

## MÉTODOS DE ESCALA E CÂMERA DIGITAL COMUM PARA MENSURAÇÃO FOLIAR DE PLANTAS EM CAMPO E EXPERIMENTAÇÃO\*

GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS<sup>1</sup>, LUCAS SIMIONI LIMA DOURADO<sup>2</sup>, MAURO CARLOS MOREIRA FILHO<sup>3</sup>, WALTOÍRES REIS DA SILVA JÚNIOR<sup>4</sup>, DELVIO SANDRI<sup>5</sup>

\*Parte das patentes BR 10 2012 021299-4 e BR 10 2012 033537-9 solicitadas ao INPI

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, FAV, UnB, Brasília ó DF, gervasiorios@unb.br

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, Bolsista Remunerado PIBIC, FAV, UnB, Brasília ó DF

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Participante Voluntário PIBIC, FAV, UnB, Brasília ó DF

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestre em Agronomia, FAV, UnB, Brasília ó DF

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Doutor, FAV, UnB, Brasília ó DF

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** Área foliar é a principal medida relacionada à fotossíntese, biomassa, evapotranspiração, ataque de pragas, e sua mensuração é feita por amostragem destrutiva ou não, por diferentes instrumentos, caros e importados. Nesse contexto, propôs-se avaliar o desempenho de dispositivos/métodos de imagem para medir a área foliar, projeção copa e fração de cobertura do *Capsicum annum*, por 2 observadores em amostragem destrutiva e não, e; recomendar ou não o uso desses dispositivos. Para isso, em um experimento, usou-se câmera digital, lasers, suportes de referência de escala das imagens, dispositivos da câmera de articulação flexível e projeção de um par de lasers, diversos ensaios, calibração e validação de desempenho em 2 ensaios cujas escalas foram processadas no ImageJ® por 2 observadores independentes, pelos métodos de referência de escala Laser, Papel e Régua para medir área foliar; diâmetros e área de projeção da copa e fração de cobertura do solo. Concluiu-se que: o dispositivo laser de acoplamento à câmera digital comum, seus modelos e métodos foram satisfatórios na determinação de escala da imagem, área foliar e fração de cobertura do solo pelo pimentão, com e sem a necessidade de destruição da planta, nos 2 ensaios pelos distintos observadores, e; todos os dispositivos e métodos utilizados na estimação dos diferentes parâmetros biométricos no campo foram satisfatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Área foliar, Fenologia, Laser.

## METHODS OF SCALING AND DIGITAL CAMERA COMMON FOR MEASUREMENT AT LEAF IN PLANTS OF FIELD AND EXPERIMENTATION\*

**ABSTRACT:** The leaf area is the main measure related to photosynthesis, biomass, evapotranspiration, pest attack, and its measurement made by destructive sampling or not, different instruments, expensive and imported. In this context, proposed to evaluate the performance of devices/imaging methods to measure leaf area, projection of the cup and *Capsicum annum* cover fraction by 2 observers, per destructive sampling and not, and; recommend or not the use of these devices. To this end, in one experiment, digital camera was used, lasers, scale of reference media of images, flexible hinge camera devices and projection of a pair of lasers several tests, calibration and performance validation in 2 trials whose scales were processed in ImageJ® by independent 2 observadores, the scale of reference methods Laser, paper and ruler to measure leaf area, diameters of the projection of the cup and ground cover fraction. It was concluded that: the laser device, the common digital camera coupling models and methods were satisfactory in determining the image scale and leaf area, ground cover fraction by chili with and without destruction of the plant, for testing and different observers; all the devices and methods used in the estimation of the different biometric parameters in the field were satisfactory.

