

CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS AVALIADO VISUALMENTE E POR IMAGENS AÉREAS

Saulo Felipe Brockes Campos*; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha*; Ernane Miranda Lemes**.

*Mestrado em Agronomia com ênfase em Fitotecnia pela Universidade Federal de Uberlândia.

**Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.

***Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Uberlândia.

*Autor para correspondência e-mail: jpcunha@ufu.br

PALAVRAS-CHAVE

Agricultura de Precisão
Monitoramento Agrícola
Plantas Infestantes
Processamento de Imagens

KEYWORDS

Precision Agriculture
Agricultural Monitoring
Weeds
Image Processing

RESUMO: O emprego de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) para obtenção de imagens no campo tem crescido e pode auxiliar o manejo de plantas daninhas, contudo, os softwares para análise e processamento das imagens precisam ser testados sob diferentes condições para o desenvolvimento das rotinas e validação dos resultados. O objetivo deste trabalho foi correlacionar os resultados da metodologia de avaliação visual, com escala de notas, com os resultados do processamento de imagens com os softwares SisCob[®] e ImageJ[®], na análise da ocorrência e eficácia de controle de plantas daninhas. As comparações foram feitas em dez áreas com diferentes níveis de infestação de plantas daninhas. A partir de uma área em pousio há quatro meses, submeteu-se a mesma a diferentes tratamentos de controle químico com herbicida glifosato, incluindo uma testemunha sem aplicação, variando taxa de aplicação (50, 90 e 150 L ha⁻¹), adição de adjuvante e presença de pulverização eletrostática. Após 35 dias da aplicação do herbicida, cada uma das áreas foi avaliada visualmente, e paralelamente foi feito o sobrevoo com uma ARP para coleta das imagens aéreas e posterior processamento digital, usando os dois softwares para quantificação em porcentagem do controle com o herbicida. Todas as correlações testadas (Pearson, Spearman e Kendall) foram significativas e positivas, indicando que o uso de ARPs para coleta de imagens e seu processamento através dos softwares demonstraram potencial como alternativa para a avaliação da infestação e controle de plantas daninhas, podendo substituir a avaliação visual com operador a campo, evitando a subjetividade e a morosidade.

WEED CONTROL ASSESSED VISUALLY AND BY AERIAL IMAGES

ABSTRACT: The employment of remotely piloted aircraft (RPA) for obtaining images in the field has grown and can assist the of management of weeds, however, the software for analysis and processing of images need to be tested under different conditions for the development of routines and validation of results. Therefore, the objective of this work was to correlate the results of the methodology of visual assessment (using scale of notes) with the results of the processing of aerial images with the software SisCob[®] and ImageJ[®] for the analysis of the occurrence and effectiveness of weed control. The comparisons were made in ten areas with different levels of weed infestation. A fallow area with four months has been submitted to the different treatments of chemical control with glyphosate herbicide, including a control without application, varying application rate (50, 90 and 150 L ha⁻¹), the addition of adjuvant and presence of electrostatic spray. After 35 days of herbicide application, each area was assessed visually, and, in parallel, the area was overflown with a RPA for image collection and subsequent digital processing, using both softwares for quantification in percentage of the control with the herbicide. All tested correlations (Pearson, Spearman and Kendall) were significant and positive, indicating that the use of RPA for image collection and their processing by means of the software demonstrated potential as an alternative for the evaluation of weed control, which may replace the visual assessment with operator in the field, avoiding the subjectivity and slowness in the evaluations.

Recebido em: 12/01/2021

Aprovação final em: 05/04/2021

DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i3.977>

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) vem ocupando espaço no setor agrícola, pois preconiza a aplicação de insumos em locais corretos e nas quantidades requeridas, constituindo-se em alternativa racional para a redução dos custos de produção, a diminuição dos problemas ambientais e o aumento da produtividade das culturas. Um de seus requisitos é monitorar as condições de crescimento das plantas (ANDERSEN; RENG; KIRK, 2005; BALASTREIRE; BAILO, 2001).

