

## Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões foliares e imagens digitais

Lucena, L.R.R.<sup>®</sup>; Leite, M.L.M.V.; Cruz, M.G. e de Sá Júnior, E.H.

Universidade Federal Rural de Pernambuco. Brasil.

### RESUMO

Objetivou-se avaliar a área foliar do capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*), de forma não destrutiva, por meio de imagens digitais e verificar sua relação com as variáveis: produto do comprimento e largura máxima do limbo foliar e área foliar real, através de modelos de regressão (linear e potência). Foram coletadas, aleatoriamente, 96 lâminas foliares verdes do capim-corrente. Foram mensurados o comprimento e a largura de cada limbo foliar com uso de paquímetro digital, e a área foliar através do método gravimétrico. Cada lâmina foliar foi fotografada por uma câmera digital perfazendo a amostra de 96 imagens digitais com dimensão 4896 x 3672 pixels. Após transformação da imagem digital colorida em preto e branco foi calculada a área da cor preta da imagem por meio do software Image J. A correlação entre as duas áreas foliares (real e digital) foi da ordem de 0,9853. O modelo de regressão potência se mostrou mais eficiente para explicar a área foliar do capim-corrente, apresentando maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 99,98\%$ ) e menores soma de quadrado de resíduo (SQR = 161451,8) e critério de informação de Akaike (AIC = -203,084), quando comparado ao modelo linear. Os dois modelos apresentaram índice de Willmott semelhante. Imagens digitais podem ser utilizadas para estimar a área foliar do capim-corrente. O modelo potência é o mais adequado para explicar a relação entre a área foliar digital e a área foliar real, bem como a relação entre a área foliar digital e o produto do comprimento e largura da lâmina foliar de *U. mosambicensis*.

### Leaf area estimation of *Urochloa mosambicensis* by linear dimensions

### SUMMARY

The aim in this study was to evaluate the leaf area of the current grass (*Urochloa mosambicensis*), non-destructive formation, through digital images, and assess its relationship with the following variables: product of the maximum length and width of the leaf blade, and real leaf blade, through regression models (linear and power). We arbitrarily collected 96 green leaf blades of the *U. mosambicensis*. We measured length and width of each leaf blade with the help of a digital caliper, and leaf area through the gravimetric method. Each leaf blade was photographed with a digital camera totaling 96 digital images with 4896 x 3672 pixels. After transformation of the color digital images in black and white, we calculated the black area of the images through the software Image J. The correlation between the two leaf areas (real and digital) was 0.9853. The power regression model was more efficient to explain the leaf area of the *U. mosambicensis*, presenting larger coefficient of determination ( $R^2 = 99.98\%$ ) and smaller residual sum of square (SQR = 161451.8), and Akaike information criteria (AIC = -203,084), when compared to the linear model. The two models presented similar Willmott index. Digital images can be used to estimate the leaf area of the *U. mosambicensis*. The power model is the most adequate to explain the relationship between digital leaf area and real leaf area, as well as the relationship between digital leaf area and the product of the length and width of the leaf area of the *U. mosambicensis*.

### PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Lâmina foliar.  
Método não destrutivo.  
Modelagem.  
Regressão potência.  
Image J.

### ADDITIONAL KEYWORDS

Leaf area.  
Non-destructive method.  
Modelling.  
Power regression.  
Image J.

### INFORMATION

Cronología del artículo.  
Recibido/Received: 06.04.2017  
Aceptado/Accepted: 09.05.2018  
On-line: 15.07.2018  
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:  
leandroricardo\_est@yahoo.com.br

### INTRODUÇÃO

A área foliar representa o aparato de interceptação de luz para a fotossíntese, sendo uma característica

importante na avaliação da eficiência fotossintética das plantas e utilizada em análises do crescimento vegetal (Jadoski et al., 2012; Lucena et al., 2011).

A determinação da área foliar é uma ferramenta importante para estudar a intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar (Schmidt et al., 2014). Logo, sua estimativa é de suma importância, uma vez que os efeitos da interceptação da radiação solar pela folhagem interferem na quantidade e qualidade da biomassa produzida (Maracajá et al., 2008). Recentemente, a determinação da área foliar foi estudada na América Latina (Ferreira et al., 2017).

