

IMAGENS AÉREAS DIGITAIS E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR COMO FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Kenya Gonçalves Nunes¹, Gabriel Castro Farias², Henrique Sampaio de Castro³, Kleyton Chagas de Sousa⁴, Raimundo Nonato Távora Costa⁵, Claudivan Feitosa de Lacerda⁶

RESUMO: Objetivou-se avaliar por meio de imagens aéreas e monitoramento do índice de área foliar a influência da irrigação deficitária no cultivo do feijão-caupi sob diferentes tratamentos de níveis de irrigação e o incremento dos fatores de produção adubo orgânico, cinza vegetal e cobertura morta vegetal. O índice de área foliar foi determinado pela média de cinco leituras, uma acima e quatro abaixo do dossel, com o equipamento LAI-2200, com duas repetições de cada composição dos tratamentos analisados. As imagens aéreas foram obtidas com o Phantom 4 Pro, com câmera RGB (azul, verde e vermelho). Os voos foram realizados na altura máxima de 15 m, que possibilitou alto nível de detalhamento do terreno, com pixel de 3 mm. O uso de imagens aéreas digitais de alta resolução espacial obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT) e a medição do índice de área foliar são ferramentas relevantes no monitoramento da produção agrícola e possibilitaram a identificação da influência dos tratamentos analisados no estudo.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, irrigação deficitária, IAF.

DIGITAL AERIAL IMAGES AND LEAF AREA INDEX AS AGRICULTURAL PRODUCTION MONITORING TOOLS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the influence of water stress on bean production under different treatments of irrigation levels and production factors: organic fertilizer, vegetable ash and mulch. The leaf area index was determined by the average of five readings,

¹Engenheira Agrônoma, Mestra em Engenharia Agrícola, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, CEP 60451-970, Fortaleza, CE, e-mail: kenyagn@gmail.com

²Engenheiro Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola, Aurora, Caucaia, CE.

³Geógrafo, Mestre em Geologia, GaiaTech, Fortaleza, CE.

⁴Engenheiro Agrônomo, Fazenda Experimental Vale do Curu, UFC, Pentecoste, CE.

⁵Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, CE.

⁶Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, CE.

one above and four below the canopy, with LAI-2200 equipment, with two replicates of each composition of the treatments analyzed. The area images were obtained with the Phantom 4 Pro, with RGB camera (blue, green and red). The flights were carried out at a maximum height of 15 m, which allowed the high level of detail of the terrain with 3 mm pixel. The use of high resolution spatial digital aerial images obtained by unmanned aerial vehicle (UAV) and measurement of leaf area index are relevant tools in the monitoring of agricultural production and allowed the identification of the influence of the treatments analyzed in the study.

KEYWORDS: UAV, water stress, LAI.

INTRODUÇÃO

A água, muitas vezes, é considerada fator limitante na agricultura e, em tempos de escassez hídrica, é necessário escolher entre a redução da área irrigada e manutenção da dotação de água que atenda à necessidade da cultura ou a utilização da irrigação deficitária e expansão da área. É indispensável, ainda, inserir culturas de elevado valor agregado e, de preferência, de ciclos curtos no plano de cultivo da região.

Para garantir o rendimento das culturas, a adoção de práticas de manejo torna-se ferramenta fundamental. Entre elas, a adubação orgânica em longo prazo pode estabilizar o rendimento das culturas, de modo sustentável e melhorando as propriedades do solo (Li et al., 2018).

Para o semiárido, por suas características, outra estratégia de manejo é o uso de cobertura morta vegetal. A cobertura morta do solo pode ser composta por material inorgânico ou orgânico e fornecer um ou vários benefícios, como enriquecer ou proteger o solo, prevenir o estabelecimento de pragas e elevar o rendimento das culturas (Quintanilla-Tornel et al., 2016).

De acordo com Frizzone (2004), uma mudança fundamental deverá ocorrer na prática da irrigação, em decorrência da competição pelo uso da água e dos impactos ambientais causados pelo uso da irrigação. A mudança comportamental deverá motivar mudanças no modelo de irrigação atual, de modo a buscar a elevação da eficiência econômica e não apenas o suprimento da demanda hídrica das plantas.

