

## MODELOS DE DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR DA BATATEIRA

MARCOS VALLE BUENO<sup>1</sup>; MAURICIO FORNALSKI SOARES<sup>2</sup>; MIGUEL DAVID FUENTES-GUEVARA<sup>3</sup>; RODRIGO CÉSAR DE VASCONCELOS DOS SANTOS<sup>4</sup>; CARLOS REISSER JUNIOR<sup>5</sup>; LUÍS CARLOS TIMM<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – eng.marcosbueno@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – mauriciofornalski@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – miguelufuge@hotmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – drigovasc@hotmail.com

<sup>5</sup>Embrapa Clima Temperado – carlos.reisser@embrapa.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – luisctimm@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanumtuberosum* L.) tem grande impacto socioeconômico dentre as culturas olerícolas representando o quarto cultivo alimentar mais importante do mundo depois do trigo, arroz e milho (JADOSKI et al., 2012). Este contexto explicita a importância de estudos básicos que envolvam aspectos relacionados à reprodução, crescimento, desenvolvimento, exigências nutricionais, produtividade, respostas aos sistemas de controle, entre outros.

A quantificação e estimativa de valores de área foliar de plantas segundo ZEIST et al. (2014) e OLIVEIRA et al. (2016) é uma ferramenta de grande interesse em pesquisas agronômicas por se tratar de uma variável necessária para a compreensão do crescimento vegetal e das diversas funções fisiológicas, como por exemplo, a respiração, fotossíntese, absorção de nutrientes, floração, frutificação e produtividade.

A área foliar pode ser medida ou estimada por diversas metodologias destrutivas e não destrutivas, diretas ou indiretas. Nos métodos diretos são realizadas as medições diretas nas folhas e a maioria deles são destrutivos, precisando de investimento de tempo, podendo ser removidas as folhas ou partes das plantas. Por outro lado, nos métodos indiretos considerados como não destrutivos, realizam-se as medições nas plantas, sem necessidade da remoção de alguma estrutura, comumente fazendo-se uma correlação entre uma determinada variável independente conhecida e a área foliar (ZEIST et al., 2014). Nesse sentido, o método não destrutivo ganha importância por ser rápido e fácil de ser executado, apresentando boa precisão para avaliar o comportamento vegetativo das culturas. Além disso, a opção por um método não destrutivo permite acompanhar o crescimento e a expansão foliar da mesma planta desde o início até o fim do ciclo ou ensaio proposto (OLIVEIRA et al., 2016).

Diversas pesquisas têm utilizado modelos matemáticos para prever a área foliar com base nas dimensões das folhas (JADOSKI et al., 2012; ZEIST et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016). Isso demonstra que este método é uma importante ferramenta para a avaliação da área foliar de diversas espécies.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi obter modelos matemáticos para estimar a área foliar da batateira procurando a eficiência e utilizando como variáveis independentes valores referentes às medidas lineares de folhas de batata bem como a combinação entre algumas dessas grandezas.

## 2. METODOLOGIA

O levantamento dos dados foi conduzido no laboratório de fisiologia vegetal da Embrapa Clima Temperado no município de Pelotas-RS. O banco de dados utilizado para estimar e validar os modelos de regressão era composto por dados medidos em folhas de duas cultivares de batata, BRS-Camila (71 folhas) e BRS-Ana (79 folhas), observou-se resultados semelhantes entre estas, optando-se por analisar os resultados como um único conjunto, totalizando 150 amostras, o que indica que a metodologia poderá ser utilizada para cultivares de batata com características foliares semelhantes às analisadas. As dimensões lineares medidas no laboratório com régua milimetrada foram o comprimento total da folha (CTF) e o comprimento de todos os folíolos, após sendo expressos em m. O CTF correspondeu à maior distância entre a base distal do pecíolo e a extremidade do folíolo central. Em seguida, as folhas foram passadas por um integrador de área folhar LI-COR (modelo LI 3000) para determinação da área foliar real (AFR) expressada em m<sup>2</sup>.

A partir dessas dimensões foram geradas outras variáveis, como o somatório do comprimento dos folíolos (fol), número de folíolos (Nfol), comprimento médio dos folíolos (Mefol) e o comprimento do maior folíolo (Mafol), e mediante a combinação de algumas destas variáveis, foram testadas os seguintes produtos para a criação dos modelos: Mafol x CTF; Mafol x Nfol; (Mafol x Nfol) x CTF e CTF x fol.

O banco de dados foi subdividido em dois conjuntos, o primeiro com o 80% dos dados para a geração dos modelos (150 dados por variável) e a segunda parte com o 20% restante para a validação dos modelos (30 dados por variável). Todos os conjuntos de dados foram submetidos à estatística descritiva, no intuito de uma análise exploratória e avaliação do comportamento da distribuição. Para isso, foram calculadas as medidas de posição (média aritmética e mediana), de dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e as que indicam o formato da distribuição (coeficientes de assimetria e curtose).

Como avaliação inicial, foi realizado um teste de correlação linear de Pearson a fim de identificar as variáveis que tivessem maior relação entre si. Este procedimento foi adotado para uma seleção *a priori* das variáveis independentes utilizadas para a modelagem matemática da AF da batateira.

Uma vez conhecida a área do limbo da folha foi determinada sua relação com as dimensões lineares preestabelecidas, ajustando-se modelos matemáticos aos dados. Com o intuito de se ter praticidade para o uso dos modelos por parte dos técnicos e produtores, optou-se pela obtenção apenas de modelos lineares, como descrito por Jadoski et al., 2012. As ferramentas estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos incluíram o erro médio (ME), raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). O ME é um indicador da exatidão da estimativa que revela a tendência do modelo para superestimar os valores quando positivos ou subestimar se negativos, enquanto o RMSE quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em relação à linha 1:1.