Para a estimativa de área foliar, atualmente, são utilizados vários métodos, os quais na sua maioria proporcionam estimativas com alta precisão. Estes métodos são classificados em destrutivos e não destrutivos, diretos ou indiretos (Sousa et al., 2015; Silva et al., 2013).

Os destrutivos são os que exigem elevada mão de obra e a retirada da folha da planta, já os não destrutivos são os que não necessitam da colheita da folha da planta, preservando-a, enquanto os métodos diretos são baseados em medidas realizadas diretamente na planta, utilizando equipamentos integradores de área portáteis (Ilkae et al., 2011), enquanto que os indiretos são baseados em relações entre a variável biométrica mensurável e a área foliar real (Sbrissia e Silva, 2008; Flumignan et al., 2008). Os métodos indiretos e não destrutivos permitem avaliações sucessivas em uma mesma planta e rapidez nas avaliações (Toebe et al., 2012).

Diversas são as formas de se medir a área foliar de um cultivo, porém muitas são inadequadas por serem destrutivas e/ou por dependerem de aparelhos disponíveis somente em laboratórios (Bianco et al., 2007). Métodos clássicos de determinação da área foliar em culturas agrícolas consistem na medida da área foliar usando-se integradores de área portáteis, ou relações específicas entre determinadas medidas lineares da folha (i.e., largura, comprimento) e sua área (Sbrissia e Silva, 2008). Os integradores de área foliar são aparelhos precisos, e por isso são caros e de difícil manutenção (Ilkae et al., 2011). Além disso, alguns equipamentos têm dimensões que limitam a leitura em folhas grandes (Godoy et al., 2007).

O uso de imagens digitalizadas para medida da área foliar é uma alternativa aos métodos citados, já que não exige a retirada das folhas e também não depende de equipamentos disponíveis em laboratórios, tornando-se um método bastante simples, não prejudicial à planta e de baixo custo. Com o avanço computacional nas últimas décadas os estudos sobre a estimativa da área foliar através de imagens digitalizadas vêm sendo bastante explorado como relatado em Ferreira et al. (2017) que avaliaram formas geométricas visando sua utilização para avaliação de área foliar através do LI-COR 3100, Flumignan et al. (2008) que avaliaram a área foliar da coffee e Adami et al. (2008) em folíolos de *Glycine max* por meio do software SPRING. Já Lucena et al. (2011) avaliaram a área foliar de *Malpighia emarginata* por meio do software Sigmascan®, enquanto Cargnelutti Filho et al. (2012) verificando a área foliar de *mucuna pruriens* e Toebe et al. (2010) avaliando a área foliar de *Crambe abyssinica* utilizaram o progra-

ma Sigma Scan Pro v. 5.0. Coelho Filho et al. (2005) estudaram a área foliar de *Citrus aurantifolia* através do software Siarcs. Godoy et al. (2007) avaliaram a área foliar de *Citrus sinensis* através do software Corel Photo Paint, Jadoski et al. (2012) avaliando área foliar de *Solanum tuberosum* e Zeist et al. (2014) avaliando área foliar de *Fragaria* × *ananassa* utilizaram o software Image J.

Leite et al. (2017) em estudou recentemente sobre estimativas da área foliar de *Urochloa mosambicensis* utilizando dimensões lineares, verificou sua relação com o produto do comprimento e largura desta gramínea.

Deste modo, objetivou-se avaliar a área foliar do capim-corrente, de forma não destrutiva, por meio de imagens digitais e verificar sua relação com as variáveis: produto do comprimento e largura máxima do limbo foliar e área foliar real através de modelos de regressão.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida de abril a setembro de 2016, na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), localizada sob as coordenadas geográficas 07° 57' 01" S e 38° 17' 53" O, com altitude aproximada de 523 m, situada no município de Serra Talhada, Microrregião do Sertão do Pajeú, Mesorregião do Sertão Pernambucano.

O clima local é do tipo BSw<sup>h</sup>, de acordo com a classificação de Koppen, com chuvas de verão, iniciando-se em novembro com término em abril, sendo o mês de março historicamente o mais chuvoso. A precipitação pluvial média anual é de 876 mm e a temperatura do ar média anual é de 27 °C (Lucena, 2016).

