Modelagem da estimativa da área foliar da mangueira (Mangifera indica L.)

Irami B. Amazonas[1], Will ames A. Soares[2], Carlos A. B. Almeida[1]; Rodrigo Uchikawa[1].

[1]Departamento de Energia Nuclear, DEN, UFPE,
Av. Prof. Luiz Freire, 1000, 50740-540 Recife, PE,
iramiamazonas@yahoo.com.br, willamess@yahoo.com.br, almeidacarlos2003@yahoo.com.br, bubau@uol.com.br
[2]Universidade de Pernambuco
55294-902, Rua capitão Pedro Rodrigues, 105, São José, Garanhuns, PE

Resumo: *A área foliar é um importante parâmetro na descrição da interação da planta com o ambiente, podendo ser estimado por métodos diretos e indiretos, de forma destrutiva ou não-destrutiva. Os métodos de estimativa da área foliar costumam ser trabalhosos, necessitam de equipamentos pouco viáveis financeiramente e podem ser destrutivos. Neste trabalho procurou-se estudar a utilização de uma metodologia não-destrutiva para estimar de maneira rápida e precisa a área foliar da mangueira, utilizando tecnologia facilmente disponível e de custo acessível. Devido ao formato relativamente regular das folhas da mangueira (Mangifera indica L.), definiram-se três modelos matemáticos simples para simular suas áreas: Retângulo (R), Losango (L) e Elipse (E), com os quais se estimaram as áreas foliares das amostras tomando como parâmetros as suas medidas lineares, ou seja, comprimento (C) e largura (W). Os valores considerados verdadeiros para as áreas de cada folha foram obtidos por meio do software de distribuição gratuita Image Tool, bem como os parâmetros lineares utilizados nos modelos. As áreas medidas foram, então, comparadas com as áreas estimadas pelos três modelos, mostrando uma boa concordância, notadamente do modelo (E), que considera a folha de formato aproximadamente elíptico, permitindo estimar as áreas das folhas a partir de parâmetros lineares de fácil obtenção em campo e de forma não-destrutiva. O objetivo deste trabalho foi determinar um modelo matemático adequadamente representativo da área foliar da mangueira, que permita uma estimativa rápida, fácil e não-destrutiva, a partir de seus parâmetros lineares. As espécies amostradas encontram-se localizadas no pátio interno do Departamento de Energia Nuclear (DEN), no campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em um solo caracterizado como urbano de aterro.*

Palavras-chave: área foliar; mangueira; modelagem foliar.

Introdução

O desenvolvimento de modelos que possibilitem a predição da área foliar de forma não destrutiva é de grande importância tanto para pesquisadores quanto para o homem do campo, pois permite a obtenção de informações seguras a respeito do comportamento da planta em estudo, bem como a tomada de decisões baseadas em parâmetros matemáticos [9]. Ademais, se o método puder ser aplicado com relativa economia de tempo, com baixo custo operacional e sem a necessidade de uma intervenção prejudicial ao desenvolvimento da planta, deve ser encarado como uma alternativa viável, de boa relação custo-benefício [1]. Existem vários métodos de estimativa da área foliar, sendo alguns bastante precisos, porém, destrutivos [2]; e outros tantos não-destrutivos, mas que apresentam o inconveniente de serem dispendiosos, tanto financeiramente, devido aos equipamentos serem caros, quanto em termos de custo computacional [3]. São exemplos de métodos destrutivos o planimétrico, o gravimétrico, a utilização do peso seco da folha e de sua relação com a área foliar etc. Com relação aos métodos não-destrutivos destacam-se: a utilização de relações entre as medidas lineares da folha e sua área [9], método de contagem de quadrados preenchidos pelo contorno das folhas, planimetria fotoelétrica, planimetria fotográfica fotoelétrica, planimetria com radiação, fotografia hemisférica entre outros [4,5]. Aliado a esses fatores, os métodos destrutivos não permitem acompanhar o comportamento da área foliar durante o crescimento da planta. A mangueira (*Mangifera indica L.*) é uma árvore frutífera originária da Índia, bastante difundida no Brasil, cujos frutos são amplamente consumidos, fazendo parte não só da nossa cultura, como também tendo um papel importante na economia [9], o que motivou este estudo, bem como a facilidade de acesso aos espécimes dentro do próprio departamento de energia nuclear. Por outro lado, a limitação de recursos financeiros, para a aquisição de aparelhos medidores de área foliar, induz ao uso de modelos matemáticos. A utilização de medições simples e não destrutivas das dimensões foliares das plantas como parâmetros dos modelos estimadores constitui formas alternativas viáveis [6,7]. Este trabalho teve como

