

USO DE IMAGENS DIGITAIS PARA ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DA CANOLA

Genei Antonio Dalmago¹; Jorge Alberto de Gouvêa¹; Gilberto Rocca da Cunha¹;
Matheus Boni Vicari²; Samuel Kovaleski³

¹ Pesquisador Embrapa Trigo; ²Aluno de doutorado da UCL, Londres; ³Aluno de doutorado da UFSM.

RESUMO

A determinação da área foliar de uma espécie vegetal é tarefa que demanda tempo e esforço para garantir a obtenção de dados precisos. Por isso, a evolução dos métodos de determinação, a simplificação e a adaptação dos mesmos são estratégias de pesquisa presentes em produção vegetal e em áreas correlatas. O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a efetividade do método de estimativa da área foliar da canola a partir de imagens digitais. Para isso, foram coletadas folhas de diferentes tamanhos, em dois experimentos, em 2013 e em 2014, com distintos tratamentos com nitrogênio aplicado em cobertura. A área foliar de cada folha foi medida com um planímetro ótico (método padrão) e, posteriormente, foram fotografadas com máquina fotográfica digital (método em avaliação). As imagens obtidas foram processadas automaticamente por meio de algoritmo desenvolvido especificamente para este fim, para estimativa da área foliar. A validação do método das imagens digitais foi feita por meio de análise de regressão e de indicadores estatísticos. Houve elevada associação entre a área foliar estimada pelas fotografias digitais e aquela medida pelo método padrão ($r^2 = 0,9938$). Os erros de estimativa foram baixos, com o erro sistemático menor do que o aleatório, indicando desempenho satisfatório da estimativa da área foliar. A área foliar da canola pode ser estimada por meio de fotografias digitais de folhas, obtidas com máquinas digitais comerciais.

Palavras-chave: *Brassica napus* L. var *oleifera*, área foliar, metodologia de avaliação.

INTRODUÇÃO

A área foliar é a principal estrutura biológica envolvida na interceptação de radiação solar, produção fotossintética, evapotranspiração e diversos outros processos importantes na planta, com reflexos no rendimento final de grãos (FAVARIN et al., 2002; KIRKEGAARD et al., 2014). Portanto, a determinação precisa da área foliar é fundamental para a compreensão de respostas da canola a fatores do ambiente e do manejo da cultura, uma vez que a canola é altamente plástica e tem capacidade de compensação de espaços e de adaptação aos ambientes (JULLIEN et al., 2011; KRÜGER et al., 2016).

Há várias formas de determinação da área foliar de uma espécie vegetal, usando modelos matemáticos (LIMA et al., 2012; MOTA et al., 2014; RICHTER et al., 2014), equipamentos eletrônicos ópticos (O'NEAL et al., 2002), medidas da transmissão direta e/ou difusa da luz (COELHO FILHO et al., 2012) e fotografias digitais (MARTIN et al., 2013). Este último método tem a vantagem da rápida e fácil aplicação, devido à popularização de câmaras fotográficas digitais de alta resolução. O método de estimativa da área foliar da canola por meio de fotografias digitais foi usado como padrão de referência por Cargnelutti Filho et al. (2015), visando à elaboração de modelos de estimativa da área foliar da cultura. Todavia, esses autores não avaliaram o referido método quanto a sua efetividade para tal fim. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade do método de estimativa da área foliar da canola a partir de imagens digitais.

MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram conduzidas em dois experimentos instalados na área experimental da Embrapa Trigo em Passo Fundo, RS (28°11'40"S; 52°19'20"W; 713 m de altitude), nos anos de 2013 e de 2014. A região apresenta clima Cfa, segundo a classificação de Köppen, em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos de doses de nitrogênio: 10 kg/ha, 20 kg/ha, 40 kg/ha, 80 kg/ha e 160 kg/ha, para causar variabilidade no crescimento e na morfologia foliar da canola. As sementeiras foram realizadas em 22/04/2013 e em 29/04/2014, com semeadora acoplada a trator. O espaçamento foi de 34 cm entrelinas e a densidade de plantas foi de 40 plantas por m². A adubação de base e os tratamentos de cobertura com nitrogênio, na forma de ureia, foram descritos em FOCHESSATTO (2015) e PINTO (2015). Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura e de acordo com as indicações para cada situação específica. Utilizou-se o híbrido de canola Hyola 61.

A coleta de folhas foi realizada próximo ao florescimento. Em 2013, foram amostradas aleatoriamente 10 folhas em cada tratamento, totalizando 50 folhas, e em 2014 foram amostradas, aleatoriamente, 36 folhas por tratamentos, sendo retiradas dos extratos basal, intermediário e apical, totalizando 180 folhas. Após a retirada das folhas, foi determinada a área foliar individual, em planímetro ótico (método padrão), marca LI-COR modelo 3100-C. Após, as folhas foram fotografadas individualmente, com máquina fotográfica digital marca Sony, modelo Cyber-Shot/Smile Shutter, com 12.1 megapixels de resolução, juntamente com uma referência de papel, com dimensões conhecidas (referência conhecida). Para o registro fotográfico das folhas, a resolução da máquina foi de 9 megapixels e a máquina foi fixada em suporte de base fixa, própria para a captação de fotografias desta natureza.