O solo utilizado no experimento, classificado como Luvisolo Crômico (EMBRAPA, 2006). O mesmo foi obtido em áreas adjacentes ao local de condução do experimento, anteriormente a sua utilização foram obtidas 15 amostras coletadas em zig-zag ao longo de toda área experimental na profundidade de 0-20 cm do perfil. Estas foram encaminhadas ao pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), caracterizado pelos seguintes atributos químicos: pH (água) = 7,20; P (extrator Mehlich I) = 40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,45; Ca<sup>2+</sup> = 5,3; Mg<sup>2+</sup> = 1,1; Na<sup>+</sup> = 0,06; Al<sup>3+</sup> = 0,0; H<sup>+</sup> = 1,23; SB = 6,91; CTC = 8,14 (cmolc dm<sup>-3</sup>) e V = 84,89%.

O solo foi destorroado, submetido ao revolvimento para secagem ao ar, homogeneizado e acondicionado em vasos plásticos, perfurados no fundo para drenagem da água de irrigação. Em cada vaso, com capacidade de 9,95 dm<sup>3</sup> (22 cm de altura e 24 cm de diâmetro), disposto aleatoriamente sobre tijolos, colocou-se 7,2 kg de solo seco ao ar. Inicialmente, foram transplantados dois perfilhos de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) por vaso, obtidos no setor de forragicultura da UAST. Para evitar condição de estresse hídrico, nos primeiros 35 dias, após implantação do experimento, todas as plantas foram mantidas sob condições de capacidade de campo, com base no método gravimétrico, utilizando-se balança com precisão de 20,0 g. O

**Tabela I.** Modelos de regressão para explicar a área foliar digital em relação às variáveis explicativas produto do comprimento pela largura (CL) da lâmina foliar e a área foliar real (AFR) de *Urochloa mosambicensis* (Models regression to explain digital leaf area in relation the explanatory variables product length by width (CL) of leaf blade and real leaf area (AFR) of *Urochloa mosambicensis*).

Modelos de Regressão	Equação
Linear	$Y_i = \beta_1 CL_i + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_1 AFR_i + \varepsilon_i$
	$Y_i = CL_i^{\beta_1} \varepsilon_i$
Potência	$Y_i = AFR_i^{\beta_1} \varepsilon_i$

conteúdo de água no vaso foi controlado diariamente, pelo peso do conjunto vaso + solo + água, repondo-se o volume de água consumido (evapotranspiração) pelo sistema solo planta, conforme Casaroli e Lier (2008).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com duas alturas de corte (10 e 20 cm) do capim-corrente, três ciclos de crescimento e três repetições. Durante todo o período experimental, os vasos foram mantidos livres de plantas invasoras. O controle de pragas e doenças foi similar para todas as plantas, evitando-se a interferência desses fatores nos resultados obtidos. Foi aplicado, quando necessário, repelente a base de nim, para o controle de trips (*Frankliniella schultzei* Trybom).

Ao término do terceiro ciclo de crescimento consecutivo do capim-corrente, as plantas foram cortadas e encaminhadas ao laboratório da UAST, sendo fracionadas manualmente nos seguintes componentes: material morto (incluiu a parte morta/necrosada da folha senescente), colmos (bainhas foliares e colmo) e lâminas foliares.

Para a determinação da área foliar, após a separação dos componentes morfológicos, foram coletadas, 96 lâminas foliares verdes, livres de danos e ataques de doenças ou pragas, em perfeito estado, conforme metodologias de Bianco et al. (2007), Lucena et al. (2011) e Schimdt et al. (2014).

Em seguida, as 96 lâminas foliares foram numeradas e mensuradas para determinação do comprimento (C, em mm) e da largura máxima (L, em mm) com uso de paquímetro digital. O comprimento foi medido ao longo da nervura central, considerando o ponto de



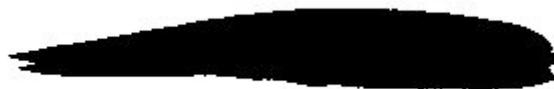
**Figura 1.** Imagem digital da lâmina foliar de *Urochloa mosambicensis* (Digital image of blade leaf of *Urochloa mosambicensis*).

foliar de capim-corrente com dimensão 4896 x 3672 pixels (**Figura 1**).