objetivo investigar a utilização de uma metodologia simples, rápida e barata para estimar a área foliar da mangueira, com auxílio de câmara fotográfica digital (modelo Kodak Color Science) de 8 Megapixels e do software Image Tool® for Windows, de distribuição gratuita [8].

Metodologia

Para a realização deste estudo foram avaliadas várias árvores de mangueira, localizadas dentro de uma área urbana, quanto aos seguintes critérios: localização, acesso, altura, qualidade e integridade das folhas e galhos etc. Optou-se por um exemplar que já estava sob condições de estudo e instrumentada para avaliação do fluxo de seiva. Esta árvore tem cerca de 4 anos e apresenta o inconveniente de não poder ter folhas suprimidas, afim de não interferir nas demais medições a que a mesma está submetida. Portanto, exigiu-se que a análise fosse não destrutiva. O estudo foi realizado no Departamento de Energia Nuclear (DEN), no campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no município de Recife – PE (8º 03' S e 34º 58' O). Definida a árvore, foi feita uma inspeção visual dos galhos, dos quais foram escolhidos 6 (seis), cujos ramos foram marcados e numerados com fita adesiva e caneta. As folhas em cada ramo foram contadas, sendo totalizados os números de folhas por ramo e por galho, obtendo-se um valor médio de cerca 315 folhas por galho. Para o cálculo das áreas tomamos uma amostra de 10% do censo das folhas, portanto, tomamos 31 folhas para análise, distribuídas entre os seis galhos, com tamanhos variando de cerca de 7,0cm até mais de 30,0cm. As folhas foram fotografadas *in loco*, ou seja, na árvore, tomando-se o cuidado para não danificá-la nem derrubá-la. Para isso, montou-se um aparato constituído por uma folha de papel branco de tamanho A4 colada sobre um suporte mais rígido e leve de papelão, ao qual também se adaptou uma régua de 30cm, a fim de fornecer um bom contraste para as fotografias. Com a ajuda de um andaime, as folhas foram fotografadas na qualidade máxima da máquina digital, a cerca de 30 cm de distância, com foco ajustado automaticamente. As imagens digitais obtidas foram tratadas com o software Image Tool, quando das medições das grandezas biométricas das folhas: comprimento (C), largura máxima (W) medida na metade do comprimento e área (A). O procedimento consiste em: abrir o arquivo de imagem onde se encontra a fotografia da folha em estudo e desenhar uma linha de referência sobre a régua, fotografada juntamente com a folha. Esta linha, de comprimento conhecido (1,0 cm) será salva no programa e servirá de calibração para as demais medições. Para se medir o comprimento da folha usou-se o comando *distance* para desenhar uma linha poligonal, ao longo na nervura central da folha. A largura máxima foi tomada de forma análoga, porém no sentido perpendicular e na parte central da folha e traçando-se uma linha apenas. Com o comando *area* desenhou-se uma linha poligonal fechada em torno da folha, procurando-se contornar cuidadosamente o seu limbo, seguindo todas as suas protuberâncias e reentrâncias. Para cada medição foram feitas três repetições e adotado o valor médio, fornecido automaticamente pelo software. A figura 1 mostra a fotografia de uma folha feita no período da manhã, *in loco*, ou seja, na árvore, juntamente com os contornos usados nas medidas das suas dimensões e a régua de referência. A linha vermelha tracejada (C) representa a medida do comprimento (nervura central) da folha, enquanto que a linha vermelha inteira, medida à meia distância do comprimento, fornece a largura (W) da mesma, ambos obtidos por meio do software *Image Tool*. O contorno do limbo da folha fornece o parâmetro necessário para o cômputo da área, cujo valor foi adotado como área medida real (A). Assim, os parâmetros A, W e C foram obtidos a partir de medidas feitas com o software de imagem, cuja distribuição é gratuita.