Tradicionalmente, a avaliação do controle de plantas daninhas, seja em experimentos ou em áreas comerciais, é feita por meio do emprego de escalas visuais seguindo a metodologia da ALAM (1974), muito sujeita à subjetividade e habilidade do avaliador. Rotinas computacionais adaptadas à avaliação de imagens aéreas coletadas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), também conhecidos como drone, poderiam melhorar a qualidade dos dados obtidos, bem como facilitar a coleta, sendo ainda um método economicamente viável devido a popularização destas aeronaves. Contudo, ainda não existem estas rotinas bem estabelecidas para distintas condições.

Com o advento das ARPs, tornou-se possível coletar fotos aéreas de altas resoluções espectrais e espaciais de maneira facilitada. Essas imagens do campo podem auxiliar no manejo de plantas daninhas indicando a localização das mesmas no campo. Porém, os softwares empregados para o processamento das imagens precisam ser testados sob diferentes condições para o desenvolvimento das rotinas e validação dos resultados, vindo à tona o desafio de desenvolver programas computacionais ou rotinas computacionais para aquisição, tratamento e análise das imagens aéreas captadas por câmeras embarcadas. Os equipamentos por si só não identificam plantas daninhas, pragas e doenças na lavoura.

O uso de técnicas de processamento a partir de imagens aéreas da cultura destaca-se como uma ferramenta de grande potencial para aquisição de parâmetros que auxiliam na tomada de decisão, reduzindo o tempo de observação no campo e a influência de condições atmosféricas (JORGE; CRESTANA, 2007). Assim, a análise de imagens desponta como um artifício capaz de identificar aspectos importantes da área agrícola como as propriedades e o estado de conservação do solo (MORAN, 2000). No entanto, existe a demanda de sistemas capazes de automatizar a análise de imagens da cobertura vegetal, permitindo a inspeção e quantificação rápida e precisa da eficiência de controle de diferentes tipos de plantas presentes na área analisada, auxiliando assim, a tomada de decisão.

Para o processamento das imagens aéreas podem ser utilizados vários softwares de processamento: ImageJ®, SisCob®, Multispec®, OpenDragon®, NisElements D®, QGIS®, ArcGIS®, TerraView®, entre outros. Através destes, após o processamento, há a possibilidade de se quantificar a porcentagem de plantas daninhas controladas por diferença na resposta espectral, permitindo fazer levantamentos de problemas nas áreas agrícolas, possibilitando o uso da AP para o posterior manejo do sistema agrícola e auxiliando o agricultor nas tomadas de decisões.

O software ImageJ é um programa de processamento de imagem desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Mental Health, EUA, em linguagem Java, de domínio público. Está em desenvolvimento desde 1997, e é capaz de exibir, editar, analisar, processar, calcular estatísticas e porcentagens de valores de área e pixel de seleção definidas pelo usuário, criar histogramas de densidade e gráficos, salvar e imprimir imagens de 8, 16 e 32 bits. Permite o processamento de diversos formatos de imagem como TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM e FITS entre outros (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012).

O ImageJ atua na imagem pela intensidade, ou nível de cinza dos pixels, calculando assim a área de interesse pela contagem de pixels das regiões selecionadas pelo usuário ou por um algoritmo específico (RASBAND, 2011). Apenas as imagens capturadas com o auxílio de ARP não são suficientes para a identificação de anomalias nas culturas monitoradas. Os softwares precisam ser utilizados para distinguir nas imagens o desenvolvimento de doenças, a ocorrência de insetos e plantas daninhas com auxílio do operador.

Outro software de análise de imagem é o SisCob (JORGE; SILVA, 2009), que é uma ferramenta de análise de cobertura do solo que utiliza de técnicas de redes neurais supervisionadas para a classificação de cores e processamento digital de imagens para quantificar as diferentes coberturas. Para se obter resultado satisfatório com a técnica de redes neurais é necessário que um especialista da área faça ou acompanhe o treinamento do programa SisCob de acordo com os padrões de cores que se deseja reconhecer. Ressalta-se que, quanto maior o número de padrões informados para o treinamento da rede, melhor será o resultado da classificação.

A utilização de ARPs e o processamento digital de imagens podem ser uma nova alternativa para a avaliação da eficácia de controle de plantas daninhas por meio de herbicidas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi correlacionar os resultados da metodologia de avaliação visual com os resultados do processamento de imagens com os softwares SisCob e ImageJ, na análise da ocorrência e eficácia de controle de plantas daninhas.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no Município de Uberlândia, MG. A área possui uma altitude de 842 metros com coordenadas geográficas 18°53'23,46" S de latitude e 48°20'27,46" O de longitude, topografia plana e segundo Koppen, clima do tipo Aw (Tropical úmido com inverno seco) (Figura 1).