Todas as imagens passaram por um tratamento digital através do software Image J, onde as mesmas foram transformadas em escala de preto e branco (**Figura 2**). Após transformação da imagem digital colorida em preto e branco foi calculada a área da cor preta da imagem através do software Image J (Jadoski et al. (2012); Zeist et al.(2014)). Este processo foi realizado para as 96 imagens em questão. Para obter o fator de correção de pixels<sup>2</sup> em mm<sup>2</sup> foi retirada uma foto digital de um quadrado de 100 x 100 mm (**Figura 3**) de mesma dimensão das imagens das lâminas foliares. Em seguida, foi calculada a área desse quadrado em pixels<sup>2</sup>. Por fim, tem-se que um pixel<sup>2</sup> corresponde a 0,00267 mm<sup>2</sup>.

Para a escolha do modelo que pudesse estimar a área foliar das imagens digitais do capim-corrente em função da área foliar real (AFR) e do produto entre C e L, procederam-se estudos de regressão utilizando os modelos linear e potência (Leite et al., 2017) (**Tabela I**).

onde,  $Y_i$  é a  $i$ -ésima área foliar digital;  $CL_i$  é o produto entre o comprimento e a largura máxima da  $i$ -

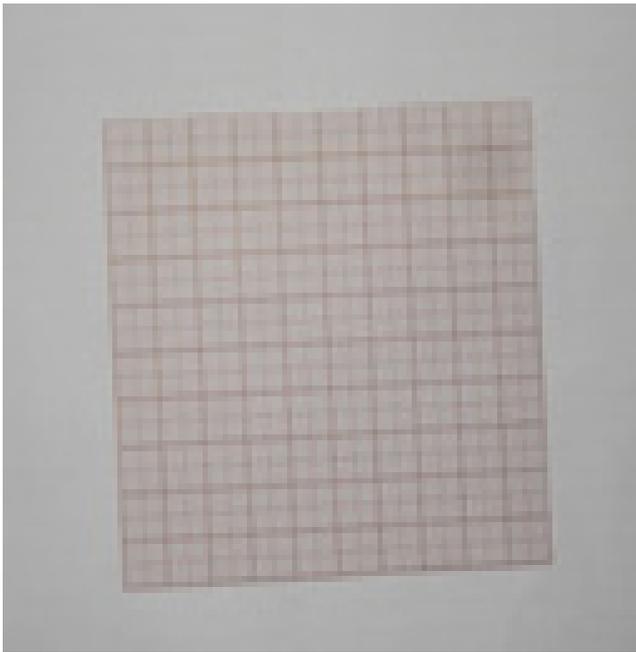


**Figura 2.** Imagem digital da lâmina foliar de *Urochloa mosambicensis* em escala de preto e branco (Digital image of blade leaf of *Urochloa mosambicensis* in black and white scale).

inserção do limbo com a lígula até o ápice, e a maior largura considerada na parte mediana da lâmina foliar. Com os dados de C e de L, determinou-se também o produto entre C e L (C\*L, em mm<sup>2</sup>).

Após a determinação do comprimento e da largura máximas, cada lâmina foliar foi cuidadosamente contornada com grafite sobre folhas de papel milimetrado, formando-se assim, desenhos de limbos com dimensões iguais à lâmina foliar de capim-corrente analisada, conforme metodologia adaptada de Pinto et al. (2007). Em seguida, esses contornos foram cortados com tesoura e pesados em balança analítica, anotando-se todas as casas decimais para minimizar a margem de erro. Após esse procedimento, foi recortado um quadrado de papel da mesma procedência dos desenhos anteriores, com dimensão de 100 mm x 100 mm, equivalente a 10.000 mm<sup>2</sup>, pesando 0,630 g. Assim, sabendo-se a massa equivalente a 10.000 mm<sup>2</sup> de papel milimetrado, foi possível determinar de forma proporcional, a área foliar real (AFR) de cada lâmina foliar analisada do capim-corrente.