A irrigação deficitária, nesse contexto, deve relacionar o uso da água à produtividade e o monitoramento da cultura deve ser realizado de modo a evitar grandes perdas de

rendimento. Várias técnicas são utilizadas atualmente para monitorar a produção agrícola e a eficiência do manejo adotado, sendo que o índice de área foliar sofre influência negativa com a redução dos níveis de irrigação e consiste em um parâmetro adequado para o manejo da irrigação com déficit (Bastos et al., 2012).

O uso de imagens aéreas digitais de alta resolução espacial obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT) é um dos métodos em ascensão, sendo cada vez mais utilizado para realizar o monitoramento visual de áreas plantadas (King, 2017; Vibhute; Bodhe, 2012).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), caracteriza-se como um dos alimentos básicos da população brasileira e o feijão-verde, ou seja, grãos de caupi com teor de umidade entre 60% e 80%, é amplamente produzido e consumido em todo o Nordeste brasileiro (Pereira et al., 2015; Silva, 2001), desenvolvendo papel importante no mercado interno e com grande relevância para os agricultores irrigantes. A produção, além da redução no ciclo e nos custos de produção, possibilita a economia de água.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar por meio de imagens aéreas e monitoramento do índice de área foliar a influência da irrigação deficitária no cultivo do feijão-caupi associado ao emprego de adubos alternativos e de cobertura morta vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente à Universidade Federal do Ceará, localizada em Pentecoste, Ceará, com área experimental próxima ao Rio Curu. O clima é semiárido, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 770 mm e chuvas distribuídas irregularmente no período de fevereiro a maio, com valores máximos nos meses de março e abril. O estudo foi realizado no período seco, onde só ocorrem chuvas extemporâneas.

O preparo da área experimental foi realizado de forma mecanizada e a cultura selecionada foi o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar BRS Guariba. A semeadura foi realizada no espaçamento de 0,6 m entre fileiras, com cinco plantas por metro linear. Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade para manter a cultura livre de plantas invasoras, pragas e doenças. Os atributos do solo da área podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo da área experimental

Prof. (m)	Composição granulométrica (g kg ⁻¹)					Classe textural	Densidade do solo (g cm ⁻³)
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural		
0-0,2	56	323	465	156	59	Franca	1,29
pH	CE (dS m ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	PST (%)	V (%)	MO (g kg ⁻¹)	P _{Assimilável} (mg kg ⁻¹)
7,2	0,55	10,38	1,12	3,00	95	17,90	57
Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)							
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T
9,40	3,40	0,48	0,51	0,66	0,00	13,30	13,90

A fonte de água foi oriunda de um poço raso, localizado próximo à área do experimento, cuja qualidade não é limitante ao desenvolvimento da cultura. A irrigação foi do tipo localizada por fita gotejadora, com vazão de 1,6 L h⁻¹. Até os 15 dias após a semeadura (DAS), a irrigação foi realizada com base na lâmina requerida pela cultura, de modo a garantir o estabelecimento das plantas em todas as parcelas experimentais. A Tabela 2 contém as características da água de irrigação.

Tabela 2. Características da água de irrigação

Cátions (mmol _c L ⁻¹)					Ânions (mmol _c L ⁻¹)					CE	RAS	pH
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Σ			
2,4	2,9	2,6	0,4	8,3	8,1	0,0	0,2	0,0	8,3	0,81	1,16	7,4

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas. Após os 15 DAS os níveis de irrigação foram diferenciados e estabelecidos em função das seguintes frações da evapotranspiração de referência (ET_o), nas parcelas: 50%, 75%, 100%, 125% e 150%.

A determinação da quantidade de resíduo necessária para a adubação foi realizada após a análise do solo e dos materiais escolhidos como fonte de nutrientes. Posteriormente, a dose recomendada (DR) de adubo orgânico e de cinza vegetal foi calculada de acordo com a necessidade da cultura. Os tratamentos, nas subparcelas, foram: sem adubação, 50%DR, 100%DR e 150%DR. Avaliou-se, ainda, a importância da cobertura morta vegetal com bagana de carnaúba, de modo qualitativo, dentro de cada subparcela. A área útil de cada subparcela experimental foi de três fileiras de plantas com 6,0 m de comprimento, totalizando 90 plantas.