**KEYWORDS:** Leaf area, Phenology, Laser.

## INTRODUÇÃO

Área foliar em fenologia é a principal medida de fotossíntese, produção de biomassa, evapotranspiração, escala fenológica, ataque de pragas (Jorge & Silva, 2009; Santos et al., 2010), manejo agrometeorológico, enfim, está direta ou indiretamente relacionada ao desenvolvimento da planta (Allen et al., 1998). A metodologia de mensuração (Brito & Coelho Filho, 2007; Marcon et al., 2011; Reiss & Tommasselli, 2003; Peixoto et al., 2011), direta ou indireta, conforme o caso, pode ser mais onerosa e trabalhosa no campo e requerer equipamentos caros, equações e parâmetros prévios, amostragem, destruição ou não da planta (Severino et al., 2004; Kaur et al., 2014; Benincasa, 2003), ou como ocorre nesse trabalho, servir de alternativa a instrumentos caros e importados (LI-Cor 3100c, LAI-2200). A fenologia é o estudo do processo de desenvolvimento e crescimento das plantas, através de medição de diferentes parâmetros morfofisiológicos pontualmente no ciclo de desenvolvimento para se criar um quadro fenológico. Dentre os parâmetros utilizados no estudo da fenologia de uma espécie temos medição de superfície ó que é a medição da área superficial das folhas, medição de biomassa seca, volume de raízes entre outros. Esses parâmetros quantitativos são usados para se modelar e quantificar as fases de crescimento de uma planta. A representação do quadro fenológico do pimentão no experimento baseou-se na área foliar. Nesse sentido, o pimentão (*Capsicum annuum*) da família das pimentas é uma das 10 hortaliças mais importantes no mundo. Ocorrendo de forma natural por quase toda a extensão do continente Americano, apresenta o Brasil como um importante centro de diversidade do gênero com mais de 20 espécies conhecidas, porém estudos mostram que muito há para se descobrir. O centro de origem abrange as regiões andinas ó Argentina a Venezuela, além da costa do litoral brasileiro. Planta de vida herbácea, folhas simples e alternas. Fruto do tipo baga com ampla variação de cores, sementes pequenas, e flores estreladas. O gênero *Capsicum* diferentemente do gênero *Piper* de origem europeu (pimenta do reino), apresenta características de pungência por conta dos alcaloides como Capsaicina e Diidrocapsaicina presentes. O cultivo de pimentas ocorre praticamente em todas as regiões do país e é um dos melhores exemplos de agricultura familiar e de integração pequeno agricultor-agroindústria. A área anual cultivada é de cerca de dois mil ha e os principais estados produtores são Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Ceará e Rio Grande do Sul (Oliveira et al., 2011; Moreira et al., 2009). Segundo Pereira & Machado (1987) o maior rendimento foi verificado quando as plantas atingiram o máximo de área foliar, permitindo a afirmação de que o rendimento de frutos de pimentão depende diretamente do crescimento da área foliar da planta. O rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar. Metodologicamente a medição de área foliar pode ser realizada direta ou indiretamente. O primeiro é oneroso e depende de equipamentos caros dificultando o uso no campo. O segundo pode-se basear-se em dimensões foliares (comprimento, largura, comprimento x largura), aonde por meios de equações previamente estudadas pode-se relacionar essas dimensões e assim dimensionar a área foliar, ou então como feito no experimento através de fotografias medir-se a área foliar por meio de software como o ImageJ®. A motivação desse estudo teve origem na necessidade de mensuração de parâmetros biométricos das plantas, sob distintas condições experimentais de campo e finalidades relacionadas: às estimativas de consumo de água (evapotranspiração); capacidade fotossintética das plantas (produção de biomassa, taxa de ocupação/ cobertura do solo, estádios e escala fenológica do ciclo da cultura) e; às análises do ataque de pragas e doenças (intensidade/ severidade, nível de dano econômico e manejo agrometeorológico); assim como, pelas dificuldades de obtenção dessas medidas no campo, em decorrência, dentre outros fatores, do elevado custo operacional e, ou uso de instrumentos quase sempre caros e importados (a exemplo do LI-Cor 3100c Portable Leaf Area Meter, LI-Cor 3000c, LAI-2200, CI-202 Leaf Area Meter, entre outros).

Nesse contexto, propôs-se com este estudo avaliar o desempenho de dispositivos/métodos de imagem para medir por dois observadores: a) projeção e fração de cobertura do solo pelo *Capsicum annuum*, e a; b) área foliar unitária e total da planta por amostragem destrutiva e não, e; c) recomendar ou não o uso desses dispositivos, indicando o método mais adequado para medir cobertura e área foliar da planta, conforme condições de aplicação e praticidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Local do experimento e delineamento experimental*

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa (FAL), localizada nas coordenadas 15°56' a 15°59'S e 47°55' a 47°58'W. A altitude média é de 1100 m, e conforme a classificação de Köpen, o clima da região é do tipo Aw, sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa, que ocorre de outubro a abril e outra fria e seca de maio a setembro (NIMER 1989). A temperatura média entre os anos de 1993 a 2013 foi de 22,1°C com precipitação média anual de 1468,6 mm. O solo é ácido a muito ácido, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (LIBANO e FELFILI 2006). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013), textura muito argilosa e situada em relevo plano. O experimento realizado na FAL/UnB, 2015/16, em blocos casualizados (DBC), 4 repetições, com pimentão fertirrigado, espaçados de 0,50 x 0,80 m, seis tratamentos (T1, T2...) fertirrigados com água e Efluentes de Esgoto Tratado (EET), sendo: T1 (solo sem adubação e irrigado com água de rio); T2 (solo sem adubação e irrigado com efluentes de esgoto tratado, EET); T3 (solo com adubação complementar e irrigado com EET); T4 (solo com correção mineral e irrigado com água de rio); T5 (solo com correção mineral e irrigado com EET), e; T6 (solo com correção mineral, adubação complementar utilizada no T3 e irrigado com EET). O esgoto tratado foi oriundo do refeitório e dos banheiros da FAL/UnB.

### *Cultura, sistema de irrigação e manejo*

Foi utilizada a cultivar de pimentão (*Capsicum annuum* L.), híbrido Canário F1, de propriedade da Agrocinco, indicado para cultivo em campo aberto e estufa. As mudas foram obtidas no viveiro GRECCO, em bandejas de isopor com 128 células, com aproximadamente 15 cm de altura e 60 dias de germinação. A irrigação será por gotejamento superficial com tubos de 12 mm de diâmetro, instalados na linha de plantio e com espaçamento entre emissores determinado em função do diâmetro do bulbo molhado formar uma faixa molhada contínua. O emissor utilizado será do tipo labirinto, com vazão nominal de 2,0 L h<sup>-1</sup> na pressão de 120 kPa, ajustada por um regulador de pressão na entrada das parcelas. O manejo da irrigação com turno de rega fixo foi realizado com a lâmina de irrigação aplicada obtida via clima com a demanda hídrica da cultura estimada pela evapotranspiração E<sub>To</sub> calculada a partir de dados climáticos fornecidos por uma estação meteorológica próxima ao experimento, K<sub>s</sub> = 1 e K<sub>c</sub> variável com ciclo da cultura.