Em seguida, cada lâmina foliar foi fotografada por uma câmera digital (Marca Sony, modelo DSC-P72) perfazendo a amostra de 96 imagens digitais de lâmina



**Figura 3.** Imagem digital do quadrado de 100 x 100 mm (Digital image of square 100 x 100 mm).

ésima lâmina foliar;  $AFR_i$  é a  $i$ -ésima área foliar real e  $\epsilon_i$  é o  $i$ -ésimo erro associado a área foliar digital, em que apresenta distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2 > 0$  para os modelos linear e potência. A incógnita  $\theta$  é o parâmetro associado aos modelos.

Os modelos foram avaliados pelos seguintes critérios: Coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ), critério de informação de Akaike (AIC), pela soma de quadrado de resíduo (SQR) e pelo índice de Willmott (d).

Seja  $Y_i$  o valor da  $i$ -ésima área foliar digital após ajuste do modelo, então se define a soma dos quadrados dos resíduos para este estudo pela seguinte expressão:

$$SQR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

O coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ) é expresso pela razão entre a soma de quadrado do modelo (SQM) e a soma de quadrados total (SQT), ou seja,

$$R^2 = \frac{SQM}{SQT} = 1 - \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

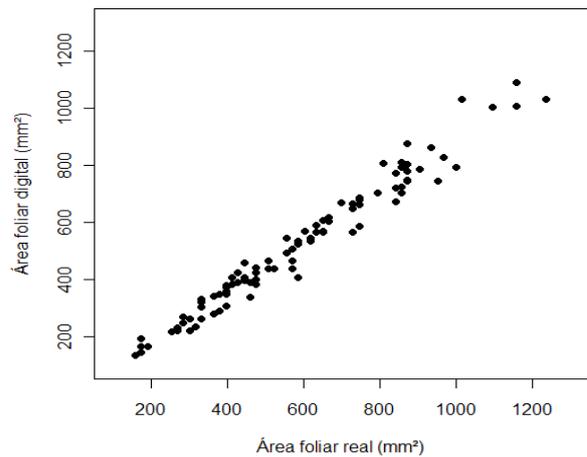
O critério de informação de Akaike (AIC) definido por Akaike (1974) é dado por:

$$AIC = -2 \ln L(x \setminus \hat{\theta}) + 2(p)$$

onde,  $L(x \setminus \hat{\theta})$  é a função de máxima verossimilhança, definida como sendo o produto da função de densidade e  $p$  é quantidade de parâmetros do modelo.

O índice  $d$  definido por Willmott (1981) é dado por:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{Y}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2}$$



**Figura 4.** Relação entre a área foliar digital e a área foliar real de *Urochloa mosambicensis* (Relation between the digital leaf area and real leaf area of *Urochloa mosambicensis*):

onde,  $\bar{Y}$  é a média dos valores das áreas foliares digital ( $Y_i$ ).

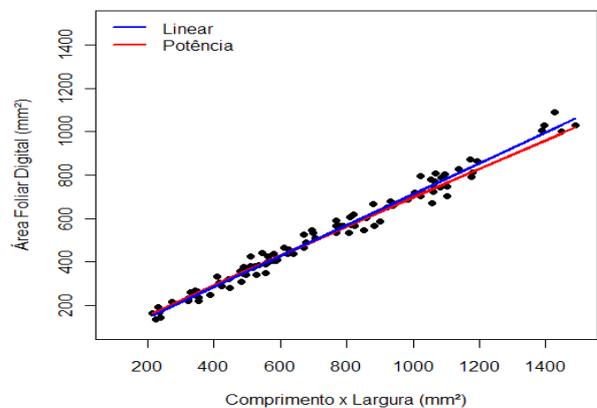
Para avaliar a correlação entre a área foliar real e a área foliar digital foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson descrito abaixo:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

onde,  $Y_i$  é a  $i$ -ésima área foliar real;  $X_i$  é a  $i$ -ésima área foliar digital;  $\bar{Y}$  é a média dos valores das áreas foliares reais e  $\bar{X}$  é a média dos valores das áreas foliares digital.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre os valores da área foliar real e a área foliar digital está disposta na **Figura 4**. Nota-se



**Figura 5.** Ajuste dos modelos linear e potência para a relação da área foliar digital e real de *Urochloa mosambicensis* (Adjustment of linear and power models for relation of digital leaf area and real of *Urochloa mosambicensis*).