O índice de área foliar foi determinado pela média de cinco leituras, 45 DAS, uma acima e quatro abaixo do dossel, com o equipamento LAI-2200, com duas repetições de cada composição dos tratamentos analisados.

As imagens áreas foram obtidas com o Phantom 4 Pro, com câmera de 20 megapixel RGB (azul, verde e vermelho). Os voos foram realizados na altura máxima de 15 m, que possibilitou o nível de detalhamento do terreno com 3 mm de pixel no ortofotomosaico, gerado no programa de aerofotogrametria Agisoft Photoscan.

Para a elaboração das figuras foi utilizado o Programa de SIG (Sistema de Informações Geográficas), Arcgis. Já o índice de área foliar foi avaliado utilizando programa computacional estatístico Assistat, versão 7.7, 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens permitiram identificar o comprometimento do crescimento vegetativo da cultura com tratamento de 50% da lâmina de irrigação requerida. A análise visual permite verificar que as lâminas de 75% e 100% apresentaram comportamentos semelhantes, enquanto nas maiores lâminas, principalmente na de 150%, houve grande desenvolvimento vegetativo (Figura 1). É válido ressaltar que o excesso de crescimento vegetativo não significa aumento de produtividade.

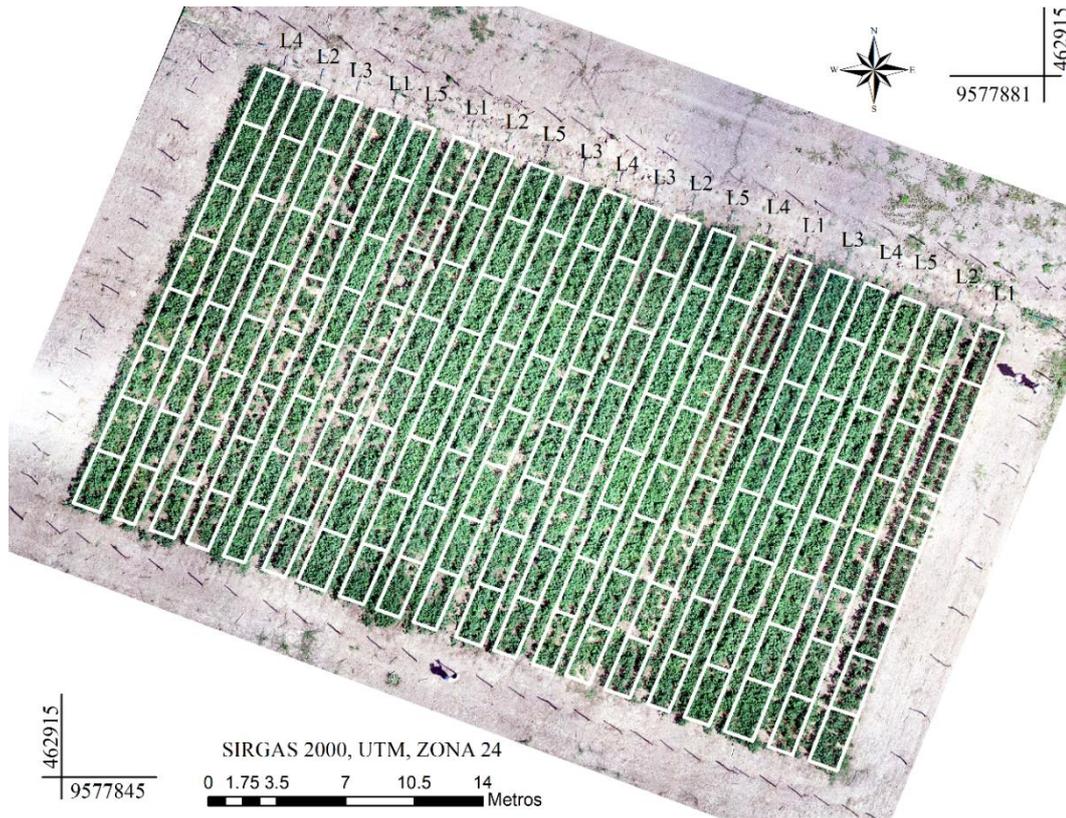


Figura 1. Imagem aérea da área experimental. Pentecoste, Ceará, Brasil.