Figura 1 – Imagem da área amostral antes da aplicação de herbicida.



Fonte: elaborado pelos autores.

A parte laboratorial foi conduzida no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC) do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), na Universidade Federal de Uberlândia, campus Umuarama, em Uberlândia, MG.

LEVANTAMENTO FLORÍSTICO

Antes da aplicação do herbicida, foi realizada uma estimativa de cobertura do solo pelas plantas daninhas incidentes na área a ser empregada no estudo. As porcentagens de infestação das principais espécies presentes nas parcelas foram: *Acanthospermum hispidum* DC. (Carrapicho-de-carneiro) (30%),

Commelina benghalensis L. (Trapoeiraba) (30%), *Amaranthus deflexus* (Caruru) (20%) e outras (20%) (*Ageratum conyzoides* L. (Mentrasto), *Raphanus raphanistrum* (Nabo ou nabiça), *Chamaesyce hirta* L. (Erva-de-santa-luzia), *Alternanthera tenela* (Apaga-fogo), *Portulaca oleracea* (Beldroega), *Bidens pilosa* (Picão-preto), *Cyperus rotundus* (Tiririca) e *Cortaderia selloana* (Capim-navalha).

A aplicação do herbicida foi realizada quando as plantas daninhas se encontravam em pós-emergência tardia com 40 a 60 cm de altura.

APLICAÇÃO DE HERBICIDA COM USO DA TECNOLOGIA DE PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA E ADJUVANTE ADICIONADO Á CALDA

Para a obtenção das diferentes áreas para efeito de comparação das metodologias de avaliação do controle de plantas daninhas, o experimento foi instalado a campo em blocos casualizado, com dez tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 parcelas, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 2$, sendo ausência e presença de pulverização eletrostática (Sistema ligado e desligado), ausência e presença de adjuvante, duas taxas de aplicação (50 e 90 L ha⁻¹), e dois tratamentos adicionais, um controle (sem aplicação de herbicida) e aplicação convencional (150 L ha⁻¹). Cada parcela foi dimensionada em 30 m² (6 x 5 m).

Utilizou-se o ingrediente ativo glifosato (Sal de Di-amônio N-(phosphonomethyl) glycine), na concentração de 445 g L⁻¹ de i.a. (370 g L⁻¹ equivalente ácido), formulação concentrado solúvel, na dose de 2 L ha⁻¹ de produto comercial (Roundup Original DI*), de acordo com o fabricante. Trata-se de um herbicida não seletivo, sistêmico, recomendado para o uso em dessecação, que deve ser aplicado nas plantas daninhas, já germinadas (pós-emergência). Utilizou-se um adjuvante multifuncional a base de lecitina de soja+ácido propiônico (LI 700*) na concentração de 712 g L⁻¹, formulação concentrado emulsionável, na concentração de 5 mL L⁻¹, ou 0,5% em relação ao volume de calda, tendo como referencial teórico a instalação futura da cultura do milho. A área aplicada estava em pousio há quatro meses sendo a soja a cultura anterior.

EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS NO CAMPO

Para aplicação dos tratamentos foi utilizado um pulverizador FM Copling, barra de 12 m com 24 bicos, com espaçamento de 0,5 m, acoplado ao sistema hidráulico de um trator modelo Ursus 4x2 2-85 de 85 cv (62,5 kW). Neste pulverizador foi instalado um sistema de pulverização eletrostática da marca SPE - Sistema de Pulverização Eletrostática (Porto Alegre, Brasil). O sistema produz um campo elétrico de alta voltagem (6950 V) na base do jato produzido por pontas de jato cônico vazio (Ponta SPE 1, com vazão de 0,265 L min⁻¹ a 300 kPa) carregando eletricamente as gotas. A carga é gerada devido ao campo elétrico produzido por anéis de indução conectados a um gerador de alta tensão. A pressão utilizada no trabalho foi de 2,5 bar (250 kPa), e a velocidade de deslocamento foi de 3,3 km h⁻¹, para a taxa de aplicação de 90 L ha⁻¹, e 6 km h⁻¹ para 50 L ha⁻¹. Para a aplicação convencional com taxa de aplicação de 150 L ha⁻¹, a velocidade foi de 6,5 km h⁻¹ e pressão de 3 bar (300 kPa), utilizando pontas de jato plano com indução de ar (Ponta AIXR11002, com vazão de 0,790 L min⁻¹ a 300 kPa).

