar o crescimento das culturas e planejar um manejo mais assertivo de técnicas agronômicas entre elas a da irrigação (BRITO et al., 2017). Os satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B lançados recentemente possuem uma combinação única de cobertura global, aquisição sistemática de elevada revisita, amplo campo de visão, alta resolução espacial e um grande número de bandas espectrais (GASCON, 2014).

Assim os objetivos do presente trabalho foram o de: utilizar as bandas espectrais das imagens do Sentinel-2A e Sentinel-2B, para o monitoramento das diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar em dois sistemas de manejo: irrigado e de sequeiro (não irrigado) e; também gerar índices vegetais, comparando-os com diferentes manejos descritos anteriormente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Estado São Paulo, no município de Barra Bonita nas coordenadas Latitude 7.516.000 e Longitude 754.000 SIRGAS 2.000, fuso 22 Sul, composta pela cultura da cana-de-açúcar nos manejos irrigado por aspersão (pivô central) e de sequeiro (não irrigado).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis repetições constituídos pela combinação de dois manejos da cultura: manejo irrigado por aspersão em pivô central (I) e manejo de sequeiro (S). Totalizando 12 áreas distintas, 6 áreas irrigadas e 6 áreas de sequeiro.

O experimento foi realizado no período entre 29 de maio de 2018 à 09 de fevereiro de 2019 tendo uma duração de 239 dias após o corte (DAC). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92579.

A precipitação total do período experimental nas áreas de sequeiro foi de 1.097 mm. No manejo irrigado o volume de precipitação e o de irrigação somaram 1.397 mm, assim a lâmina de irrigação foi de 300 mm.

As imagens utilizadas nesse trabalho foram adquiridas nas datas de: 29/06/2018 (31DAC); 13/08/2018 (50DAC); 02/10/2018 (100 DAC); 06/12/2018 (165 DAC); 10/01/2019 (200 DAC); 09/02/2019 (229 DAC), no centro de dados “Copernicus” no site

oficial da Agência Europeia Espacial (ESA), este site oferece acesso completo e gratuito as informações dos Sentinelas. Os dados foram adquiridos no sítio em <https://scihub.copernicus.eu/>.

O Sentinel é um satélite de órbita polar, sincronizado ao sol, e oferece cobertura global sistemática de superfícies de terra, entre as latitudes de 56 ° Sul e 83° Norte. O satélite possui as seguintes características: alta frequência de dados (a cada 5 dias o satélite passa pelo mesmo lugar, gerando imagens novas); nas resoluções espaciais de: 10m, 20m e 60m; informação multiespectral de 13 bandas de cobertura e uma largura de mapeamento de faixa de 290 km, (GASCON, 2014).

As imagens adquiridas pelos sensores orbitais, contento os alvos selecionados, passaram por processos de correção: ortogeométrica, radiométrica e atmosférica, para melhoria de sua qualidade utilizando os programas: SNAP (“Sentinel Application Platform”) adquirido em <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> e no programa: Sistema de Informações Geográfica Q-GIS, adquirido em <https://www.qgis.org/en/site/>.

Os programas SNAP e Q-GIS também foram utilizados para calcular os índices biofísicos e vegetais (Tabela 1). A partir dos arquivos vetoriais que delimitaram as 12 áreas, foram realizados os cálculos dos diferentes índices (Tabela 1), processando o valor do índice obtido em cada pixel e posteriormente integrando e gerando o valor médio dos índices de cada área e tratamento.

Tabela 1. Índices vegetais utilizados no trabalho.

Índices	Unidade	Fonte
Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)	**	Rouse et al. (1973)
Índice de diferença normalizada da água (NDWI)	**	Gao, (1996)
Conteúdo de clorofila foliar	g.cm-2	Gascon, (2014)