### *Dispositivos protótipos, Métodos de escala, processamento, Avaliações e Variáveis coletadas*

Usou-se câmera digital comum, Olympus (mod. FE340 de 8megapixel), lasers do tipo chaveiro (ou apontador de slides), suportes de referência de escala das imagens, dispositivos da câmera de articulação flexível (m.A2) e projeção de um par de lasers (m.L1), por amostragem destrutiva e não-destrutiva, equações empíricas e método do disco foliar (m.D), diversos ensaios, calibração e validação de desempenho realizados entre 17/12/2015 e 12/2/2016. As escalas em 2 ensaios foram processadas no ImageJ® por 2 observadores independentes, conforme os métodos de referência de escala Laser, Papel e Régua para: número de folhas por planta (NF, > 3cm); diâmetros (d1, d2 e dm, respectivamente, medidos a partir do caule central com uso da régua), área (A<sub>proj</sub>) e fração de projeção ou cobertura do solo (f<sub>c</sub> = Proj.copa/Área útil por planta); matéria seca de folhas, caules e raízes (MSF, MSC e MSR, obtida em estufa de circulação forçada a 65°C por 48h, de folhas por planta (apenas limbos foliares), caule por planta (exceto frutos, flores, etc.) e do sistema radicular por planta, respectivamente); área foliar unitária e por planta e por escala padrão do papel (A.papel e A.laser) e; índice de área foliar. Os métodos, acessórios e o dispositivo laser que funciona acoplado a uma câmera fotográfica digital ou analógica comum são ilustrados nas Figuras 1 e 2.

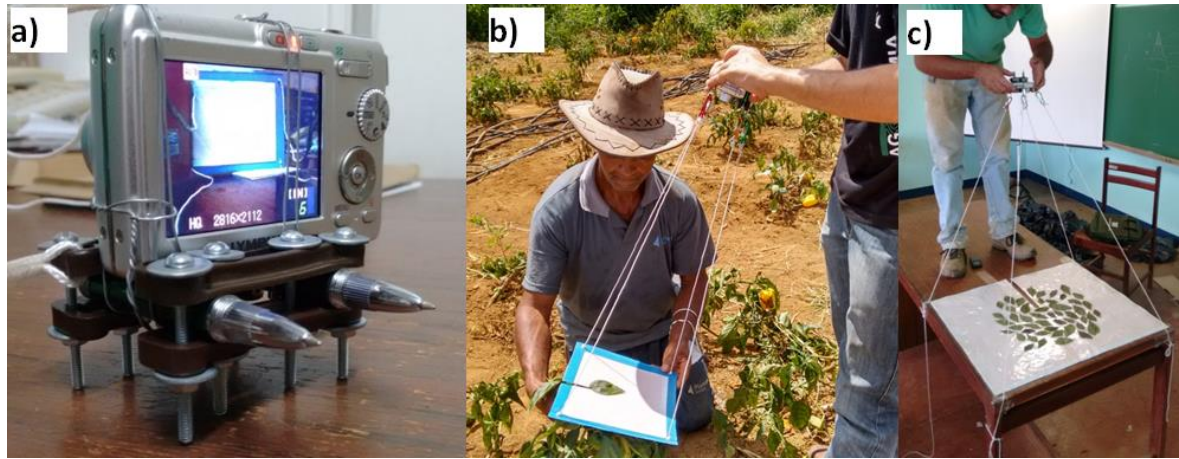


FIGURA 1. Ilustração do protótipo m.L1 indicado os lasers do tipo apontador de slides (a) e os modelos (m.A2 e m.L1) utilizados em amostragem não-destrutiva (b) destrutiva (c).