A análise visual de plantas é realizada de forma empírica desde os primórdios da agricultura e, ainda de acordo com Barbosa et al. (2016), a utilização de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas é uma ferramenta poderosa, com diversas possibilidades de uso, além de ser um método não destrutivo, rápido e reproduzível.

A avaliação através de imagens aéreas, além de ser um recurso rápido e econômico, possui bom desempenho para as operações de monitoramento de culturas agrícolas e possibilita o monitoramento em tempo real (Candiago et al., 2015; Hoyos-Villegas; Fritschi, 2013; Von Bueren et al., 2015). Para o monitoramento de grandes áreas, principalmente, os levantamentos aéreos são econômicos e práticos.

Os resultados obtidos com o LAI-2200 confirmam a análise visual realizada através das imagens do VANT. Na Tabela 3, é possível verificar os valores sumarizados da análise de variância para o índice de área foliar em plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes níveis de irrigação, doses de adubação e presença ou ausência de cobertura morta vegetal. O índice de área foliar foi influenciado a 5% de probabilidade pelos níveis de irrigação e a 1% de probabilidade pela cobertura morta vegetal. As interações água e adubação e água e cobertura morta vegetal apresentaram influência a 1% de probabilidade.

Tabela 3. Valores sumarizados da análise de variância para o índice de área foliar

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Irrigação (A)	4	4.1379 *
Resíduo (A)	15	2.19622
Adubação (B)	3	1.7594 ^{ns}
Interação (AxB)	12	7.3990 **
Resíduo (B)	45	0.15108
Cobertura (C)	1	7.6110 **
Interação (AxC)	4	4.4569 **
Interação (BxC)	3	1.1127 ^{ns}
Interação (AxBxC)	12	1.7124 ^{ns}
Resíduo (C)	60	0.29302
CV% (A)		47,33
CV% (B)		12,41
CV% (C)		17,29

**,* e ^{ns} – significativo a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. CV – coeficiente de variação.

A interação entre os níveis de irrigação e a cobertura morta vegetal com bagana de carnaúba pode ser observada na Figura 2. A irrigação combinada à cobertura morta proporcionou maior índice de área foliar, ou seja, enquanto as plantas com cobertura morta conseguiram aproveitar melhor a água e atingir maior crescimento, as demais não apresentaram o mesmo comportamento.

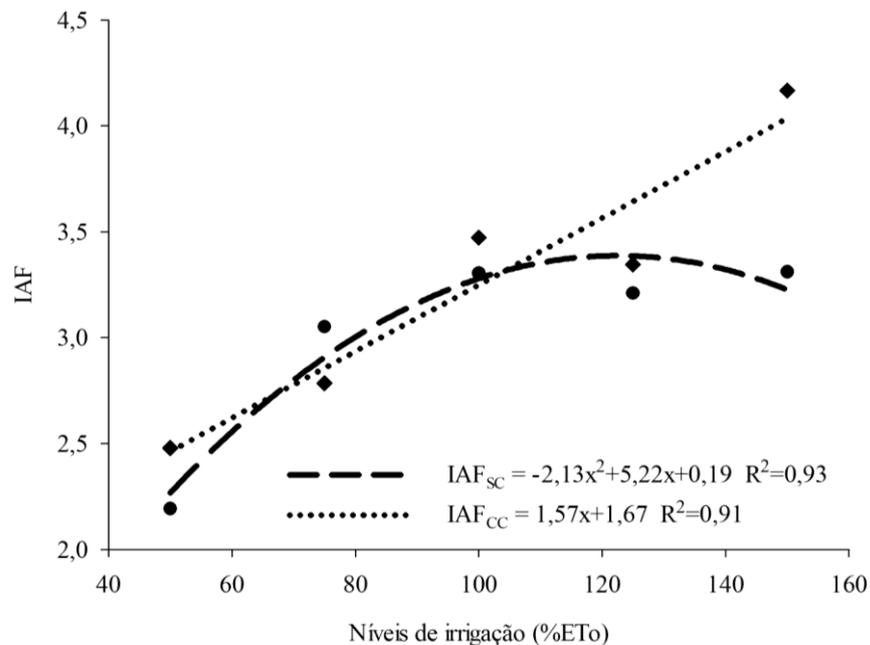


Figura 2. IAF do feijão-caupi em resposta aos diferentes níveis de irrigação e aos tratamentos sem (SC) e com (CC) cobertura morta vegetal com bagana de carnaúba.