**Tabela II.** Estimativas dos parâmetros e critérios de adequação dos modelos da relação entre a área foliar digital e a real (AFR) de *Urochloa mosambicensis* (Estimates of parameters and criteria of adequacy models of relation between digital and real (AFR) leaf area of *Urochloa mosambicensis*).

Modelos	Equação da Área Foliar Digital	Critérios de Adequação do Modelo			
		R <sup>2</sup>	SQR	AIC	d
Linear	$\hat{Y}=0,883AFR$	99,48	162191,1	989,926	0,9999
Potência	$\hat{Y}=AFR0,98$	99,98	161451,8	-203,084	0,9999

que à medida que a área foliar real aumenta a área foliar digital também aumenta, indicando uma correlação positiva. A correlação entre as duas áreas foliares foi da ordem de 0,9853.

Nota-se na **Tabela II** que os modelos linear e potência apresentaram bons ajustes para explicar a relação entre área foliar digital e real do capim-corrente. Os modelos linear e potência apresentaram alto poder de explicação, com R<sup>2</sup> de 99,48% e 99,98%, respectivamente. O modelo potência apresentou menor SQR e AIC quando comparado ao modelo linear. Os dois modelos apresentaram índice de Willmott (d) alto e semelhante. Resultados semelhantes foram apresentados nos achados de Flumignan et al. (2008) quando verificaram no cafeeiro que o modelo linear apresentou R<sup>2</sup> de 99,66% e índice d de 0,9998. Lucena et al. (2011) verificaram na aceroleira que o modelo linear apresentou R<sup>2</sup> de 92,3%.

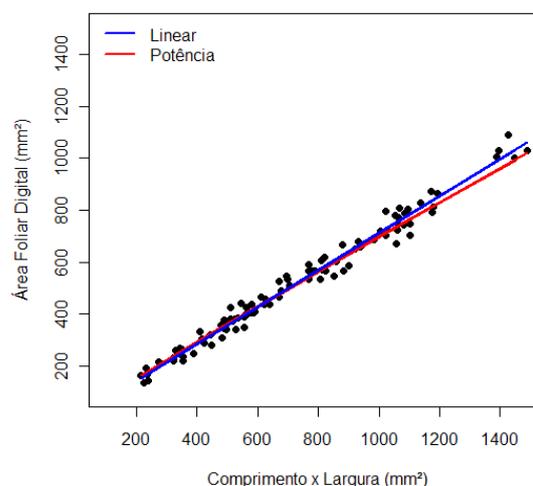
Levando em consideração os quatro critérios de adequação do modelo (R<sup>2</sup>, SQR, AIC e d), verifica-se que o modelo mais adequado para explicar a relação entre a área foliar digital e a área foliar real é o modelo potência (**Tabela II**).

Na **Figura 5**, observa-se o ajuste dos modelos linear e potência para a relação da área foliar digital e real.

Na **Tabela III**, verifica-se que os modelos linear e potência apresentaram bons ajustes para explicar a área foliar digital do capim-corrente levando em consideração o produto do comprimento e largura como variável explicativa. Os modelos linear e potência apresentaram poder de explicação bastante elevado, R<sup>2</sup> de 99,71% e 99,99%, respectivamente. O modelo potência também apresentou menor SQR e AIC quando comparado ao modelo linear. Os dois modelos apresentaram índice de Willmott semelhantes. Levando em conside-

**Tabela III.** Estimativas dos parâmetros e critérios de adequação dos modelos da relação entre a área foliar digital e o produto do comprimento e largura (CL) da lâmina foliar de *Urochloa mosambicensis* (Estimates of parameters and criteria of adequacy models of relation between digital leaf area and product length by width (CL) of leaf blade of *Urochloa mosambicensis*):

Modelos	Equação da Área Foliar	Critérios de Adequação do Modelo			
		R <sup>2</sup>	SQRes	AIC	d
Linear	$\hat{Y}=0,712CL$	99,71	91012,65	934,459	0,9999
Potência	$\hat{Y}=CL0,948$	99,99	90380,80	-228,462	0,9999



