

## **MONITORAMENTO DA PALMA FORRAGEIRA COM SENSOR RGB EM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS**

Henrique de Souza Gomes<sup>1</sup>; Rafael Silva<sup>1</sup>; Antônio Henrique Cardoso do Nascimento<sup>2</sup>; Alan Cezar Bezerra<sup>2</sup>; Thieres George Freire da Silva<sup>2</sup>; Elisiane Alba<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Discente do Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>2</sup>Docente do curso de Agronomia/ Engenharia de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Agronomia.

### **RESUMO**

O uso de plantas forrageiras adaptadas às condições climáticas da região é uma alternativa importante na produção agropecuária, especialmente em regiões áridas e semiáridas. A palma forrageira é uma cultura utilizada nessas regiões devido ao seu bom rendimento de biomassa fresca, elevado teor de água, boa aceitabilidade e baixo custo de produção. O sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta utilizada no monitoramento agrícola, mas a sua adoção tem sido limitada devido às demandas por mapeamentos com resoluções espaciais em escalas centimétricas e a presença de nuvens. Recentemente, a popularização dos VANTs tem voltado a dar destaque a essa tecnologia por apresentar um potencial de aplicações e superar as dificuldades apresentadas pelo setor. Este projeto busca investigar a resposta espectral de índices de vegetação no visível da palma forrageira a partir de sensores RGB em veículos aéreos não tripulados (VANTs). A pesquisa foi feita em uma área experimental na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, localizada no município de Serra Talhada-PE. Coletou-se as respostas dos índices de vegetação proposto em nível de pixel na planta fixa, Palma Orelha de Elefante Mexicana durante o período de avaliação a partir do qual realizou-se uma correlação com o índice de área do cladódio (IAC). Com os resultados obtidos até então, os índices GLA (Índice de folha verde); EXGR (Intensidade de verde e vermelho) e COM (Índice de vegetação combinado) apresentaram correlações acima de 0,5 com IAC e permitiram uma visualização da variabilidade espacial da palma. Na estimativa de modelos de regressão, testamos os modelos linear e quadrático, com intuito de verificar os índices de vegetação que possuíam uma melhor resposta espectral com IAC. Os resultados da regressão linear não apresentaram ajustes, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) na ordem 0,3 e P-valor entre 0,13 a 0,15 para todos os modelos. Dessa forma, não se adequa ao nível de 5% desejado e aceita-se hipótese nula da correlação na regressão linear. Por sua vez, considerando um modelo quadrático, há um ajuste para os índices EXGR e COM, com coeficientes de determinação de 0,74 e p-valor de 0,03, dentro do nível de significância considerado (5%). Portanto, a continuação dos estudos sugere a utilização dos índices EXGR e COM como bons preditores da área do índice do cladódio (IAC) em um modelo de regressão quadrático.

### **INTRODUÇÃO**

Na produção agropecuária, o uso de plantas forrageiras adaptadas às condições climáticas da região é uma importante alternativa para manter a disponibilidade de alimentos aos animais nos períodos sazonais, em especial na estação seca do ano (Santos et al., 2017), em especial em regiões áridas e semiáridas. Entre as culturas mais utilizadas para ambientes

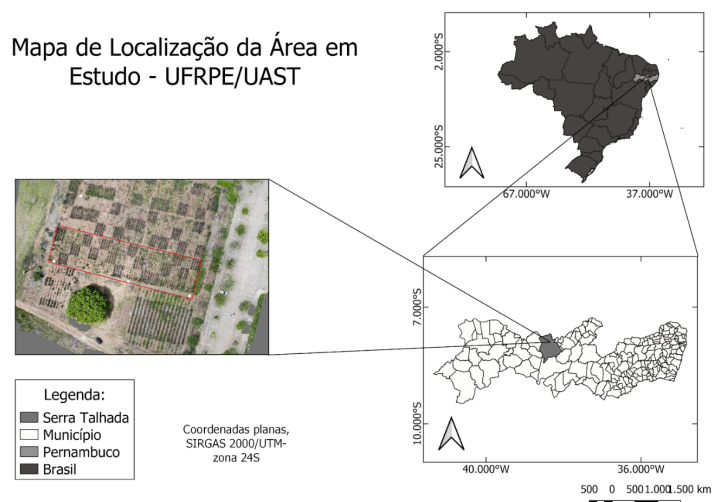
áridos e semiáridos, a palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea spp.*) é uma alternativa que se destaca por possuir um bom rendimento de biomassa fresca, elevado teor de água, boa aceitabilidade e baixo custo de produção (Jardim, 2019).