As condições ambientais no momento da aplicação foram monitoradas por meio de um termo-higro-anemômetro digital: temperatura do ar entre 26,5 e 29 °C, umidade relativa entre 56,4% e 59,8% e velocidade do vento de até 4,5 km h⁻¹, sendo evitada a aplicação na ausência total de vento.

AValiação DA EFICÁCIA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

O objetivo da realização dos diferentes tratamentos a campo foi criar distintos cenários de desenvolvimento das plantas daninhas, de forma a permitir uma comparação das metodologias de avaliação mais robusta.

Na análise da eficácia de controle das plantas daninhas, inicialmente foi realizada a avaliação visual

de controle aos 35 dias após a aplicação do herbicida, mediante a escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por meio de herbicida, desenvolvida pela Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974) com as respectivas notas de porcentagem de controle (Tabela 1). O referencial visual de controle foi determinado e comparado com o controle sem aplicação de herbicida, sendo que a avaliação percentual de notas foi realizada para cada parcela separadamente.

Tabela 1 - Escala de avaliação visual de controle de plantas daninhas por herbicidas (ALAM, 1974).

Escala de Avaliação Visual de Controle de Plantas Daninhas						
Nota	1	2	3	4	5	6
Eficácia (%)	0-40	41-60	61-70	71-80	81-90	91-100
Denominação	Nenhum/Pobre	Regular	Suficiente	Bom	Muito Bom	Ótimo

Fonte: elaborado pelos autores.

Para a avaliação via processamento de imagens aéreas, o sobrevoo e a captura das imagens **aéreas** da área experimental foram realizados no mesmo dia da avaliação visual. Realizaram-se voos em uma altura média de 40 m em relação ao solo com a aeronave sobre a área experimental, visando quantificar a proporção de controle de plantas daninhas por diferenças de espectros, com auxílio dos softwares de processamento de imagem, ImageJ e SisCob. A análise das imagens geradas com a câmera com sensor na faixa espectral do visível (RGB) foi comparada com as avaliações tradicionais no campo por meio de escala de notas.

O modelo da ARP utilizado para a coletas das imagens aéreas foi o Phantom 4 Advance+, equipado com o sistema Flight Autonomy da DJI, composto por cinco sensores de visão e câmera de 20 megapixels, posicionamento por satélite de banda dupla (GPS e GLONASS), com quatro hélices, equipado com o sistema de transmissão Light bridge HD atualizado, elaborado pela empresa DJI.

PROCESSAMENTO DE IMAGENS AÉREAS COM AUXÍLIO DOS SOFTWARES IMAGEJ E SISCOB

Após a coleta das imagens aéreas com auxílio da ARP, os softwares foram separadamente aplicados para processar a imagem de cada parcela experimental de forma a verificar a distribuição das plantas daninhas e as quantificar em porcentagens relativas ao tratamento controle das plantas nas parcelas.

O software SisCob (JORGE; SILVA, 2009) utiliza de técnicas de classificação e processamento digital para quantificar alterações nos padrões da imagem. No presente trabalho, sua aplicação foi voltada para quantificar em porcentagem o controle químico das plantas daninhas da área de estudo, utilizando-se de recursos baseados em sistemas computacionais inteligentes. A operação da ferramenta é classificada como semiautomática, pois ainda depende de processos que exigem interferência do usuário, como criar as classes de classificação, inserir amostras e criar a rede neural.

Inicialmente foi necessário realizar um treinamento do sistema indicando manualmente o significado das cores em correspondência ao significado a campo, e selecionando os padrões nas imagens de acordo com os objetivos específicos. Foi informado o que era planta, palha e palhada seca, o que era sombra e o que era solo exposto, criando uma classe de padrões para o sistema inteligente. Após informar os padrões do campo no software, selecionou-se a rede criada e procedeu-se a classificação e processamento das imagens. Em seguida o programa disponibilizou a análise e visualização das imagens processadas com os respectivos resultados, discriminado em porcentagem de palha e palhada, planta e solo exposto.