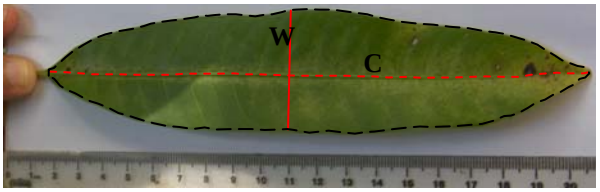

Figura l: Fotografia digital de uma folha típica, *in loco*, mostrando as dimensões medidas na folha.

Devido ao formato regular das folhas da mangueira, escolheram-se três modelos geométricos para representar o formato das folhas, nos quais foram consideradas três aproximações: No primeiro, adotou-se um formato retangular (R), de modo que sua área pudesse ser calculada multiplicando-se o comprimento (C) pela largura (W), conforme a equação 01; no segundo, a folha foi imaginada como tendo um formato aproximado de um losango (L), cuja área é calculada pela equação 02 e, finalmente, a terceira aproximação considera o formato da folha como aproximadamente elíptica (E), de área dada por (03). De posse dos valores das medidas do comprimento (C) e da largura (W) das folhas, calcularam-se suas áreas (A) por meio dos três modelos, cujas áreas são podem ser determinadas pelas equações abaixo:

$$A_R = C.W \qquad (01)$$

A equação (01) mostra como calcular a área do retângulo, no modelo (R), onde W é a largura da folha e C o seu comprimento, em cm.

$$A_L = \frac{C.W}{2} \qquad (02)$$

A equação (02) representa a equação da área do losango, no modelo (L).

$$A_E = \pi.a.b = \frac{3,14.C.W}{4} = 0,785.C.W \qquad (03)$$

E a equação (03) mostra como foi calculada a área da elipse, no modelo (E), sendo a e b os semi-eixos maior e menor da elipse, respectivamente. O fator ¼ que aparece na equação (03) se deve ao fato de que, no caso da modelagem da folha, no cálculo da área da elipse, os semi-eixos são metade do comprimento (*a*=C/2) e metade da largura (*b*=W/2), respectivamente.

Resultados

Os gráficos da figura 2 mostram a correlação linear entre a área medida por meio do software Image Tool, e considerada como valor verdadeiro, e as áreas estimadas pelos modelos: Retângulo (R), losango (L) e elipse (E). Os três modelos foram comparados com um mesmo conjunto de dados, a área medida (A), apresentando o mesmo coeficiente de correlação, de valor bastante elevado: R^2 = 0,9757. Isto mostra que as hipóteses de considerar os formatos geométricos como aproximações do formato da folha são bem razoáveis. Por outro lado, a modelagem pelo formato elíptico (E) mostra-se a mais adequada, como se pode deduzir das informações contidas na tabela 1 e dos coeficientes angulares das equações das curvas de correlação, plotadas na figura 2. O modelo retangular (R) superestima a área real em cerca de 27% enquanto que o modelo do losango (L) subestima em cerca de 37%. Já o modelo que considera a folha com o formato aproximadamente elíptico (E), a correlação linear entre a área modelada e a área medida tem um coeficiente angular muito próximo de um, subestimando a área real em menos de 0,5%.