O uso de sensoriamento remoto para monitoramento agrícola, seja em aeronaves tripuladas ou em satélites, tem sido pesquisado desde a década de 60, contudo, as demandas por mapeamentos com resoluções espaciais em escalas centimétricas, a presença de nuvens e demora para obtenção e processamento sempre foram limitações (Pessi et al., 2020). Com isso, os produtores não conseguiam utilizar desta tecnologia para tomada de decisões rápidas e corretas, impedindo uma adoção do sensoriamento remoto no dia a dia dos sistemas de produção.

Dessa forma, os VANTs mais acessíveis são os que possuem sensores apenas na faixa do visível (RGB) que, por sua vez, tem estimulado pesquisas de índices alternativos de vegetação para essas frequências (Sampaio et al., 2020). Entre os estudos desenvolvidos, pode-se destacar um apresentado por Barbosa et al. (2019) que avaliaram índices de vegetação obtidos com sensor convencional RGB em VANTs em grama esmeralda (*Zoysia japonica*) e obtiveram bons resultados no monitoramento dessa planta. Arantes et al. (2020) conseguiram empregar esta tecnologia de monitoramento hídrico em laranjais e conseguiram detectar e mapear as plantas com diferentes níveis de estresses. No entanto, não há estudos que busquem avaliar a área foliar dessa cultura associado com sensor RGB e índices de vegetação no visível que auxiliem os produtores das regiões áridas e semiáridas a melhorar o manejo de suas produções.

## **MATERIAL E MÉTODO**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, localizado no município de Serra Talhada, Pernambuco. A região é caracterizada pelo clima tipo BSw'h' – semiárido, quente e seco, com precipitação pluviométrica anual de 657 mm.ano<sup>-1</sup> e temperatura média anual de 25,8 °C (Alvares *et al.*, 2013; Lins *et al.*, 2017).



**Figura 1** - Mapa de Localização da área experimental.

O experimento apresentou áreas com cultivo de palma forrageira dos clones Orelha de elefante (OEM) pertencentes ao gênero *Opuntia sp.* e IPA e miúda pertencentes ao gênero *Nopalea sp.*, contudo este estudo avaliou apenas a clone orelha de elefante. Uma vez que os demais clones apresentaram alta mortalidade, dificultando o seu monitoramento ao longo do experimento. Dessa forma, escolheu-se uma planta fixa, durante o período de avaliação, georreferenciado com sistema de posicionamento por GNSS RTK (Modelo Stonex 850a), para obter os valores dos pixels nos diferentes índices de vegetação obtido com o VANT e coleta do índice de área do cladódio (IAC).

A fenologia da cultura foi monitorada ao longo dos meses de abril a novembro de 2022 através de dados biométricos usados para estimativa da área do cladódio e do índice de área foliar do cladódio (IAC). A partir das informações coletadas da biometria, tais como altura, largura, espessura, número de cladódios, estimou-se a índice de área do cladódio com base no estudo de Pinheiro *et al.* (2015).

Para registro das imagens utilizou-se um veículo aéreo não tripulado (VANT) modelo DJI Mavic 2 Enterprise Dual, que apresenta autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos, tipo quadricóptero com GPS, equipado com uma câmera RGB e Termal.

O imageamento sobre as áreas de estudo ocorreu em condições de iluminação consistentes, sempre na faixa das 13h em dias claros e ensolarados. As imagens foram obtidas uma vez nos meses: Abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, utilizando a câmera na banda do visível (RGB) a bordo do VANT. Para obter os melhores resultados, utilizou-se uma sobreposição de 90% de lateral e 90% de frontal (Arantes *et al.*, 2020) e posicionado a uma altura de 40 metros. A partir das imagens coletadas no voo, foram processadas no programa *Metashape Agisoft* para a criação dos ortomosaicos.