No software ImageJ (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012), inicialmente a distribuição em intensidade de cor foi ajustada usando o comando Color Balance. Posteriormente, verificou-se a distribuição

das intensidades de cores RGB usando o comando de histograma. Em seguida, o programa disponibilizou a análise e visualização das imagens processadas com os respectivos resultados. Foram determinadas as percentagens de área/pixels em cada tonalidade e a partir daí calculou-se o controle a partir das áreas sem o espectro do verde.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após o processamento das imagens, procederam-se às comparações dos resultados entre as avaliações (visual e de imagens) por meio dos coeficientes de correlação de Pearson, Spearman e Kendall para as dez áreas. Os coeficientes de correlação de Pearson (1892), Spearman (1904) e Kendall (1938) foram calculados com o auxílio do software SPSS Statistics® (SPSS, 2011).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é utilizado para expressar quanto uma associação de variáveis quantitativas pode ser descrita por uma função linear. Esta correlação é calculada através da razão entre a variância conjunta, ou covariância, das duas variáveis e o produto de seus respectivos desvios padrão. Para evitar erros associados ao cálculo e à interpretação da correlação de Pearson é importante que os dados estejam normalmente distribuídos e ausentes de *outliers* (valores extremos) (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009), o que foi verificado.

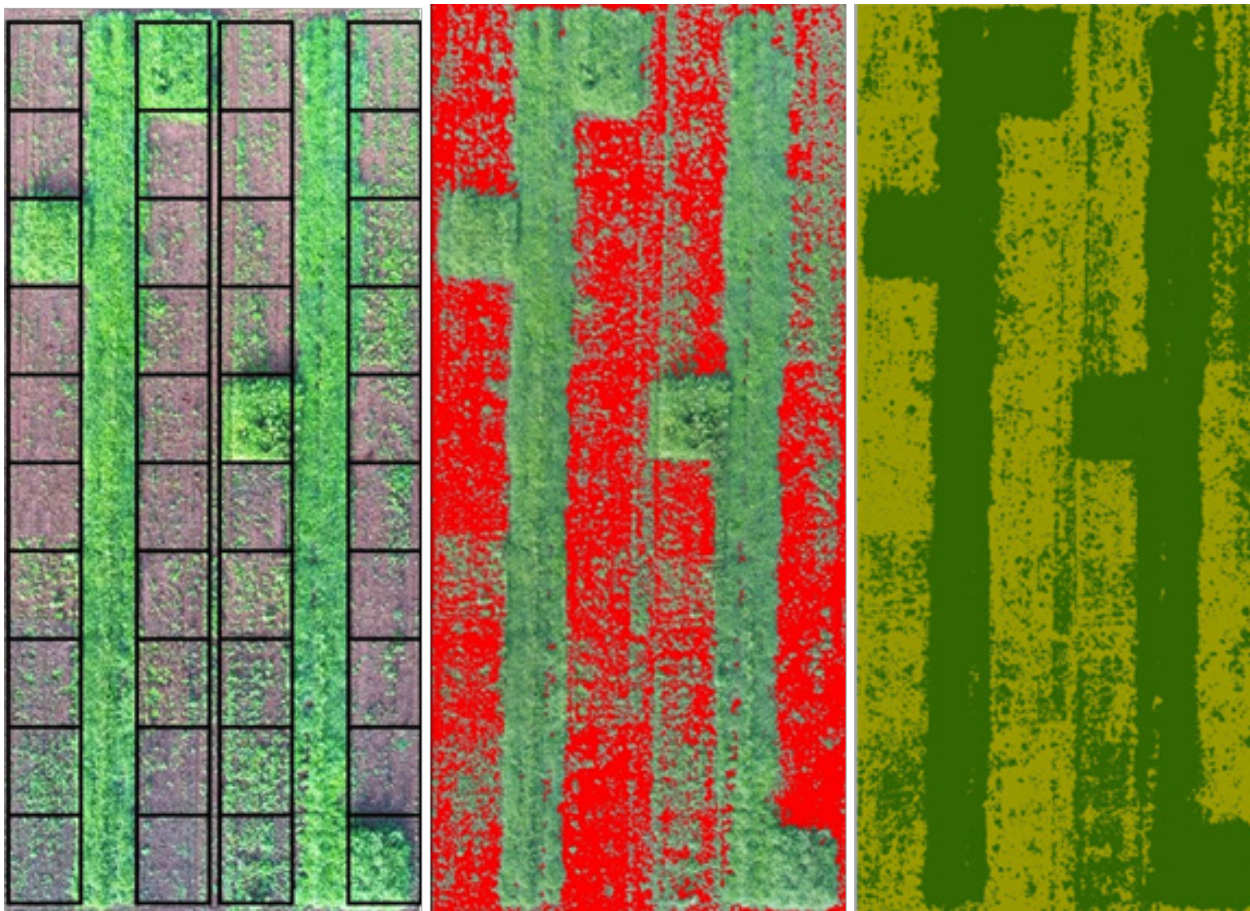
O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) é uma medida de dependência estatística não paramétrica entre duas variáveis ordinais que indica o quão bem uma relação pode ser descrita em uma função monotônica (função constante, crescente ou decrescente) que não necessariamente é linear. Diferentemente do coeficiente de correlação de Pearson (r), o coeficiente de correlação de Spearman não exige que as variáveis apresentem distribuição normal dos resíduos e nem a presença de outliers prejudica a dependência entre variáveis (SIEGEL, 1975).