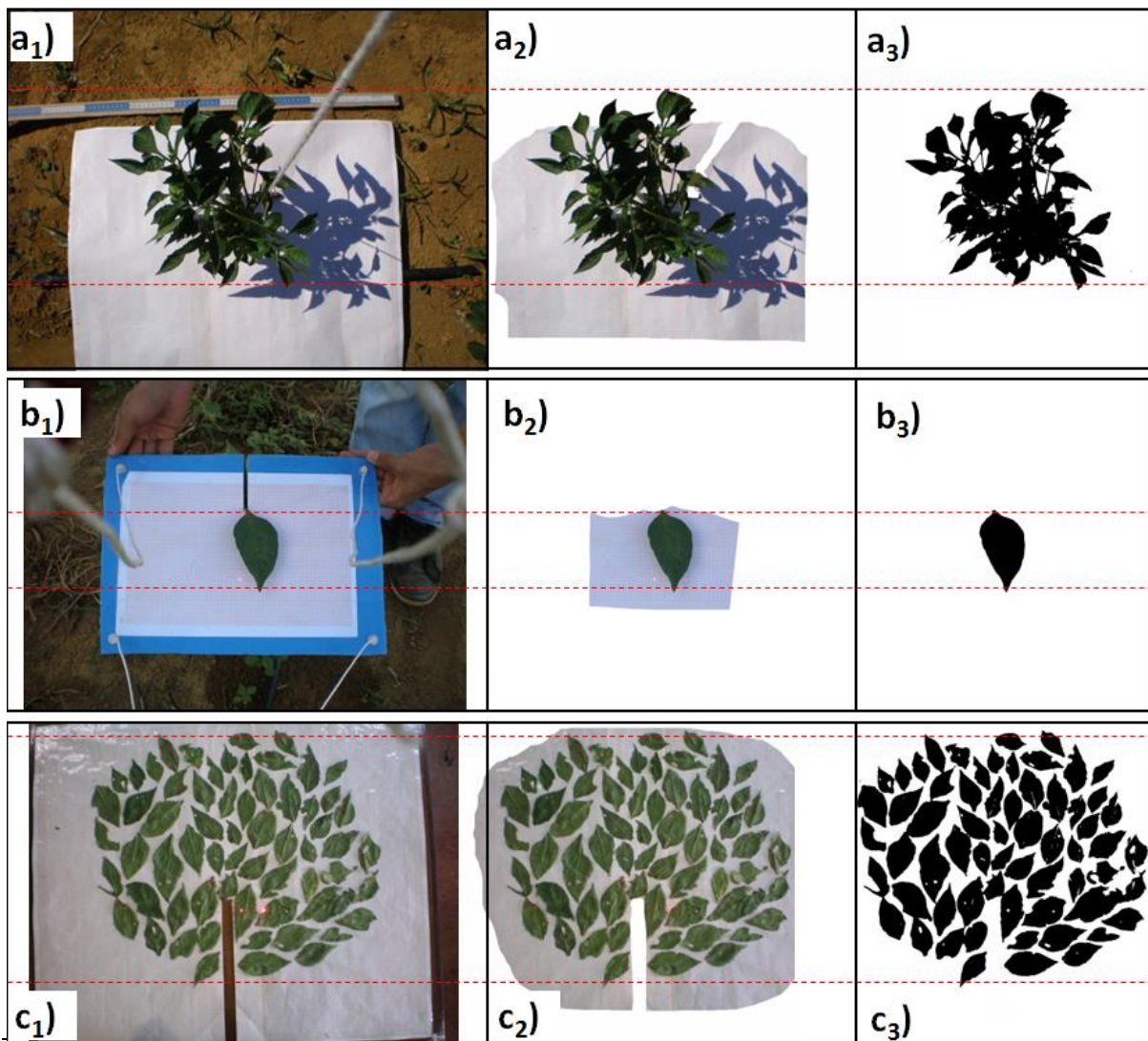


FIGURA 2. Ilustração dos métodos de amostragem e referencial de escala (a1, b1 e c1), pré-processamento (a2, b2 e c2) e binarização da imagem processada no software ImageJ® (a3, b3 e c3) para estimativa da projeção de copa (a) e área foliar da planta, mediante referência de escala do papel milimetrado (a, b e c), régua (a) e do laser (a, b e c) por amostragem indestrutível (a e b) e destrutível (c) da planta pelos dispositivos de articulação flexível (m.A2) e projeção do par lasers (m.L1) acoplados à câmera digital.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise estatística dos resultados

Os dados gerados foram analisados estatisticamente para validação e avaliação do desempenho dos dispositivos e métodos, além da comparação entre tratamentos. Nas figuras de 5 a 7 estão apresentados os resultados da análise de regressão para os diferentes estimativas de escalas (pixel/cm), utilizados na medição de área foliar do pimentão, nota-se que os coeficientes de determinação apresentarão níveis altos, sendo o mais satisfatório quando comparados os 3 métodos em um plano cartesiano 1 para 1, pois abrange uma amostra maior de dados.

### Escala fenométrica da imagem por métodos e observadores distintos

Observa-se na Tabela 1 que o método da régua e do laser em relação ao padrão - papel, aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração da escala da projeção da copa, apresentou um erro médio inferior a 3% e 6%. O método do laser em relação ao papel, aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração foliar por amostragem diretamente na planta e por amostragem destrutiva foi inferior a 0,82% e 3,98%, respectivamente. Com relação as médias e margens de erros (ME95%) cabe ainda destacar as altas precisões e reduzidas discrepâncias entre observadores e entre métodos, ressaltando-se que as diferenças entre os ensaios 1 e 2 foram devidas à tomada das imagem de distâncias distintas, que foram para projeção de copa de 1,15 m e 1,25 m, para folha viva de 0,54m e 0,69m, respectivamente, e no ensaio 2, para folhas mortas de 0,878 m e para raiz de 0,994 m.

TABELA 1. Escala média da imagem digital (E, em pixel/cm) de projeção da copa e de folhas do pimentão obtidas por dois observadores (Obs-1 e Obs-2) em dois ensaios, sendo as folhas imageadas por amostragem diretamente na planta (folha viva) e por amostragem destrutiva (folha morta) em diferentes parcelas, mediante processamento das imagens no Software ImageJ® por três métodos de referência de escala (Laser, Papel, Régua), em dois ensaios, aos 120 DAT (17/12/2015) e aos 150 DAT (05/02/2016?).