A partir dos ortomosaicos obtidos com o sensor RGB a bordo do drone, efetuou-se o georreferenciamento dessas imagens, em um software de sistema de informações geográficas Qgis versão da série 3.0, através da ferramenta *georreferenciador*. Utilizou-se o ambiente R para fazer o processamento das imagens e obtenção dos índices de vegetação, utilizando a interface do Rstudio, e o pacote *FieldimageR* (Matias, Caraza-Harter e Endelman, 2020). Os

índices de vegetação utilizados estão disponíveis na Quadro 1 e foram apresentados por Freire-Silva *et al.* (2019) e Swaef *et al.* (2021).

**Quadro 1** - Índices de vegetação e as respectivas equações de uso.

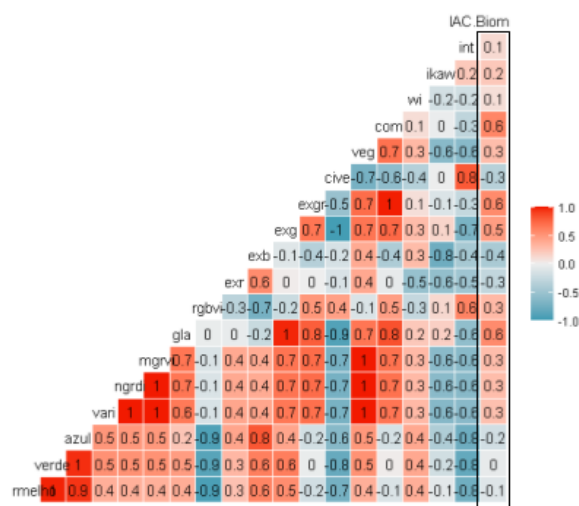
Índice	Sigla	Fórmula	Referência
<i>Visible Atmospherically Resistant Index</i>	VARI	$\frac{g-r}{g+r-b}$	(Gitelson et al., 2002)
<i>Modified Green Red Vegetation Index</i>	MGRVI	$\frac{g^2-r^2}{g^2+r^2}$	(Bending et al., 2015)
<i>Green Leaf Algorithm</i>	GLA	$\frac{2g-r-b}{2g+r+b}$	(Louhaichi et al., 2001)
<i>Red Green Blue Vegetation Index</i>	RGBVI	$\frac{(g^2-b*r)}{(g^2+b*r)}$	(Bending et al., 2015)
<i>Green Red Vegetation Index</i>	NGRDI	$\frac{g-r}{g+r}$	Tucker (1979)
<i>Excess Red Vegetation Index</i>	ExR	$1.4r - g$	(Meyer & Neto, 2008)
<i>Excess Blue Vegetation Index</i>	ExB	$1.4b - g$	(Guijarro et al., 2011)
<i>Excess Green Vegetation Index</i>	ExG	$2g - r - b$	(Guijarro et al., 2011)
<i>Excess Green Red Vegetation Index</i>	ExGR	$ExG - ExR$	(Guijarro et al., 2011)
<i>Color Index of Vegetation</i>	CIVE	$0.441r - 0.881g + 0.385b$	(Guijarro et al., 2011)
<i>Vegetative</i>	VEG	$\frac{g}{r^{0.667} * b^{0.333}}$	(Hague, Tillett & Wheeler, 2006)
<i>Combination</i>	COM	$0.25ExG + 0.3ExGR + 0.33ExB$	(Guijarro et al., 2011)
<i>Woebbecke Index</i>	WI	$g-br-b$	(Woebbecke et al., 1995)
<i>Kawashima Index</i>	IKAW	$\frac{r-b}{r+b}$	(Shigeto & Makoto, 1998)
<i>Color Intensity Index</i>	INT	$\frac{R+G+B}{3}$	(Shigeto & Makoto, 1998)

Por fim, coletou-se as respostas dos índices de vegetação proposto (Quadro 1) em nível de pixel na planta fixa durante o período de avaliação a partir do qual realizou-se uma correlação com o índice de área do cladódio (IAC). Em seguida, considerou-se os índices com

correlação acima de 0,5 para seleção dos mais adequados na análise espacial e foram confeccionados mapas temáticos. Por fim, foram gerados modelos linear e quadrático com resposta espectral como variável independente e o IAC como variável dependente. Os modelos foram testados com uma significância ao nível de 5% para verificar o desempenho.