Bastos et al. (2012) identificaram valores máximos de IAF entre 3,49 e 4,99 para a cultura do feijão-caupi, cv. BRS Guariba. Os resultados deste estudo encontram-se dentro desta faixa. Em condições de estresse hídrico pode ocorrer redução da área foliar como mecanismo de defesa, resultando na redução das perdas de água por transpiração.

O estresse hídrico pode interferir nos processos fisiológicos da planta do feijoeiro, alterando o crescimento e o desenvolvimento das culturas, como o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, causar perda de matéria seca da parte aérea (Mendes et al., 2007; Yang et al., 2018) e reduzir a produtividade de grãos (Nascimento et al., 2011). Para complementar, de acordo com Taiz e Zeiger (2009), sob déficit hídrico, as plantas apresentam características como a redução da área foliar, o fechamento dos estômatos e a abscisão das folhas.

Comparando os dados obtidos na avaliação do índice de área foliar com as imagens, é possível concluir que a redução do índice de área foliar em resposta aos tratamentos empregados pôde ser verificada através das duas técnicas de monitoramento.

CONCLUSÕES

O uso de imagens aéreas digitais de alta resolução espacial obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT) permitiu avaliar a influência de níveis de irrigação no cultivo do feijão-caupi, cuja comprovação pela medição do índice de área foliar permite afirmar a relevância dessas ferramentas no monitoramento da produção agrícola.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. À GaiaTech – Levantamentos Aéreos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, J. Z.; Consalter, R.; Pauletti, V.; Motta, A. C. V. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016.

Bastos, E. A.; Ramos, H. M. M.; Andrade Júnior, A. S. de; Nascimento, F. N. do; Cardoso, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.

Candiago, S.; Remondino, F.; De Giglio, M.; Dubbini, M.; Gatteli, M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming application from UAV images. **Remote Sensing**, v. 7, p. 4026-4047, 2015.

Frizzone, J. A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. **Engenharia Rural**, v. 15, p. 37-56, 2004.

Hoyos-Villegas, V.; Fritschi, F. B. Relationships among vegetation indices derived from aerial photographs and soybean growth and yield. **Crop Science**, v. 53, p. 2631-2642, 2013.

King, A. Technology: the future of agriculture. **Nature**, v. 544, p. 21-23, 2017.

Li, C.; Ma, S.; Shao, Y.; Ma, S.; Zhang, L. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 1, p. 210-219, 2018.

Mendes, R. M. de S.; Távora, F. J. A. F.; Pitombeira, J. B.; Nogueira, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

Nascimento, S. P do; Bastos, E. A.; Araújo, E. C. E.; Freire Filho, F. R.; Silva, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

Pereira, L. B.; Arf, O.; Santos, N. C. B. dos; Oliveira, A. E. Z. de; Komuro, L. K. Manejo da adubação na cultura do feijão em sistema de produção orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 29-38, 2015.

SILVA, P.S.L. Consorciação milho e feijão caupí para produção de espigas verdes e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 04-10, 2001.

Quintanilla-Tornel, M. A.; Wang, K.; Tavares, J., Hooks, R. R. Effects of mulching on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 224, p. 75-85. 2016.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

Vibhute, A.; Bodhe, S. K. Applications of image processing in agriculture: a survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 52, p. 34-40, 2012.

Von Bueren, S. K.; Burkart, A.; Hueni, A.; Rascher, A.; Tuohy, M. P.; Yule, I. J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, v. 12, p. 163-175, 2015.

Yang, Y.; Ding, J.; Zhang, Y.; Wu, J.; Zhang, J.; Pan, X.; Gao, C.; Wang, Y.; He, F. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature, photosynthetic characteristics and yield of winter wheat. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 299-30, 2018.