**Figura 6.** Ajustes dos modelos da relação entre a área foliar digital e o produto do comprimento e largura da lâmina foliar de *Urochloa mosambicensis* (Adjustment of models for relation between of digital leaf area and product of length and width of leaf blade of *Urochloa mosambicensis*).

ração os quatro critérios de adequação do modelo (R<sup>2</sup>, SQR, AIC e d), verifica-se que o modelo mais adequado para explicar a relação entre a área foliar digital e o produto do comprimento e largura da lâmina foliar do capim-corrente é o modelo potência (**Tabela III**).

Jadoski et al. (2012) avaliando área foliar de batata e Zeist et al. (2014) avaliando área foliar de morangueiro através do software Image J verificaram que o modelo de regressão linear apresentou R<sup>2</sup> de 93,0% e 96,75%, respectivamente. Flumignan et al. (2008) quando utilizaram o modelo linear para avaliar folhas íntegras e danificadas de cafeeiro (R<sup>2</sup> superior a 99% e índice de Willmott superior a 0,99) apresentaram resultados bem próximos aos achados deste trabalho. Cargnelutti Filho et al. (2012) estudando mucuna cinza verificaram que o modelo de regressão linear apresentou R<sup>2</sup> de 98,80% e índice de Willmott de 0,998 enquanto que o modelo potência apresentou R<sup>2</sup> de 99,21% e índice de Willmott de 0,998. Toebe et al. (2010) estudando Crambe abyssinica mostraram que o modelo de regressão linear apresentou R<sup>2</sup> de 98,89%, enquanto que o modelo potência apresentou R<sup>2</sup> de 99,03%. Adami et al. (2008) avaliando folíolos de soja verificaram R<sup>2</sup> superior a 99,7% e índice de Willmott de 0,999 no modelo de regressão linear. Os resultados supracitados se assemelham ao encontrados nesta pesquisa.

Na **Figura 6**, observa-se os valores da área foliar digital em relação ao produto do comprimento e largura da lâmina foliar do capim-corrente, bem como as retas ajustadas para cada modelo.

## CONCLUSÕES

A utilização de imagens digitais pode ser utilizada para estimar a área foliar do capim-corrente. O modelo potência é o mais adequado para explicar a relação

entre a área foliar digital e a área foliar real, bem como a relação entre a área foliar digital e o produto do comprimento e largura da lâmina foliar do capim-corrente. A utilização das imagens digitais possibilita aos pesquisadores fazerem medições não destrutivas e repetidas medição, e estimam com precisão e em grandes quantidades a área foliar do capim-corrente, além de ser método rápido e de baixo custo.