## Resultados e discussão

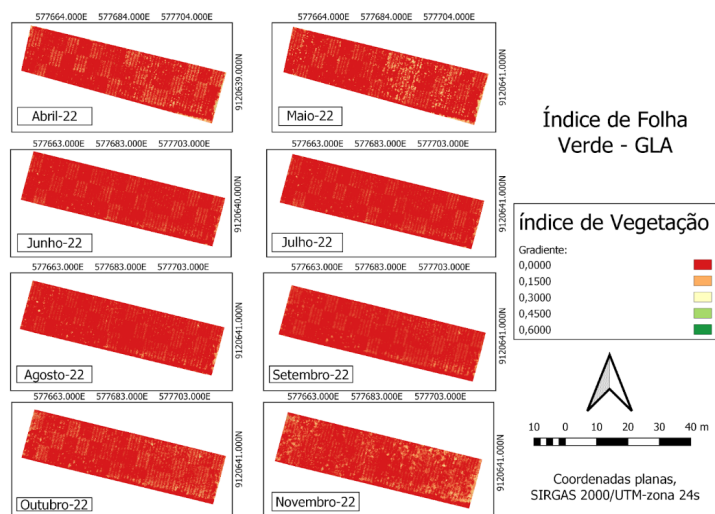
A figura 2 apresenta os coeficientes de correlação para a OEM, cultivar presente na área estudada, do IAC com todos os índices de vegetação. Dentre os resultados encontrados, selecionou-se três índices que possuíam valores acima de 0,5, que foram: GLA (Índice de folha verde); EXGR (Intensidade de verde e vermelho) e COM (Índice de vegetação combinado).



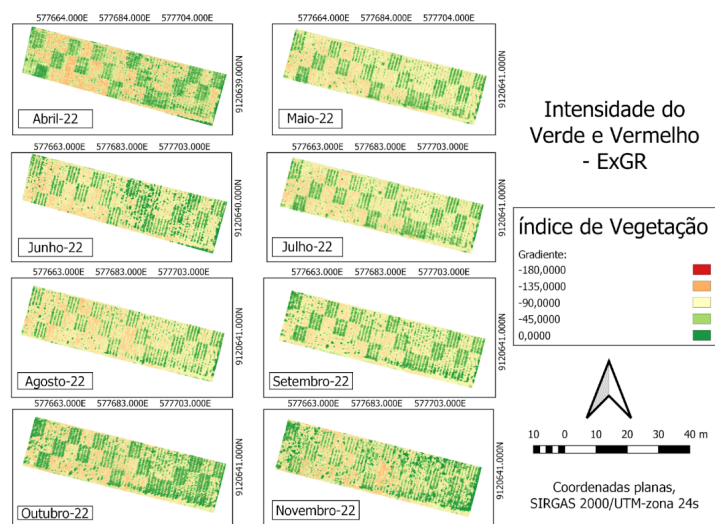
**Figura 2** - Coeficientes de Correlação entre o índice de área do cladódio (IAC) e os índices de vegetação da palma Orelha de Elefante (OEM), destacado no retângulo preto.

Não há estudos aplicando esta análise com palma forrageira, contudo, é interessante destacar que GLA e EXGR apresentam bons resultados com outros tipos de forragens. Por exemplo, em um com azevém perene (*Lolium perenne* L.) e a festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.), para avaliação de tolerância a estresse hídrico, Swaef et al. (2021) também encontraram correlações do GLA, denominadas por eles como Índice de Vegetação de Diferença de Banda Visível, e EXGR, com valores acima de 0,7, com um nível de avaliação da biomassa e coloração verde da planta. Além desses índices, os autores encontraram boas correlações com outros índices, como VARI, VEG, MGRVI, entre outros, com resultados acima de 0,7.