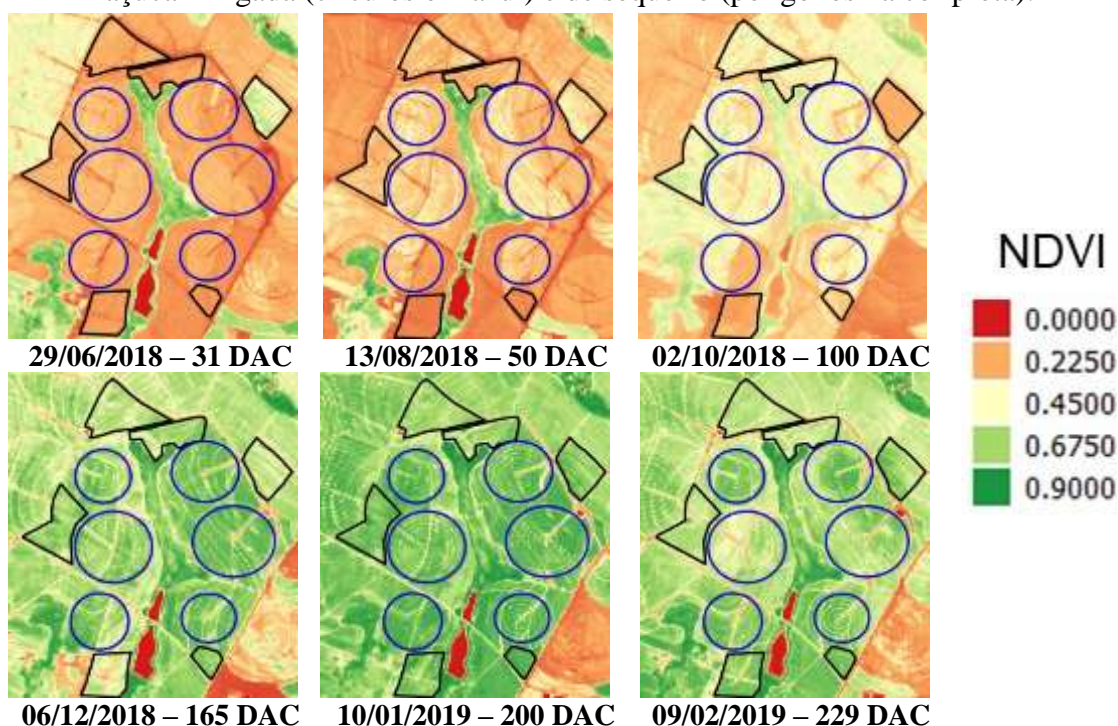
** Unidade adimensional.

Os resultados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Posteriormente para as causas de variações significativas foram aplicados o teste de t ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 é apresentada a evolução temporal do NDVI, composta pelas áreas irrigadas (áreas circulares) e áreas de sequeiro (polígonos demarcados na cor preta) para cultura da cana-de-açúcar. Verifica-se que com o passar do tempo ocorreu uma elevação do NDVI, índice que representa crescimento de biomassa das plantas (VICENTE et al., 2012).

Figura 1 - Evolução temporal do NDVI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar irrigada (círculos em azul) e de sequeiro (polígonos na cor preta).



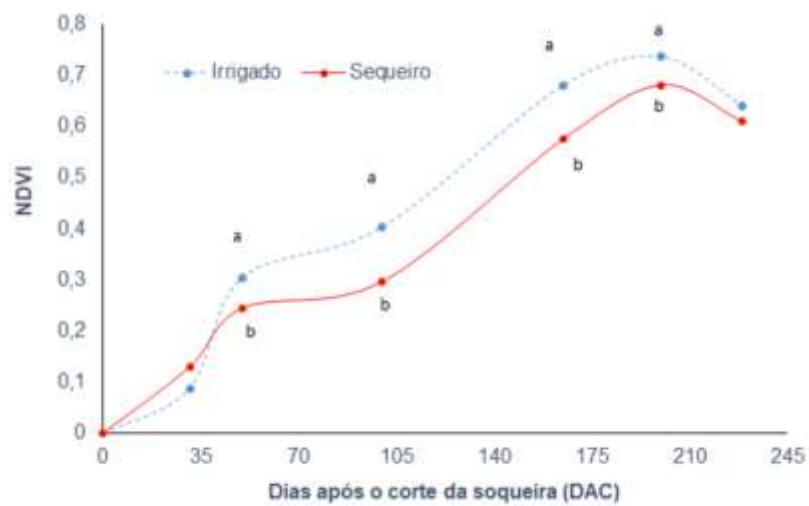
A tabela 2 e a figura 2, ilustram a forma da curva do perfil temporal do NDVI corroborando com resultados obtidos da figura 1. Na tabela 2, a partir do 50 DAC verificou-se que ocorreram diferenças significativas de NDVI nos tratamentos: cana-de-açúcar irrigada e cana-de-açúcar de sequeiro.

Tabela 2. Índices médios de NDVI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S).