## BIBLIOGRAFIA

- Adami, M, Hastenreiter, FA, Flumignan, DL & Faria, RT 2008, 'Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares', *Bragantia*, vol.67, no.4, pp.1053-1058.
- Akaike, H 1974, 'A new look at the statistical model identification'. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, pp. 716-723.
- Bianco, S, Bianco, MS, Pavani, MCMD & Duarte, DJ 2007, 'Estimativa da área foliar de *ipomoea hederifolia* e *ipomoea nil roth.* usando dimensões lineares do limbo foliar', *Planta Daninha*, vol. 25, no. 2, pp. 238-242.
- Cargnelutti Filho, A, Toebe, M, Burin, C, Fick, AL, Neu, IMM & Facco, G 2012, 'Estimativa de área foliar de mucuna cinza por meio de método não-destrutivo', *Ciência Rural*, vol.42, no.2, pp.238-242.
- Casaroli, D & Lieber, QJV 2008, 'Critérios para determinação da capacidade de vaso', *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, no.1, pp. 59-66.
- Coelho Filho, MA, Angelocci, LR, Vasconcelos, MRB & Coelho, EF 2005, 'Estimativa da área foliar de plantas de lima acida 'tahiti' usando métodos não-destrutivos', *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol.27, no.1, pp. 163-167.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA 2006 'Sistema brasileiro de classificação de solos'. 2. ed. rio de janeiro: embrapa solos, 306 p.
- Ferreira, OGL, Rossi, FD, Vaz, RZ, Fluck, AC, Costa, OAD & Farias, PP 2017, 'Leaf area determination by image analysis', *Archivos de Zootecnia*, vol. 66, no. 256, pp. 593-597.
- Flumignan, DL, Adami, M & Faria, RT 2008, 'Área foliar de folhas integras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital', *Coffee Science*, vol.3, no.1, pp.1-6.
- Godoy, LJG, Yanagiwara, RS, Boas, RLV, Backes, C & Lima, CP 2007, 'Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "pêra"', *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 29, no.3, pp. 420-424.
- Ilkkae, MN, Paknejad, F, Zavareh, M, Ardakani, MR & Kashani, A 2011, 'Prediction model of leaf area in soybean (*glycine max l.*)', *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 110-113.
- Jadoski, SO, Lopes, EC, Maggi, MF, Suchoronzek, A, Saito, LR & Denega, S 2012, 'Método de determinação da área foliar da cultivar de batata ágata a partir de dimensões lineares', *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, sup. 1, pp. 2545-2554.
- Leite, MLMV, Lucena, LRR, Sá Jr., EH & Cruz, MG 2017, 'Estimativa da área foliar em *Urochloa mosambicensis* por dimensões lineares', *Revista Agropecuária Técnica*, vol. 38, no. 1, pp. 9-16.
- Lucena, LRR 2016, 'Utilização da lacunaridade na caracterização do vento em Serra Talhada-PE', *Biomatemática*, vol.26, no.1, pp.53-64.
- Lucena, RRM, Batista, TMV, Dombroski, JLD, Lopes, WAR & Rodrigues, GSO 2011, 'Medição de área foliar de aceroleira', *Revista Caatinga*, vol.24, no.2, pp.40-45.
- Maracajá, PB, Madalena, JAS, Araújo, E, Lima, BG & Linhares, PCF 2008, 'Estimativa de área foliar de juazeiro por dimensões lineares do limbo foliar', *Revista Verde*, vol. 3, no. 4, pp. 1-5.
- Oliveira, VS, Santana, JCS, Morais, JAS, Santos, CD & Lima, IGS 2016, 'Capacidade de suporte, produção e composição do dossel forrageiro de três gramíneas irrigadas ou não no período seco', *Veterinária e Zootecnia*, vol. 23, no.1, pp. 88-92.
- Pinto, MSC, Andrade, AP, Pereira, WE, Arruda, FP & Andrade, MVM 2007, 'Modelo para estimativa da área foliar da maniçoba', *Revista Ciência Agronômica*, vol.38, no.4, pp.391-395.
- Sbrissia, AF & Silva, SC 2008, 'Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 37, no. 2, pp. 212-220.
- Schmidt, ER, Amaral, JAT, Schmidt, O & Santos, JS 2014, 'Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros', *Coffee Science*, vol. 9, no. 2, pp. 155-167.
- Silva, WL, Costa, JPR, Caputti, GP, Galzerano, L & Ruggieri, AN 2013, 'Medidas lineares do limbo foliar dos capins xaraés e massai para a estimativa da área foliar', *Biotemas*, vol. 26, no. 3, pp. 11-18.
- Sousa, LF, Santos, JGD, Alexandrino, E, Maurício, RM, Martins, AD & Sousa, JTL 2015, 'Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais', *Archivos de Zootecnia*, vol.64, no. 245, pp. 83-85.
- Toebe, M et al. 2012, 'Área foliar de feijão-vagem (*phaseolus vulgaris l.*) em função de dimensões foliares', *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, no. 1, pp. 2491-2500.
- Toebe, M, Brum, B, Lopes, SJ, Filho, AC & Silveira, TR 2010, 'Estimativa da área foliar de *crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais', *Ciência Rural*, vol.40, no.2, pp.475-478.
- Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. dados climatológicos do estado de pernambuco. disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm>. acesso em: 15 mar. 2017.
- Willmott, CJ 1981, 'On the validation of models', *Physical Geography*, vol.2, no.2, pp.184-194.
- Zeist, AR, Oliveira, JRF, Lima Filho, RB, Silva, MLS & Resende, JTV 2014, 'Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro', *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, vol. 20, no. 1/2, pp. 33-41.