O coeficiente de correlação de Kendall (τ), assim como o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), é uma medida de correlação não paramétrica para dados ordinais. No entanto, nesta correlação os dados de ambas as variáveis são posicionados em ranques e a concordância entre os ranques dos respectivos dados é utilizada para calcular o coeficiente. O coeficiente de correlação de Kendall representa, portanto, a probabilidade de ocorrência de pares de dados das variáveis que são concordantes das variáveis (KENDALL, 1970; SIEGEL, 1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem da área experimental com as distintas condições de ocorrência de plantas daninhas 35 dias após a aplicação do herbicida é apresentada na Figura 2. Por meio dos softwares SisCob e ImageJ pôde-se distinguir e quantificar as áreas com maior ou menor presença de plantas através de diferenças nas cores e tonalidades. Essa quantificação foi possível devido às diferentes intensidades das cores RGB que a imagem capturou nas parcelas do experimento, predominando o verde e o amarelo das plantas daninhas vivas e mortas e o marrom do solo exposto, facilitando a quantificação da porcentagem da eficácia de controle do herbicida.

Figura 2 - Imagem aérea da área experimental (n = 40) aos 35 dias após a aplicação de herbicida, antes (esquerda) e depois do processamento com o software ImageJ (centro) e SisCob (direita).



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Tabela 2, apresenta-se o percentual de controle das plantas daninhas por meio da avaliação visual e por análise de imagens aéreas e as três correlações testadas. A escala de avaliação visual é o método de avaliação referência, mas que está sujeito à habilidade e treinamento do observador para que o resultado não fique sub ou superestimado.

Tabela 2 - Correlação da porcentagem de controle de plantas daninhas, aos 35 dias após a aplicação do herbicida, determinada utilizando a escala visual de notas e imagens processadas pelos softwares SisCob e ImageJ em dez diferentes áreas.

Área	Metodologia de Avaliação			Correlações					
	Visual	Siscob	ImageJ	Pearson (r)		Spearman (ρ)		Kendall (τ)	
	(V)	(S)	(I)	V*S	V*I	V*S	V*I	V*S	V*I
I	83,8	69,0	58,8						
II	84,5	68,0	52,3						
III	81,3	71,5	51,0						
IV	82,0	70,8	50,0						
V	77,0	62,8	50,8						
VI	66,3	52,0	29,3	0,87**	0,80**	0,80**	0,67**	0,83**	0,66**
VII	81,3	77,0	63,3						
VIII	82,0	71,5	59,0						
IX	87,5	75,5	67,3						
X	0,0	0,5	0,5						
Média	72,6	61,9	48,2						

** : significativo a 0,01.

Fonte: elaborado pelos autores.

A metodologia de avaliação visual em relação à obtida por imagens, em geral, apresentou valores superiores, sendo em média 24,3% maior. Contudo, todas as relações testadas, Pearson, Spearman e Kendall, foram significativas ($p < 0,01$) e positivas. As correlações são medidas adimensionais de associação entre duas variáveis e variam entre “-1” (relação perfeitamente inversa) e “+1” (relação perfeitamente direta), sendo “0” a ausência de correlação ou “1” indicativo de correlação.