Com base nos resultados desses indicadores, os modelos foram classificados de acordo com os menores valores absolutos de ME, RMSE e o maior valor de R<sup>2</sup>. Para o desempenho, o valor 1 foi considerado o melhor e 6 o pior no ranking dos modelos, e a soma de cada índice foi usada como critério para selecionar o modelo de melhor desempenho (CORNELIS et al., 2001). Em seguida, a classificação 1 foi atribuída ao modelo que apresentou o menor valor para a soma e a classificação 6 para o maior valor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de Kolmogorov-Smirnov demonstrou que apenas três das dez variáveis utilizadas no presente trabalho seguiam uma distribuição normal. As demais variáveis, incluindo a variável dependente AFR foram transformadas para poder posteriormente ser avaliada suas correlações a partir do teste paramétrico de Pearson. Mesmo passando por diversos processos de transformação de dados (logaritmo decimal, logaritmo neperiano, raiz quadrada, quarta raiz e transformação *box-cox*) as series correspondentes as variáveis Mafol, Nfol e o produto do Mafol pelo Nfol não atingiram um status mínimo de normalidade, e portanto, foram descartadas para aplicação do teste de Pearson e por consequência, para serem ajustados e utilizados nos modelos.

O teste de Pearson demonstrou elevada correlação ( $R > 0,80$ ) entre a variável dependente AF e as demais variáveis independentes (CTF, Mefol, Mafol x CTF, (Mafol x Nfol) x CTF, CTF x fol, fol), sendo essas utilizadas para a geração dos modelos.

Para o equacionamento das variáveis foram utilizados os valores reais de cada série do primeiro conjunto de dados para geração dos modelos em detrimento dos valores transformados. Durante o processo de validação dos modelos foram testados os seis modelos estimadores da área foliar que apresentaram coeficientes de determinação elevados ( $R^2 > 0,85$ ). Os modelos matemáticos e as ferramentas estatísticas para avaliar o desempenho de cada modelo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Validação e desempenho dos modelos de estimativa da área foliar.

	Modelos	RMSE	ME	$R^2$	Rank
1	$AF = 12,345.CTF - 84,934$	0.0031	0.0021	0.88	6
2	$AF = 41,019.Mefol - 133,09$	0.0022	0.0004	0,85	4
3	$AF = 0.8339.(Mafol.CTF) - 1.2062$	0.0019	0.0008	0,90	3
4	$AF = 0.0611[(Mafol.Nfol).CTF] + 58.475$	0.0022	0.0010	0,90	5
5	$AF = 2.8126.(CTF.fol) - 57.539$	0.0011	0.0005	0,96	2
6	$AF = 3.2706.fol - 28.59$	0.0016	0.0003	0,95	1

AF: área foliar estimada ( $m^2$ ); CTF: comprimento total da folha (m); fol: soma do comprimento dos folíolos (m); Mefol: comprimento médio dos folíolos (m); Mafol: comprimento do maior folíolo (m); Nfol: número de folíolos por folha; ME: erro médio; RMSE: raiz do erro quadrático médio;  $R^2$ : coeficiente de determinação.

O melhor resultado foi obtido com o modelo de regressão linear referente a soma do comprimento dos folíolos (CTF.fol) (modelo 6). Nota-se que este modelo não apresentou o maior  $R^2$ , porem de acordo com o RMSE e o ME podemos inferir que se trata do modelo mais preciso entre todos os gerados no presente trabalho.

Os modelos que utilizam um número reduzido de medições na folha, como por exemplo, o CTF é preferível, por utilizarem apenas uma das dimensões da folha. Com isso, há uma redução no número de medições a serem realizadas a campo, não obstante ressalta-se que para o modelo que se valeu da medida do CTF apresentou o pior desempenho.

De acordo com OLIVEIRA et al. (2016) sugerem a utilização do método de dimensões foliares que se baseia na relação entre AF e parâmetros dimensionais totais do limbo foliar, que são os extremos do comprimento e largura. Embora esta seja uma metodologia amplamente difundida, podemos sugerir que a CTF, que representa o extremo do comprimento do limbo foliar não apresentou bom

desempenho estatístico devido ao fato da folha de batata ser composta por folíolos com ordens de magnitude distintas entre si.

Neste sentido, o modelo que apresentou o terceiro melhor desempenho, de acordo com os parâmetros estatísticos, pode ser considerado uma opção viável por exigir apenas duas medidas por folha (Mafol e CTF). A validação deste modelo demonstra valores bastante baixos de RMSE (0.0019) e ME (0.0008) bem como um valor elevado de  $R^2$  (0,90) evidenciando que este modelo seja o mais indicado para aplicação a campo.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo que utiliza a soma do comprimento dos folíolos apresentou melhor desempenho estatístico evidenciando que para esta categoria o modelo de maior  $R^2$  não será necessariamente o de melhor estimação.

Considerando a praticidade do método de medição a campo, o modelo que utiliza o produto do comprimento total da folha pela soma do comprimento dos folíolos foi considerado o mais indicado para aplicação, por exigir apenas duas medidas a campo e apresentar um desempenho estatístico elevado.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORNELIS, W. M. et al. Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting the Soil Moisture Retention Curve. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 65, n. 3, p.638-648, 2001.

JADOSKI, S. O. et al. Método de determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir de dimensões lineares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2545-2554, 2012.

OLIVEIRA, R. L. et al. Modelos de determinação de área foliar em feijão caupi. **Nucleus**, v. 13, n.1, 2016.

ZEIST, A. R. et al. Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 20, n. 1/2, p. 33-41, 2014.