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam a variabilidade espaço-temporal dos índices de vegetação com valores de correlação acima de 0,5. Destaca-se que na área de experimento há parcelas com diferentes clones de palma forrageira, como a orelha mexicana, IPA e a Miúda. Entre eles, os índices EXGR (Figura 4) e COM (Figura 5) caracterizam melhor os diferentes tipos de cobertura da vegetação e clones de palmas.

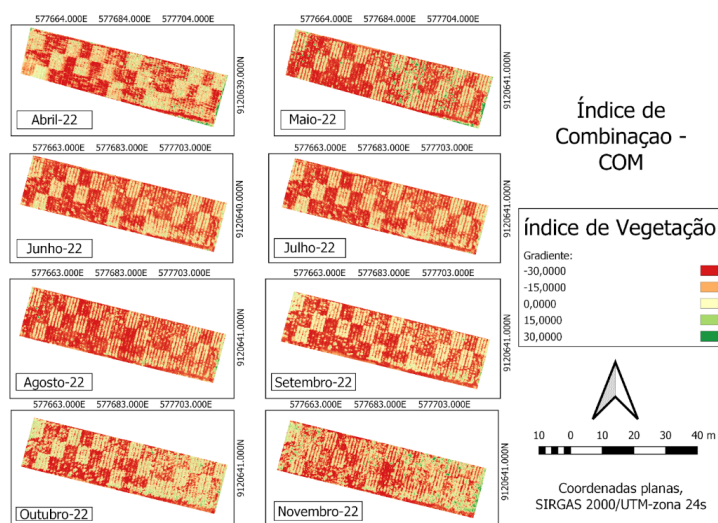


**Figura 3** - Mapa de variabilidade espacial do índice de Folha Verde (GLA) entre os meses de abril/22 a novembro/22



**Figura 4** - Mapa de variabilidade espacial do índice de intensidade do verde e vermelho entre os meses de abril/22 a novembro/22



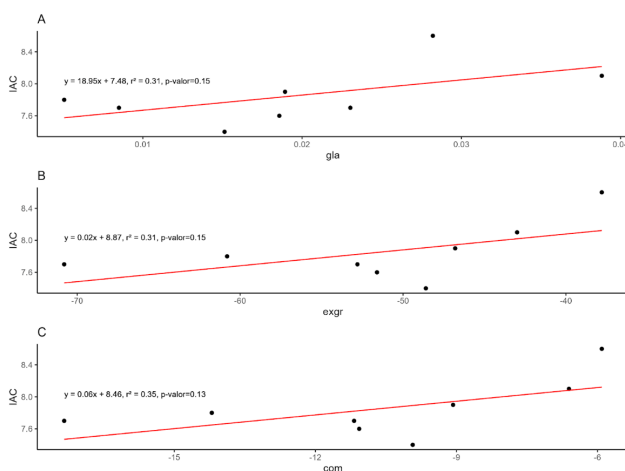


**Figura 5** - Mapa de variabilidade espacial do índice de Combinação entre os meses de abril/22 a novembro/22

Destaca-se que o EXGR é um índice que permite boas segmentações das coberturas vegetais, sendo usado para classificar e mapear espécies de ervas daninhas usando imagens coloridas em sistemas de cultivo mínimo (CAMARGO-NETO, 2004; GUIJARRO et al., 2011). Além disso, o COM ainda possui contribuição do próprio EXGR dentro do seu modelo, dessa forma, a capacidade de segmentação das classes de cobertura apresenta semelhanças.