A área foliar da canola das imagens fotográficas foi determinada relacionando o número de pixels da área de referência e o número de pixels da área da folha. Para isso, as fotografias foram tratadas para aumentar o contraste entre folha, referência e fundo da fotografia, a fim de aumentar a precisão da contagem do número de pixels. A contagem dos pixels foi feita automaticamente, com algoritmo desenvolvido especialmente para esse fim. Nessa rotina, o software utilizado importou as fotografias selecionadas e classificou em folha, referência e fundo automaticamente e, a partir disso, calculou a área da folha e exportou o resultado em formato de tabela.

Os pares de dados de área foliar dos experimentos de 2013 e 2014 foram utilizados conjuntamente, em que a área foliar das imagens digitais foi relacionada com a área foliar medida no planímetro ótico (método padrão) pelo método da regressão, com avaliação dos desvios para inferir o desempenho do método das fotografias digitais. Para a avaliação do desempenho, foi utilizado conjunto de sete estatísticas: erro médio (ME), erro médio absoluto (MAE), erro médio relativo (EMR), raiz do quadrado médio do erro (RMSE), índice de concordância (d) e índice de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação gráfica da relação entre a área foliar da canola, determinada por imagens digitais, apresentou elevada associação com a área foliar medida pelo método padrão (Figura 1), devido ao elevado coeficiente de determinação (r^2) e pela aderência da reta de regressão linear e dos pontos à linha 1:1. O coeficiente angular da reta de regressão é outro indicador da precisão da estimativa da área foliar da canola, por meio de imagens digitais (valor próximo a 1) (RICHTER et al., 2014), com desvio inferior a 4%. Desempenhos satisfatório do método de estimativa de área foliar por meio de imagens digitais foram relatadas para a soja (ADAMI et al., 2008) e o feijão (MARTIN et al., 2013).

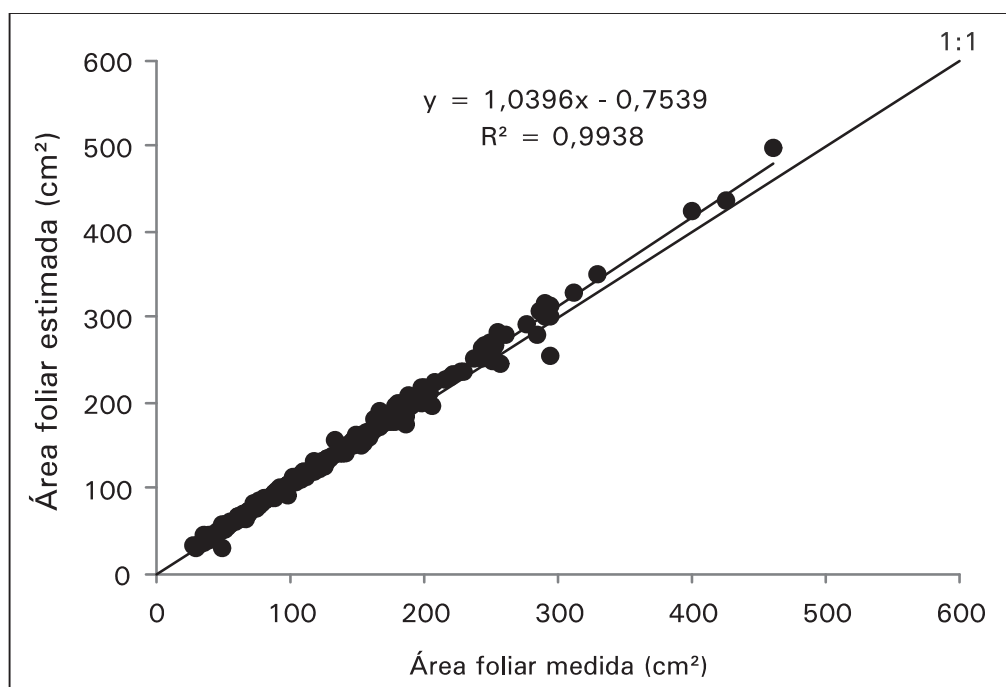


Figura 1. Relação entre a área foliar estimada a partir de fotografias digitais com a área foliar medida com planímetro ótico para a canola. Passo Fundo, RS, 2017.

Apesar da avaliação gráfica associada a estatísticas básicas ter se mostrado satisfatória, a mesma pode esconder imperfeições do método de estimativa, sendo, portanto, conveniente avaliar o método por meio de estatísticas mais robustas para verificar a repetibilidade da resposta. Verificou-se que o elevado ajuste foi confirmado pelos demais índices estatísticos utilizados (Tabela 1). O índice ME, que avalia a sub ou superestimativa, quando positivo ou negativo, respectivamente, apontou superestimativa, conforme a análise gráfica, com margem de erro de 4,3%, apontada pela estatística EMR, um pouco abaixo do MAE, que foi próximo a 6.