Copa - Ensaio-1							Folha.Viva - Ensaio-1						
Métodos	Obs-1			Obs-2			Métodos	Obs-1			Obs-2		
	média	ME95%	Erro%	média	ME95%	Erro%		média	ME95%	Erro%	média	ME95%	Erro%
Laser	...	...	...	...	...	...	Laser*	49,86	1,42	0,56	49,78	1,29	0,76
Régua	26,52	0,37	-0,88	26,60	0,30	-0,69	<b>Papel</b>	<b>49,58</b>	<b>1,12</b>	<b>0,00</b>	<b>49,41</b>	<b>1,04</b>	<b>0,00</b>
<b>Papel</b>	<b>26,76</b>	<b>0,31</b>	<b>0,00</b>	<b>26,79</b>	<b>0,23</b>	<b>0,00</b>	Média	49,72	1,27	...	49,59	1,16	...
Média	26,64	0,34	...	26,70	0,27	...	Folha.Viva - Ensaio-2						
Copa - Ensaio-2							Folha.Morta - Ensaio-2						
Métodos	Obs-1			Obs-2			Métodos	Obs-1			Obs-2		
	média	ME95%	Erro%	média	ME95%	Erro%		média	ME95%	Erro%	média	ME95%	Erro%
Laser	25,83	0,20	5,68	25,90	0,21	6,05	Laser*	47,42	0,10	0,14	47,43	0,10	0,82
Régua	24,90	0,17	1,86	25,02	0,14	2,43	Papel	47,35	0,08	0,00	47,05	0,09	0,00
<b>Papel</b>	<b>24,44</b>	<b>0,18</b>	<b>0,00</b>	<b>24,42</b>	<b>0,16</b>	<b>0,00</b>	Média	47,39	0,09	...	47,24	0,09	...
Média	25,06	0,18	...	25,12	0,17	í	Folha.Morta - Ensaio-2						
							Laser*	í	í	í	37,89	0,14	3,98
							<b>Papel</b>	<b>í</b>	<b>í</b>	<b>í</b>	<b>36,44</b>	<b>0,11</b>	<b>0,00</b>
							Média	...	...	...	37,16	0,12	...

\* ±ME95% margem de erro (em pixel/cm), a 95% de probabilidade; Erro% é desvio em relação ao método padrão do papel, em porcentagem.

\*\*n amostras de ±ME95% foram de 24, 24, 12 e 72 para Copa, Folha.Morta, Folha.Viva (3folhas/planta em 4plantas no Ensaio E1) e Folha.Viva (3folhas/planta em 24parcelas do Ensaio E2), obtidos os GL.mínimos de 17, 27, 9 e 68, respectivamente, destacando-se que os < GL esperados (n-1), ocorreram em razão de fotos não-visíveis..., e que o GL > 27 ocorreu em virtude da necessidade de se tirar +1foto para o total de folhas/ planta.

### Projeção da Copa e Fração de cobertura do solo (fc)

Na Figura 3, o método da régua em relação ao papel aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração da escala da projeção da copa apresentou um erro médio inferior a 2,4% e precisão superior de 84,8% dos casos ( $R^2$ ), sendo o erro entre os observadores 1 e 2 inferior a 1% e a precisão superior a 93,8%. O método do Laser em relação ao papel aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração da escala da projeção da copa apresentou um erro médio inferior a 6,1% e precisão superior de 79,7% dos casos ( $R^2$ ), sendo o erro entre os observadores 1 e 2 inferior a 1% e a precisão superior a 95,7%.

Esses parâmetros corroboram com a recomendação e desempenho para indicação do método Laser de obtenção da projeção da copa pela escala da imagem de câmera comum. Cabe salientar que ocorreu tanto subestimação quanto superestimação, para os diferentes escalas apresentadas, como pode ser observado no método laser da segunda avaliação que apresentou uma boa precisão, com  $R^2 = 83\%(0,829)$ , porém ocorreu superestimação da escala papel em 5,87 que não é desejado,

principalmente se o método for aplicado no campo para estimação de produtividade podendo inferir um erro mais grave do que a de subestimação.

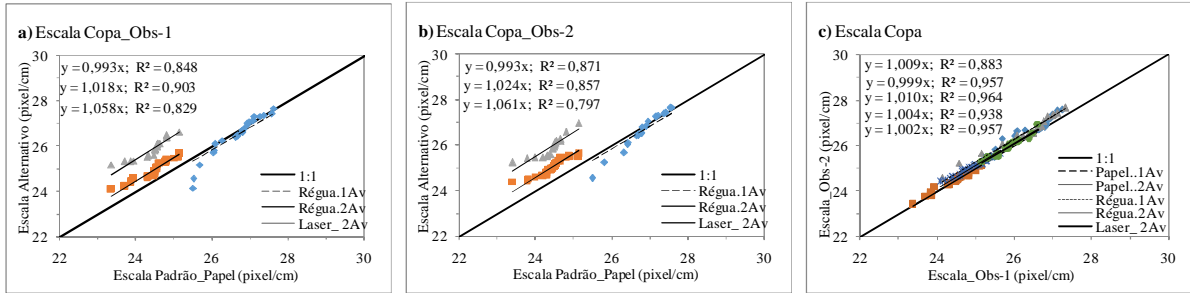


FIGURA 3. Escala da imagem de projeção da copa do pimentão (E, pixel/cm) mensurada em diferentes parcelas, duas avaliações (1Av e 2Av) e métodos mediante referência padrão de escala com uso do papel milimetrado (m.Papel), Régua e Laser relativizados pela reta 1:1: a) obtidas pelo observador 1(processador de medida); b) obtidas pelo observador 2, e; c) das escalas por esses métodos obtida pelo observador 2 em relação a obtida pelo observador 1 (Obs-1) nas avaliações 1 e 2 mediante processamento das imagens no Software ImageJ®.