Na comparação entre a metodologia de avaliação visual e as imagens processadas pelo SisCob foram estimados elevados graus de ajustamento com correlações fortes, na faixa entre 0,70 e 0,89, para os três coeficientes, Pearson, Spearman e Kendall, segundo a classificação proposta por Devore (2006). Já para a correlação entre a metodologia de avaliação visual e as imagens do ImageJ, foram estimados elevados graus de ajustamento com correlações fortes, entre 0,70 e 0,89, para o coeficiente de Pearson, e correlação moderada, entre 0,4 e 0,69, para os coeficientes de Spearman e Kendall.

O coeficiente de correlação de Pearson (r), amplamente utilizado para expressar quanto uma associação de variáveis quantitativas pode ser descrita por uma função linear, foi o único coeficiente com elevado grau de ajustamento para ambos os softwares utilizados. Já os coeficientes de correlação de Spearman e Kendall são medidas de correlação não paramétrica para dados ordinais, sendo que o primeiro indica o quão a correlação pode ser descrita por uma função monotônica, e o segundo representa a probabilidade de ocorrência de pares dos dados ranqueados (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

Destaca-se que em todas as análises de correlação ficou evidente o bom ajuste da metodologia de análise de imagens com a metodologia de avaliação visual. Essa metodologia tradicional necessita da

presença do avaliador em cada talhão, o que o expõe mais aos riscos de campo, é trabalhosa, demorada e ainda pode ser influenciada pela experiência do avaliador e pela subjetividade natural de avaliações visuais (PÉREZ-ORTIZ *et al.*, 2015).

Portanto, a avaliação por meio de imagens obtidas com ARP e processadas com os softwares SisCob ou ImageJ tem potencial para uso como alternativa à metodologia de avaliação com notas e escalas visuais. Há ainda a necessidade de se treinar ao máximo essa metodologia para calibração dos resultados e lapidação das rotinas para que se torne mais robusta, precisa e confiável.

CONCLUSÕES

O uso de ARP para coleta de imagens aéreas e seu processamento digital demonstraram potencial como alternativa para a avaliação da infestação e controle de plantas daninhas, permitindo o seu mapeamento e o emprego de técnicas mais precisas de manejo agrícola.

Avaliações com o processamento das imagens aéreas utilizando os softwares SisCob ou ImageJ apresentaram moderada a forte correlação positiva com a avaliação visual da eficácia de controle de plantas daninhas. No entanto, há necessidade de se aprofundar os estudos na busca por valores mais próximos entre os métodos de análise, no que se refere aos valores de percentual de controle.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, H. J.; RENG, L.; KIRK, K. Geometric plant properties by relaxed stereo vision using simulated annealing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 49, n. 2, p. 219-232, 2005.

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

BALASTREIRE, L. A.; BAILO, F. H. R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Thomson Pioneira, 706 p, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. Processamento de imagens em ciência do solo: raízes, morfologia e cobertura do solo. In: MARTIN NETO, L.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S. (Ed.). **Instrumentação avançada em ciência do solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p. 341-438, 2007.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob: manual de utilização**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p.18, 2009.

KENDALL, M. G. A new measure of rank correlation. **Biometrika**, v. 30, n. 1-2, p. 81-89, 1938.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4 ed. Londres: Griffin, p. 51, 1970.

MORAN, M. S. New imaging sensor technologies suitable for agriculture management. **Aspects of**

Applied Biology, v. 60, p. 1-10, 2000.

PÉREZ-ORTIZ, M.; PEÑA J. M.; GUTIÉRREZ P. A.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; HERVÁS-MARTÍNEZ C.; LÓPEZ-GRANADOS F. A weed monitoring system using UAV-imagery and the hough transform. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MALHERBOLOGÍA, 15., 2015, Sevilla. **Anais...** Sevilla: CAPDR, p. 7. 2015.

PEARSON, K. **The grammar of science**. Londres: Walter Scott, p. 493, 1892.

RASBAND, W. S. **ImageJ**. Bethesda, Maryland: U. S. National Institutes of Health, 2011. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij>. Acesso em: 25 maio 2020.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, p. 350, 1975.

SPEARMAN, C. General intelligence, objectively determined and measured. **American Journal of Psychology**, v. 15, p. 201-293, 1904.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.