Tabela 1. Estatísticas de avaliação da relação entre a área foliar estimada a partir de fotografias digitais e a área foliar medida com planímetro ótico para a canola. Passo Fundo, RS, 2014.

Variável	Estatística de avaliação de desempenho							
	ME	MAE	EMR (%)	RMSE	Es	Ea	d	c
Índice	-4,62	5,95	4,30	8,64	5,60	6,58	0,99	0,99

ME = erro médio da estimativa do modelo; MAE = erro médio absoluto das estimativas do modelo; EMR = erro médio relativo das estimativas do modelo; RMSE = raiz do quadrado médio do erro de predição do modelo; Es = erro sistemático do RQME; Ea = erro aleatório do RMSE; d = índice de concordância; c = índice de confiança.

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

A estatística RMSE, que representa o erro médio da relação entre as duas variáveis, indicou valor de 8,64 cm² de área foliar, estando fora do limite inferior dos dados utilizados neste trabalho, o que é considerado satisfatório. A decomposição do RMSE, nas partes do erro sistemático (Es) e do erro aleatório (Ea), indica que o método de estimativa da área foliar por meio de fotografias digitais apresenta desempenho satisfatório, considerando que o Ea foi superior a Es. Um bom método deve apresentar o erro sistemático inferior ao erro aleatório.

Resposta satisfatória do desempenho das fotografias digitais também é dada pelo índice d, que avalia o grau em que as simulações do modelo são livres de erro, representando a exatidão do modelo. O mesmo varia de 0, quando não tem concordância, a 1, quando a concordância é perfeita entre as variáveis relacionadas. No presente trabalho, o valor foi de 0,99 (Tabela 1). O índice "c" concorda

com os demais indicadores e, com base nos critérios apresentados por Camargo e Sentelhas (1997), permite classificar o método das fotografias digitais como ótimo. Entretanto, a escolha do método a ser utilizado depende de fatores como o grau de precisão exigido no experimento, das características morfológicas e fisiológicas da espécie estudada e dos recursos financeiros disponíveis (MIELKE et al., 1995).

CONCLUSÕES

O método de estimativa baseado em imagens digitais apresenta elevada acurácia na estimativa da área foliar da canola, em relação ao método padrão.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; LUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Estimativa da área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400030>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; KLEINPAUL, J. A. Estimação da área foliar de canola por dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 139-148, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0388>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- COELHO FILHO, M. A.; VILLA NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 529-538, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500009>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600005>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- FOCHESATTO, E. **Acúmulo de matéria seca de síliquas e taxa de crescimento de grãos de canola sob doses de nitrogênio e datas de semeadura**. 2015. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- JULLIEN, A.; MATHIEU, A.; ALLIRAND, J. M.; PINET, A.; REFFYE, P. de; COURNE, P. H.; NEY, B. Characterization of the interactions between architecture and source-sink relationships in winter oilseed rape (*Brassica napus*) using the GreenLab model. **Annals of Botany**, London, v. 107, n. 5, p. 765-779, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcq205>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- KIRKEGAARD, J. A.; SPRAGUE, S. J.; LILLEY, J. M.; MCCORMICK, J. I.; VIRGONA, J. M.; MORRISON, M. J. Physiological response of spring canola (*Brassica napus*) to defoliation in diverse environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 125, p. 61-68, 2014. Disponível em: <<http://doi.10.1016/j.fcr.2011.08.013>>. Acesso em: 12 maio 2016.

- KRÜGER, C. A. M. B.; MEDEIROS, S. L. P.; SILVA, J. A. G. da; DALMAGO, G. A.; VALENTINI, A. P. F.; WAGNER, J. F. Rapeseed population arrangement defined by adaptability and stability parameters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 36-41, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p36-41>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- LIMA, R. T. de; SOUZA, P. J. O. P. de; RODRIGUES, J. C.; LIMA, M. J. A. de. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000400003>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- MARTIN, T. N.; MARCHESI, J. A.; SOUSA, A. K. F. de; CURTI, G. L.; FOGOLARI, H.; CUNHA, V. S. Uso do software IMAGEJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciência**, Caracas, v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33929617004>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- MIELKE, M. S.; HOFFMANN, A.; ENDRES, L.; FACHINELLO, J. C. Comparação de métodos de laboratório e de campo para a estimativa da área foliar em fruteiras silvestres. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 82-88, 1995. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161995000100015>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- MOTA, C. S.; LEITE, H. G.; CANO, M. A. O. Equações para estimar área foliar de folíolos de *Acrocomia aculeata*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 79, p. 217-224, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.684>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- O'NEAL, M. E.; LANDIS, D. A.; ISAACS, R. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 95, n. 6, p. 1190-1194, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/10939851_An_Inexpensive_Accurate_Method_for_Measuring_Leaf_Area_and_Defoliation_Through_Digital_Image_Analysis>. Acesso em: 12 maio 2016.
- PINTO, D. G. **Resposta espectral da canola em função da adubação nitrogenada**. 2015. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRÄULICH, B.; ROCHA, T. S. M. da; WINCK, J. E. M.; CERA, J. C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 416-425, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0179>>. Acesso em: 12 maio 2016.