Na Figura 4, o método da régua em relação ao papel aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração da fração de cobertura (fc) por meio da escala da projeção da copa apresentou um erro médio conjunto inferior a 4,2% e precisão igual a 100% dos casos ( $R^2$ ), visto que a base de dados das imagem da copa é a mesma (Figura 4 a e b ), sendo o erro entre os observadores 1 e 2 inferior a 7,5% e a precisão superior a 85,7% (Figura 4 c e d ). O método da Laser em relação ao papel no ensaio 1 aplicado pelos observadores 1 e 2 para mensuração da fração de cobertura (fc) por meio da escala da projeção da copa apresentou um erro médio conjunto inferior a 10,8% e precisão de 100% dos casos ( $R^2$ ), visto que a base de dados das imagem da copa é a mesma (Figura 4 b ), sendo o erro entre os observadores 1 e 2 inferior a 7,5% e a precisão superior a 98,9% (Figura 4 d ). Esses parâmetros corroboram com a recomendação e desempenho para indicação do método Laser de obtenção da projeção da copa pela escala da imagem de câmera comum.

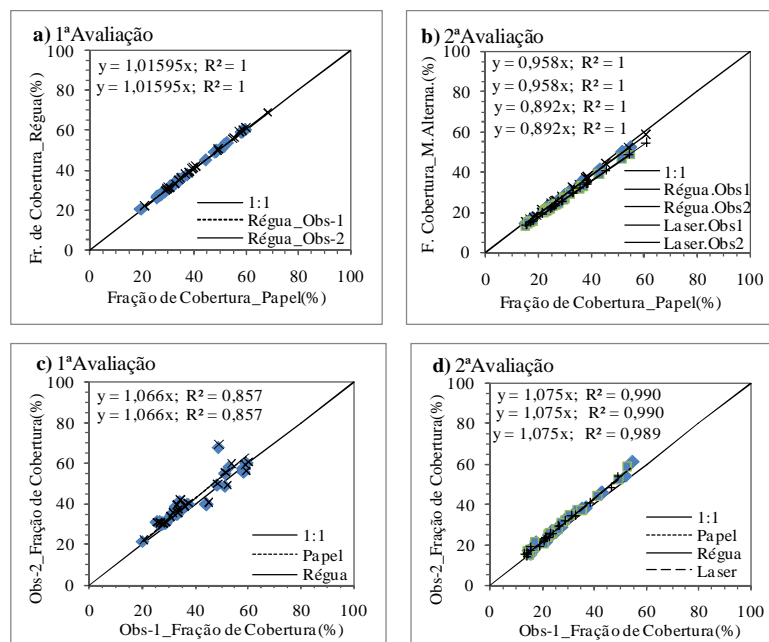


FIGURA 4. Fração de cobertura do solo do pimentão (fc, em %) medida em diferentes parcelas, avaliações (1Av e 2Av) e métodos mediante referência padrão de escala com uso do Papel milimetrado, Régua e Laser relativizados pela reta 1:1 para: a) o método da régua obtidas pelos observadores 1 e 2 (Obs-1 e Obs-2) na 1ª Avaliação; b) os métodos

da Régua e do Laser obtidas pelos observadores 1 e 2 na 2ª Avaliação; c) essas escalas obtidas pelo observador 2 em relação a obtida pelo observador 1 (Obs-1) na avaliação 1, e; d) na avaliação 2 mediante processamento das imagens no Software ImageJ®.

Adicionalmente, observa-se ainda que quando os 2 métodos são adicionados na reta 1 para 1 além de o coeficiente de determinação ser mais alto em torno de 0,99, também não ocorre a superestimação do fator de cobertura como quando o método é aplicado isoladamente, mostrando que quando utilizados concomitantemente eles estimam os dados mais próximo do valor real. É evidente que isso só é possível em estudos científicos, pois no campo busca-se praticidade e rapidez da análise do parâmetro biofísico seja qual for o fim, sendo assim o método apresenta ótima aplicabilidade tanto no campo quanto em estudos científicos.

### Área foliar por amostragem direta na planta

Na Figura 5, o método da Laser em relação ao papel aplicado pelos observadores nos ensaios 1 e 2 para mensuração da escala da área foliar unitária apresentou um erro médio inferior a 1,0% e precisão superior a 87,3% dos casos ( $R^2$ , Figura 5 a e b ), sendo o erro entre os observadores 1 e 2 inferior a 1% e a precisão superior a 92,6% (Figura 5 c). O método da Laser em relação ao papel aplicado pelo observador 2 nos ensaios 1 e 2 para mensuração da área foliar unitária apresentou um erro médio conjunto inferior a 1,3% e precisão superior a 98,7% dos casos ( $R^2$ , Figura 5 d ). Esses parâmetros corroboram com a recomendação e desempenho para indicação do método Laser de obtenção da área foliar pela escala da imagem de câmera comum.