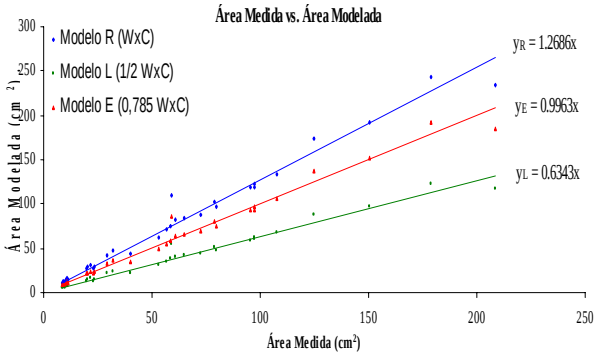

Figura 2: Áreas Modeladas em função da Área Foliar Real, medida com o programa Image Tool.

Na figura 3 vemos o comportamento da área medida em função das dimensões lineares da folha, calculadas por meio do programa Image Tool. Na figura 4 temos a comparação entre a área estimada pelo modelo da elipse (E), que apresenta a melhor estimativa para a área das folhas. Este modelo de estimativa da área foliar, como esperado e observado na tabela 1, é o mais representativo para modelar a área da mangueira. De acordo com a tabela 2, o comprimento (C) é a dimensão da folha que mostra a melhor correlação com as áreas, tanto a medida real (A) quanto com as estimadas. O coeficiente de correlação R^2 entre a área medida (A) e o comprimento (C) foi de 0,9775 e o R^2 entre a área estimada pelo modelo (E) e o comprimento da folha foi de 0,9827, conforme mostram as figuras 3 e 4. Imprecisões na localização da mediana do comprimento da folha e da localização da posição da largura máxima (W), que não coincide necessariamente com a mediana, podem estar ligadas a uma menor precisão na determinação deste parâmetro e, conseqüentemente, a sua menor (embora bastante expressiva) correlação com a área, relativamente à correlação com o comprimento.

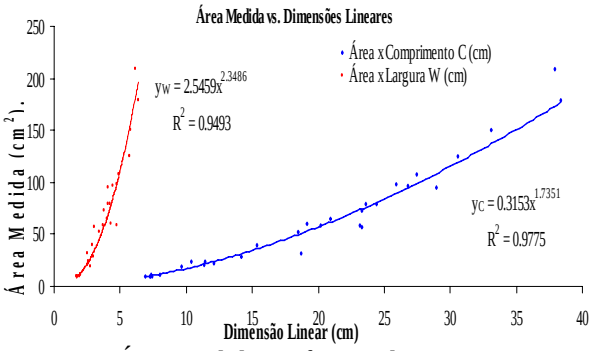

Figura 3: Área Medida em função do comprimento e em função da largura.

As áreas modeladas segundo os modelos: Retângulo (R), Losango (L) e Elipse (E), e suas correlações com a área medida real (A), bem como os coeficientes de correlação R^2 e os erros relativos (e_R) acumulados encontram-se resumidas na tabela 1. O coeficiente angular e os erros relativos acumulados mostram que o modelo da Elipse (E) é o mais adequado para estimar as áreas das folhas.

Tabela l: Modelos R, L e E para a área foliar.

Modelo	R	L	E
Equação	Y_R=1,268.X	Y_L=0,6343.X	Y_E=0,9963.X
R^2	0,9757	0,9757	0,9757
e_R acumulado	10,03	10,48	

A tabela 2 mostra as equações de correlação, e os respectivos R^2, entre as áreas (calculada e modelada) e os parâmetros lineares comprimento (C) e largura (W), usados nos modelos de estimativa da área foliar da mangueira. A correlação de número 7, entre a área estimada segundo o modelo (E) e o comprimento (C) da folha (tabela 2), apresenta uma lei de potência mais próxima da correlação n° 1, entre a área medida (A) e o comprimento da folha (C), que é a dimensão mais adequada.

Tabela 2: Correlações das áreas com os parâmetros lineares: Comprimento (C) e Largura (W).