Manejo	31 DAC	50 DAC	100 DAC	165 DAC	200 DAC	229 DAC
Irrigado (I)	0,09 a	0,31 a	0,40 a	0,68 a	0,74 a	0,64 a
Sequeiro (S)	0,13 a	0,25 b	0,30 b	0,58 b	0,68 b	0,61 a
Teste t (0,05)	-2,569	1,834*	3,252*	3,894*	2,924*	1,104
Std error	0,1687	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03

Na Figura 2 verifica-se que a curva de evolução temporal do NDVI, foi similar com a curva de acúmulo de matéria seca da cultura, representando um modelo sigmoide, característico do crescimento da cultura de cana-de-açúcar (ARLANCH, 2018). O máximo valor de NDVI foi observado aos 200 DAC, sendo de 0,74 para manejo irrigado e de 0,68 para manejo de sequeiro.

Figura 2 - Índices médios de NDVI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S).



A tecnologia de irrigação, (redução do déficit hídrico) aplicada na cultura de cana-de-açúcar, promoveu uma elevação dos valores de NDVI, quando comparado com os valores de NDVI no manejo de sequeiro (Tabela 2 e Figura 2). Resultados semelhantes ao desta pesquisa foram constatados nos trabalhos de Arlanch (2018), quando foram comparadas as produtividades da cultura nos manejos: irrigado e de sequeiro.

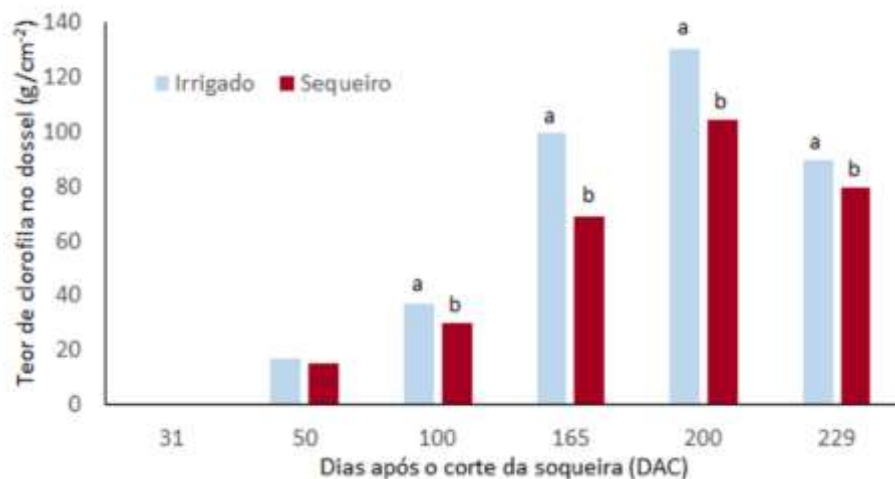
Para o teor de clorofila no dossel verificou-se na tabela 3, que a partir do 100 DAC ocorreram diferenças entre os tratamentos: cana-de-açúcar irrigada e cana-de-açúcar de sequeiro.

Tabela 3. Teor da clorofila do dossel nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S).

Manejo	31	DAC	50	DAC	100	DAC	165	DAC	200	DAC	229	DAC
-----Clorofila do dossel (g/cm ²)-----												
Irigado (I)	0,0	a	16,8	a	37,4	a	99,7	a	130	a	89,5	a
Sequeiro (S)	0,0	a	15,1	a	29,8	b	69,1	b	104	b	79,6	b
Teste t (0,05)	0,0		0,94		1,90*		3,56*		2,80*		0,921*	
Std error	0,0		1,83		3,96		8,56		9,29		10,6	

Na figura 3 constata-se que com o passar do tempo ocorreu uma elevação do teor de clorofila no dossel da cana-de-açúcar para tratamento irrigado em comparação com o tratamento sequeiro.

Figura 3 - Teor da clorofila do dossel nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S).



A tecnologia de irrigação, promoveu uma elevação do teor de clorofila do dossel das plantas, quando comparado ao manejo de sequeiro (Tabela 3 e Figura 3).

Na figura 4 é apresentada a evolução temporal do NDWI, composta pelas áreas irrigadas (áreas circulares) e áreas de sequeiro (polígonos demarcados na cor preta) para cultura da cana-de-açúcar. Observa-se que com o passar do tempo ocorreu uma elevação do NDWI, índice que representa a absorção de água pelo dossel das plantas (GAO, 1996). Esse índice elevou-se devido ao crescimento da cana-de-açúcar e também com elevação dos eventos de precipitações pluviométricas.

A tabela 4 e a figura 5, ilustram a forma de curva do perfil temporal do NDWI corroborando com resultados obtidos da figura 4.

Na tabela 4, constata-se que a partir do 100 DAC ocorreram diferenças do NDWI nos tratamentos: cana-de-açúcar irrigada e cana-de-açúcar de sequeiro.