Observou-se que tanto o coeficiente de determinação foi maior, quanto a estimativa dos valores foram menos discrepantes principalmente no que tange a superestimação, quando foram coletados dados por mais de um observador, mostrando a redução de vício de dados paramétricos.

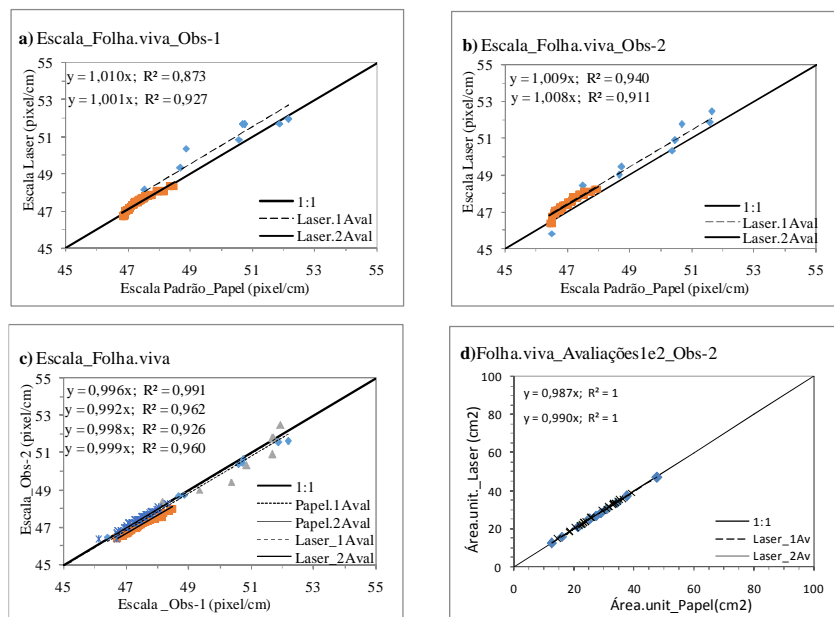


FIGURA 5. Escala da imagem digital da folha viva do pimentão (E, pixel/cm) medida diretamente na planta em diferentes parcelas, avaliações (1Av e 2Av) e métodos mediante referência padrão de escala com uso do Papel milimetrado e Laser relativizados pela reta 1:1 para: a) o método do Laser nas avaliações 1 e 2 obtidas pelo observador 1 e; b) pelo observador 2 nas avaliações 1 e 2; c) dessas escalas obtidas pelo observador 2 em relação as obtidas pelo observador 1 (Obs-1) nas avaliações 1 e 2, e; d) Área Foliar viva unitária média da folha (Área.unit., em  $cm^2$ ), amostrada diretamente na planta, medida com uso do Laser em relação ao método do Papel pelo observador 2 (Obs-2) mediante obtenção de escala e processamento da imagem no Software ImageJ®.

### Área foliar específica com e sem nervura foliar

As respectivas AFE com e sem nervura foram na média geral de 105,5 e 1,33,9 cm<sup>2</sup>/g com ME95% média de 5,30 e 17,95cm<sup>2</sup>/g, e CV% inferiores a 13%, destacando-se o uso mais apropriado da AFE com nervura como fator constante de obtenção da área foliar da planta com base na matéria seca foliar ou vice-versa se possa obter a matéria seca caso a área foliar possa ser obtida mais facilmente por dispositivos fotográficos.

TABELA 2. Área foliar específica (AFE) de folhas amostradas ao acaso nos estratos inferior, médio, superior da planta de pimentão, com e sem a nervura central, determinada pelo método dos discos e da matéria seca foliar (MS), aos 120 DAT (05/02/2016).

	AFE ó sem nervura - cm <sup>2</sup> /g					
	Repetições			Parâmetros		
	1	2	3	CV%	média	±ME95%
1Avaliação	157,08	104,72	157,08	21,65	139,626	± 34,21
2Avaliação	130,71	126,51	127,36	1,73	128,193	± 2,51
média	143,89	115,61	142,22	11,69	133,91	± 17,95
	AFE ó com nervura MS - cm <sup>2</sup> /g					
	1	2	3	CV%	média	±ME95%
	1	1	1	12,61	105,49	± 5,3

\* ±ME95% margem de erro, a 95% de probabilidade; CV% coeficiente de variação em porcentagem.

### Área foliar por amostragem destrutiva da planta

Na Figura 6, o modelo matemático de estimativa da área foliar da planta por amostragem destrutiva pelo métodos do Disco, Laser e do Papel em relação à área foliar observada pelo método do papel aplicado no ensaio 2 pelo observador 1 apresentou um erro médio conjunto inferior a 1%, 4,2% e 2,8% e precisão superior a 94,5%, 95,8% e 95,8% dos casos (R<sup>2</sup>, Figura 6 a), respectivamente, sendo o erro entre os observadores 1 e 2 para área foliar total, números de folhas e área foliar média unitária observada por planta inferior a 3,4%, 0,6% e 4,4% e a precisão superior a 99,3%, 99,9% e 93,7%, respectivamente (Figura 6 b). Esses parâmetros corroboram com a recomendação e desempenho para indicação do método Laser de obtenção da área foliar pela escala da imagem de câmera comum.