Correlação	Equação	R^2
(1) A *vs* C	$Y=0,3153X^{1,7351}$	0,9775
(2) A *vs* W	$Y=2,5459X^{2,3486}$	0,9493
(3) A_R *vs* C	$y=0,4681x^{1,6926}$	0,9827
(4) A_R vs W	$y=3,5245x^{2,3066}$	0,9674
(5) A_L *vs* C	$y=0,234x^{1,6926}$	0,9827
(6) A_L vs W	$y=1,7622x^{2,3066}$	0,9674
(7) A_E *vs* C	$Y_C=0,3676X^{1,6926}$	0,9827
(8) A_E vs W	$Y_W=2,7681X^{2,3066}$	0,9674

A figura 4 mostra que a área estimada segundo este modelo está relacionada com as dimensões lineares segundo uma lei de potência, com excelente coeficiente de correlação.

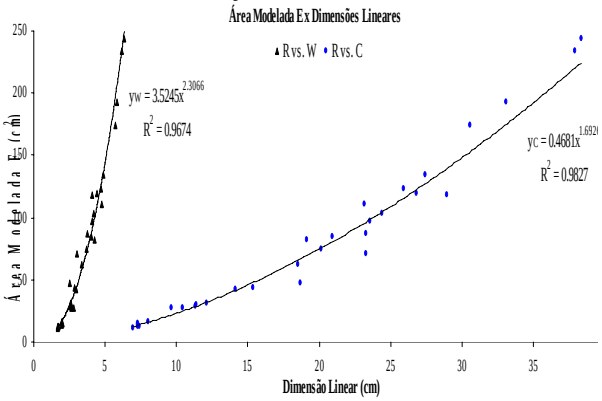

Figura 4: Área Modelada (Modelo E) em função do comprimento e em função da largura.

Conclusões

A técnica usada neste estudo apresenta as vantagens de ser bastante acessível e rápida, além de mostrar uma boa precisão na estimativa da área foliar da mangueira. Pode-se adotar a equação 03, base para o modelo da Elipse (E), para o cálculo da área foliar, como o modelo mais preciso. As medidas do comprimento (C) e da largura (W) da folha podem ser feitas com o software gratuito Image Tool® for Windows, partir de fotografia digital na própria planta, sem necessidade de retira as folhas.

Agradecimentos

Ao CNPq e a CAPES pela concessão das bolsas de Doutorado.

Referências

[1] O'Neal et. al., Na Inexpensive, Accurate Method for Measuring Leaf Area and Defoliation Through Digital Image Analysis, *J. Econ. Entomol.*, Vol. 95, n° 6, 2002, pp. 1190-1194.

[2] Silva, V. P. R., Azevedo, P. V., Silva, B. B., Sobrinho, J. E., Teixeira, A. H. C., Lima Filho, J. M. P., Soares, J. M. Parâmetros fisiológicos de um pomar de mangueiras irrigado. *Rev. Bras. de Agrometeorologia*, v. 10, n° 1, 2002, pp. 29-34.

[3] Villalobos, F. J., et. al., 1995. Non destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea* L.) trees using a gap inversion method. *Agric. For. Meteorol.*, 73: 29-42.

[4] Jesus, Jr., W. C., Vale, F. X. R., Coelho, R. R. & Costa, L. C. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agron. J.*, 93: 989-991.

[5] Broadhead, J.S. et al., Comparison of methods for determining leaf area in tree rows, *Aro Forest Meteorolo*, Vol. 115, 2003, p.p. 153-163.

[6] Ü. Serdar, H. Demirsoy, Non-destructive leaf area estimation in chesnut, Scientia Horticulturae 108 (2006) 227-230.

[7] Chaco, E.K. et. al., Studies on the relationships between leaf number and area and fruit development in mango (Mangifera indica L.). *J. of Hortic. Sci.*, Ashford-Kent, Vol. 57, n°. 4, 1982, p.p. 483-492.

[8] Godoy, L. J. G., et. al., Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "pêra", Ver. Bras. Frutic., Vol. 29, n° 3, 2007, pp. 420-424.

[9] Emérito, E. C., et. al., Estimativa da Área Foliar da Mangueira (Mangifera Indica L.) Cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, Vol. 27, n°. 2, 2005, p.p. 308-309.