A tecnologia de irrigação, promoveu uma elevação do NDWI da planta, quando comparado ao manejo de sequeiro (Tabela 4 e Figura 5), segundo Brito et al., (2017) por esse índice estar relacionado diretamente com o conteúdo de água presente na folha.

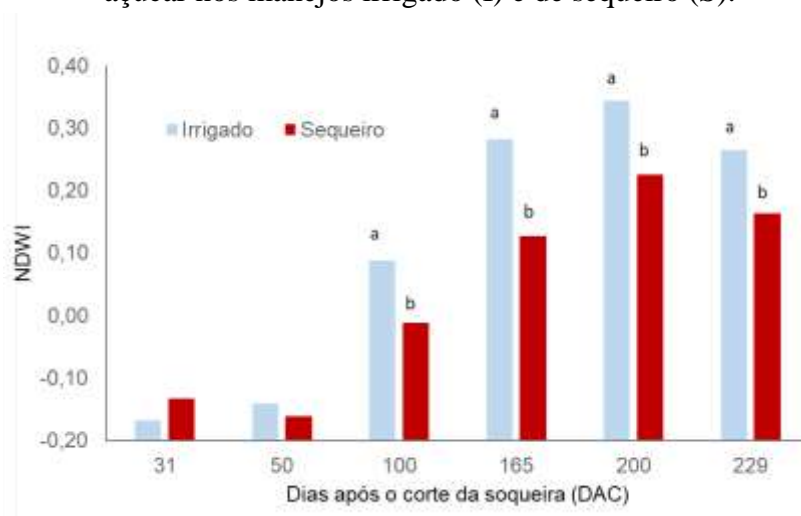
Figura 4 - Evolução temporal do NDWI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar irrigada (círculos em azul) e de sequeiro (polígonos na cor preta).



Tabela 4. Índice NDWI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S)

Manejo	31	DAC	50	DAC	100	DAC	165	DAC	200	DAC	229	DAC
-----NDWI-----												
Irigado (I)	-0,2	a	-0,1	a	0,1	a	0,28	a	0,35	a	0,27	a
Sequeiro (S)	-0,1	a	-0,2	a	-0,1	b	0,12	b	0,23	b	0,16	b
Teste t (0,05)	-1,496		0,696		4,133*		5,204*		4,570*		3,970*	
Std error	0,023		0,030		0,024		0,03		0,03		0,03	

Figura 5 - Índices médios de NDWI nos diferentes estádios fenológicos da cana-de-açúcar nos manejos irrigado (I) e de sequeiro (S).



4 CONCLUSÕES

Ocorreram diferenças dos índices NDVI, NDWI e do teor de clorofila do dossel das plantas entre os manejos de cana-de-açúcar irrigado e de sequeiro.

A irrigação promoveu a elevação dos índices NDVI, NDWI e do teor de clorofila do dossel.

O Índice NDWI pode ser utilizado como um indicador de disponibilidade hídrica para cultura cana-de-açúcar.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.

ARLANCH, A. B. Fracionamento isotópico de ¹³C e a produtividade de cana-de-açúcar nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. 2018.105f. dissertação (Doutorado em Agronomia –Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

BRITO, P. V. S.; MORAIS, Y. C. B.; FERREIRA, H. S.; SILVA, J. F.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, n. 4, p. 493-498, 2017.

DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, mar. 1979. 193p. Irrigação e Drenagem.

GAGO, J., DOUTHE, C., COOPMAN, R. E., GALLEGOS, P. P., RIBAS-CARBO, M., FLEXAS, J. MEDRANO, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>

GAO, B. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v.58, p. 257–266, 1996.

GASCON, F. (2014). Sentinel-2 Products and Algorithms, Workshop “Preparations for Sentinel 2 in Europe.” Oslo: EuroSDR, Norway Digital and Norwegian Space Centre. Retrieved from <http://www.eurosd.net/workshops/preparations-sentinel-2-europe>

GAVA, G. J. C.; SCARPARE, F. V.; CANTARELLA, H.; KÖLLN, O. T.; RUIZ-CORRÊA, S. T.; ARLANCH, A. B.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen source contribution in sugarcane-inoculated plants with diazotrophic bacteria under urea-N fertigation management. *Sugar Tech*. v.21, p.462 - 470, 2019.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3, 1973. Proceedings. Washington, v.1, Sec.A, p. 309-317, 1973.

VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. DE C.; GARÇON, E. A. M.; BOLFE, É. L.; ANDRADE, R. G.; SILVA, G. B. S. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT vegetação e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.1337-1345, 2012.