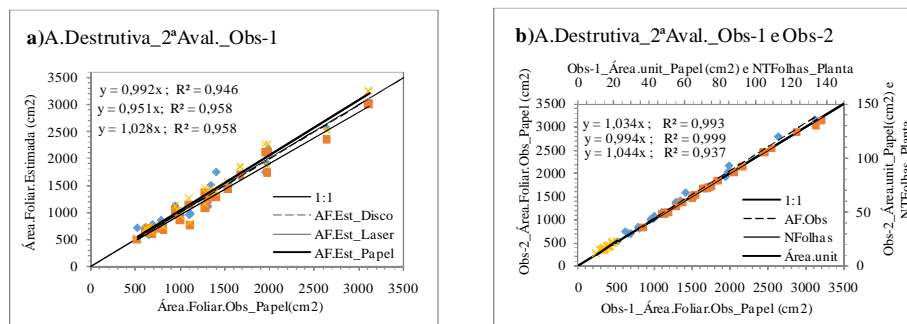


FIGURA 6. Área foliar e números de folhas do pimentão obtidas de diferentes parcelas por amostragem destrutiva, observadores e métodos distintos de mensuração relativizados pela reta 1:1 de: a) Área Foliar da Planta observada (AF.Obs, em cm<sup>2</sup>) pela referência de escala com uso do papel (m.Papel) e estimada por modelo matemático (AF.Est, em cm<sup>2</sup>) com a referência de escala com uso do papel (m.Papel) e do Laser (m.L1) e pelo método do disco (m.Disco) obtida pelo observador 1, e; b) Número de Folhas (N\_Folhas), Área Foliar observada (AF.Obs, em cm<sup>2</sup>) e Área unitária média da folha observada (Área.unit., em cm<sup>2</sup>) obtida com uso do método do Papel pelos observador 2 em relação ao observador 1 (Obs-1) mediante obtenção de escala e processamento da imagem no Software ImageJ®.

Adicionalmente, observa-se ainda que o método destrutivo apresentou um maior coeficiente de determinação, porém os dados foram superestimados em relação ao método padrão papel. Isso se deve por ter sido utilizado a área da folha sem nervura, fazendo com que o peso em relação a área seja menor do que se fosse utilizado área com nervura, levando assim a uma superestimação dos dados.

## CONCLUSÕES

Consideradas as condições experimentais em que se realizou este trabalho e as análises e discussões apresentadas, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) o dispositivo laser e métodos de acoplamento à câmera digital comum para obtenção da escala da imagem mostrou-se eficiente na determinação de área foliar e fração de cobertura do solo, por ser um método mais barato e poder ser facilmente utilizado no campo sem a necessidade de destruição da planta;
- b) os modelos apresentados foram satisfatórios em diferentes ensaios, demonstrando alta correlação entre valores estimados em relação aos observados pelo método padrão, tanto por amostragem destrutiva e não-destrutiva operado por diferentes observadores, e;
- c) todos os dispositivos e métodos utilizados na estimação dos diferentes parâmetros biométricos no campo foram satisfatórios, ficando o interesse de escolha dependente da comodidade prática, eficiência e precisão requeridas.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) e FAL/UnB pela transferência de conhecimentos e recursos disponibilizados. Aos Estudantes Bolsistas e Voluntários, Professores, Parceiros e Colaboradores na realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BRITO, J. L. N. e S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196 p.
- JORGE, L. A. de C.; SILVA, D.J.C.B. . **AFSOFT: Manual de utilização**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2009. v. 1. 20p.
- KAUR, G. et al. Scanner Image Analysis to Estimate Leaf Area. *International Journal of Computer Applications*, v.107, n.3, 2014.
- MARCON, M. et al. Estimation of total leaf area in perennial plants using image analysis. **Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb.** v.15, n.1, p.96-101, 2011.
- MOREIRA, M. A.; Dantas, F.M. ; Santos, C.A.P.dos S. ; Oliveira, L.M.de ; MOURA, L. C. . Produção de Mudas de Pimentão com o Uso de Pó de coco. *Revista da FAPES de Pesquisa e Extensão*, v. 4, p. 19-26, 2008.
- OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, D. F. DE; PEREIRA, JOÃO BATISTA. Índice de área foliar e biomassa de pimentão em sistema orgânico de produção. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari-ES, 18 a 21 de Julho de 2011.
- PEIXOTO, C. P. et al. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e práticas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. Campinas: IAC, 1987. 33p. (IAC. Boletim Técnico, 114).
- REISS, M. L. L., TOMMASSELLI, A. M. G. Orientação de Imagens Sem Pontos de Apoio para Mensuração de Superfícies Planas. *Bol. de Ciênc. Geod.*, 9, 121-139. 2003.
- SANTOS, W. F. et al. Elaboration and Validation of a Diagrammatic Scale for Epidemiological Studies of Cercospora Leaf Spot of Castor Bean. **Journal of Phytopathology**, v.158, p.403 - 408, 2010.
- SEVERINO, L. S. et al. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Rev. Bras. de Oleag. e Fibr.**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 753-762, 2004.
- TOUMIA, J. et al. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. **Agricultural Water Management**. v.163, p.219-235, 2016.