### Teste de regressão linear

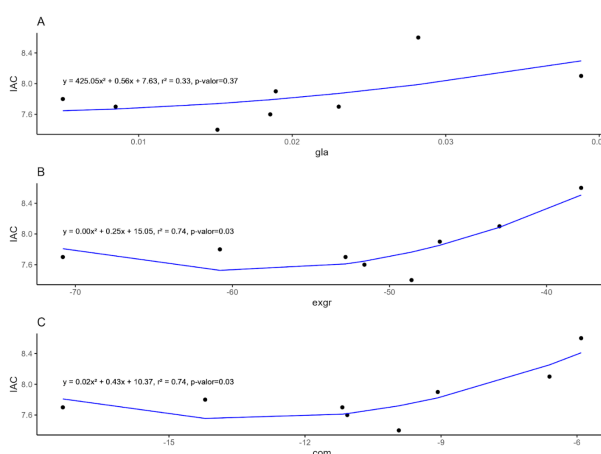
Observa-se que o resultado da regressão linear feito com a palma OEM não apresenta ajuste (Figura 6), apresentando índices de determinação ( $r^2$ ) na ordem 0,3. Além disso, o P-valor encontrado foi de 0,13 a 0,15 para todos os modelos, dessa forma, não se adequa ao nível de 5% desejado e aceita-se hipótese nula da correlação na regressão linear.



**Figura 6** - Gráfico de regressão linear comparando o IAC biométrico com os índices de vegetação: (A) GLA; (B) EXGR; (C) COM.

### Teste de Regressão quadrática

Por sua vez, considerando um modelo quadrático, há uma modificação no seu ajuste para os índices EXGR e COM (Figura 7). Estes modelos apresentam coeficientes de determinação de 0,74, enquanto o modelo com base no GLA possui um coeficiente de 0,33, semelhante ao modelo linear. Em questão de significância, os modelos com EXGR e COM apresentaram resultados na ordem de 0,03, portanto, dentro do nível de significância considerado (5%).



**Figura 7** - Gráfico de modelo quadrático comparando o IAC biométrico com os índices de vegetação: (A) GLA; (B) EXGR; (C) COM.

Os modelos EXGR e COM possuem algumas características em comum, pois apresentam junções de diferentes índices e possuem o Índice de Excesso de Vegetação Verde (EXG) em ambos os modelos. Desse modo, com a utilização de vários outros espectros em conjunto no mesmo índice, esses dois modelos podem ser considerados equivalentes. Diante disso, os modelos apresentaram um ajuste próximo em função das características dos índices.

Em um experimento desenvolvido por Da Silva et al. (2021), encontraram um bom ajuste para um modelo linear com resultados da imagem *Sentinel 2A* para estimativa da cobertura vegetal de palmas forrageiras, avaliando, inclusive, clone da orelha de elefante. No entanto, a diferença do nível de resolução dos produtos *Sentinel* (10 metros) e RGB em VANT's (centimétrica), pode justificar a diferença dos ajustes dos modelos.

Outro fator a considerar na falta de ajuste da regressão linear da clone OEM é devido às suas características morfológicas de emissão, tamanho, formato e distribuição dos cladódios, provocando diferentes coberturas do solo, impactando na resposta espectral da cultura. Ressalta-se que estas características foram significativas para estimativa do IAC, em especial a altura da planta e número de cladódios com o IAC (DA SILVA et al., 2021).

## CONCLUSÃO



Este projeto busca investigar a resposta espectral de índices de vegetação no visível da palma forrageira a partir de sensores RGB em veículos aéreos não tripulados (VANTs). Com os resultados obtidos até então, os índices GLA (Índice de folha verde); EXGR (Intensidade de verde e vermelho) e COM (Índice de vegetação combinado) apresentaram correlações acima de 0,5 com IAC e permitiram uma visualização da variabilidade espacial da palma. Ao analisar a regressão linear destes índices com Índice de Área de Cladódio (IAC), não apresentaram ajuste significativo ( $r^2 < 0,3$ ). Por sua vez, na análise de regressão quadrática, a planta em estudo apresentou resultados significativos para os índices EXGR e COM, com ajustes de  $r^2$  acima de 0,7.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de iniciação científica ( BIC-0259-1.07/22) e financiamento do auxílio ao projeto de pesquisa - edital jovem pesquisador (APQ-0733-1.07/21). Também agradecemos à UFRPE/UAST pela disponibilidade da infraestrutura para desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES, C.A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; GONÇALVES, J.D.M; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, 711-728, 2013.

ARANTES, L. T.; ARANTES, B. H. T.; GIONGO, P. R.; CECCATO, G. Z.; MORAES, V. H.; SAITO, Y. K.; GOMES, L.F; DE OLIVEIRA CASTRO, A. C. Comportamento espectral e detecção de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com estresse hídrico, por meio de drone. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.7, 3625-3635, 2020.

BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. S.; GONÇALVES, L. M.; MARIN, D. B.; MACIEL, D. T.; FERRAZ, P. F. P.; ROSSI, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agronomy Research*, v.17, n.2, p.349-357, 2019.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; BARETH, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 39, pp. 79–87, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>.

Camargo Neto, J. A combined statistical-soft computing approach for classification and mapping weed species in minimum -tillage systems. Dissertação- *University of Nebraska - Lincoln*. 2004. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3147135>, acesso em 14 fev 2023.

DA COSTA, S. A. T.; BEZERRA, A. C.; DE ARAÚJO, A. M. Q.; DA SILVA, M. F.; NETO, J. F. D. C.; ALVES, R. M.; DE SOUZA, L. S. B. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, n. 2021, 2021.

DA SILVA, M. V.; PANDORFI, H.; DE ALMEIDA, G. L. P.; DE LIMA, R. P.; DOS SANTOS, A.; JARDIM, A. M. D. R. F.; ROLIM M. M.; DA SILVA, J. L. B.; BATISTA, P. H. D.; DA SILVA, R. A. B.; LOPES, P. M. O.; DA SILVA, D. C. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103155, 2021.

DE SWAEF, T.; MAES, W.H; APER, J.; BAERT, J.; COUGNON, M.; REHEUL, D.; STEPPE, K.; ROLDÁN-RUIZ, I.; LOOTENS, P. Applying RGB-and thermal-based vegetation indices from UAVs for high-throughput field phenotyping of drought tolerance in forage grasses. **Remote Sensing**, v.13, n.1, p.147, 2021.

FANG, H.; LI, W.; WEI, S.; JIANG, C. Seasonal variation of leaf area index (LAI) over paddy rice fields in NE China: Intercomparison of destructive sampling, LAI-2200, digital hemispherical photography (DHP), and AccuPAR methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 198, p. 126–141, 2014.

FREIRE-SILVA, J.; PAZ, Y. E.; LIMA-SILVA P. P.; PEREIRA, J. A. S.; CANDEIAS, A. L. B. Índices de vegetação do sensoriamento remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, 228-239, 2019

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novos algoritmos para estimativa remota de fração de vegetação. **Sensoriamento remoto de Ambiente** , v.80 n.1, 76-87, 2002.

GOWARD, S.N; MARKHAM, B.; DYE, D.G; DULANEY, W.; YANG, J. Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. **Remote sensing of environment**, v.35, n.2-3, p. 257-277, 1991.

Guijarro, M.; Pajares, G.; Riomoros, I.; Herrera, P. J.; Burgos-Artizzu, X. P.; Ribeiro, A. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 75-83, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.013>.

HAGUE, T.; TILLET, N. D.; WHEELER, H. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. **Precision Agriculture**, v. 7, p. 21-32, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-6787-1>.

JARDIM, A. M. DE R. F. **Consórcios de palma (Nopalea sp. e Opuntia sp.) em sistema de plantio adensado com cultivares de sorgo sob uso mínimo e regular de irrigação**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal). 127p. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.

LINS, F.A.C; DA SILVA, J.L.B; DE ALBUQUERQUE MOURA, G.B; ORTIZ, P.F.S; OLIVEIRA, J.D.A; ALVES, M.V.C. Técnica quantílica para precipitação, índice de anomalia de chuva e parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto em Serra Talhada, Pernambuco. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** , v.7 , n.6, p.334-344, 2017.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M. V.; ENDELMAN, J. B. FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, 2020.

MEYER, G. E.; NETO, J. C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. **Computers and electronics in agriculture**, v. 63, n. 2, p. 282-293, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009>.

PESSI, D. D.; BELIN, R. B.; JUNIOR, P. L. M.; DA SILVA, N. M. Aeronaves remotamente pilotadas e suas aplicações no manejo agrícola e ambiental. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v.37, n.2, e-26605, 2020.

R CORE TEAM. **R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing**, 2019.

SAMPAIO, H. S.; BOURSCHEIDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. D. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. D. C. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020.