

## MODELOS PARA DETERMINAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DA ÁREA DAS FOLHAS DO PEPINEIRO CULTIVADO EM ESTUFA PLÁSTICA

ASTOR HENRIQUE NIED<sup>1</sup>, GENEI ANTONIO DALMAGO<sup>2</sup>, ARNO BERNARDO HELDWEIN<sup>3</sup>, SANDRO WILSMANN<sup>4</sup>

**RESUMO** - Foram obtidos modelos para estimar a área foliar do pepineiro através das dimensões lineares das folhas, bem como avaliar os modelos existentes na literatura obtidos em outros locais. O trabalho foi realizado no outono e na primavera de 2000, utilizando-se o híbrido “Marinda”, cultivado em estufa plástica no espaçamento de 25x100 cm, com as plantas conduzidas em haste única e sustentadas por um fio de ráfia. Mediram-se a largura máxima (L) e o comprimento (C) das folhas, e determinou-se a área do limbo foliar (AF) através do método dos discos. Pela análise de regressão, obtiveram-se os modelos com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) acima de 0,980. Dos modelos obtidos na literatura, apenas alguns apresentaram desempenho aceitável. Conclui-se que a área foliar do pepineiro pode ser estimada, para diferentes cultivares e ambientes, a partir apenas do comprimento da folha.

Palavras-chave: *Cucumis sativus* L., dimensão foliar, ambiente protegido, pepino.

## MODELS FOR NON DESTRUCTIVE DETERMINATION OF THE LEAF AREA OF CUCUMBER GROWN INSIDE A PLASTIC GREENHOUSE

**ABSTRACT** - The objective of this study was to obtain models to estimate the leaf area of cucumber through linear measurements of its leaves. Also, existent models in literature obtained from other places were evaluated. The study was carried out during the fall and spring of 2000. The hybrid “Marinda” was grown inside a plastic greenhouse in the spacing of 25x100cm, with plants in a single stem sustained by a plastic thread. The maxim width (L) and the length (C) of leaves were measured, and the leaf area (AF) was determined through the disks method. The models with determination coefficient ( $R^2$ ) above 0.980 were obtained by the regression analysis. Only some of the existent models in literature showed an acceptable performance. The conclusion was that the leaf area of cucumber may be estimated from leaf length only.

Key word: *Cucumis sativus* L., leaf area, models, protected environment.

<sup>1</sup> Aluno do curso de Agronomia, CCR, UFSM, bolsista de Iniciação Científica da FAPERGS

<sup>2</sup> Eng. Agr., aluno de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFSM, bolsista do CNPq

<sup>3</sup> Prof. Tit. Dr. Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM, bolsista do CNPq, 97150-900, Santa Maria, RS, Brasil, heldwein@creta.ccr.ufsm.br

<sup>4</sup> Aluno do curso de Agronomia – CCR – UFSM, bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

Recebido para publicação em 30-10-2000.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento da área foliar das espécies vegetais é de grande importância quando se deseja modelizar o crescimento de culturas agrícolas, pois ela é responsável pela interceptação e absorção da radiação solar utilizada na produção biológica. E, juntamente com as condições de demanda atmosférica, possibilita explicar as necessidades hídricas de uma cultura, devido à sua relação com o processo de transpiração (VILLA NOVA e SENTELHAS, 1999). Isso contribui, como fundamento, para proceder adequadamente ao manejo da irrigação.

A partir da área foliar e, conseqüentemente, do índice de área foliar (IAF), é possível ajustar a data da semeadura de uma espécie — para que o maior IAF coincida com a máxima radiação solar disponível, maximizando a produção —, bem como ajustar o IAF à radiação solar disponível através de podas e desfolhamentos, aumentando a relação fonte - dreno da planta, favorecendo, assim, a frutificação. No caso do pepineiro (*Cucumis sativus*, L.), GALVANI et al. (2000) observaram que este apresenta uma relação muito estreita entre o seu índice de área foliar e o rendimento.

A estimativa da área foliar, utilizando modelos matemáticos, permite o monitoramento das mesmas plantas durante todo seu ciclo de desenvolvimento, possibilitando a redução do número de plantas a serem utilizadas em relação a outros métodos de determinação da área foliar (BENINCASA, 1986). Com os modelos, elimina-se a necessidade de destruição de plantas como ocorre, por exemplo, quando se utiliza o método dos discos.

Os modelos matemáticos descrevem a relação entre a área do limbo das folhas com suas dimensões lineares, comprimento e largura, de forma independente ou associada. Para a cultura do pimentão cultivado em estufa plástica, DALMAGO et al. (2001) concluíram que a estimativa da área foliar pode ser realizada com um modelo único durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas, utilizando somente o comprimento máximo da folha como variável independente. Os coeficientes de determinação de alguns modelos que utilizam apenas uma das dimensões lineares são, praticamente, os mesmos se comparados ao produto do comprimento pela largura das folhas, conforme observado por OLIVEIRA et al. (1995), para a cultura do meloei-

ro cultivado a campo. Da mesma forma, o comprimento máximo pode ser utilizado para a estimativa da área foliar das plantas de berinjela cultivada em estufa plástica, sem representar maiores erros significativos em relação ao produto do comprimento pela largura (FARIAS et al., 1999).

Das duas dimensões, o comprimento máximo pode ser determinado, mais facilmente e em menos tempo, seguindo-se o alinhamento da nervura central da folha — ao contrário da maior largura, que não tem uma marca definida da sua exata máxima posição e, portanto, fica mais sujeita a erros na determinação e exige mais tempo para sua medida. Com isso, reduz-se pela metade o número de determinações a serem realizadas a campo, estimando-se a área foliar com maior rapidez e praticidade.

Nos ambientes protegidos, os resultados para a cultura do morangueiro mostraram comportamento semelhante; porém, os modelos apresentaram coeficiente de determinação inferiores àqueles do ambiente externo (PIRES et al., 1999), em função, provavelmente, da alteração do formato das folhas devido à atenuação da radiação solar incidente sobre o dossel no interior das estufas e pelo aumento da proporção da radiação difusa proporcionada pelo filme plástico de cobertura (BURIOL et al., 1995).

Com relação ao pepineiro, ROBBINS e PHARR (1987) encontraram que a estimativa da área foliar pode ser realizada acuradamente para vários cultivares, a partir de um único modelo, utilizando o comprimento das folhas como variável independente. Acrescentaram, ainda, que o mesmo pode ser utilizado tanto para cultivos realizados no interior da estufa, quanto para o ambiente externo. Já para BLANCO e FOLEGATTI (2000), a largura é a dimensão linear da folha que melhor estima a área foliar do pepineiro não enxertado, cultivado em estufa. Para pepineiro enxertado, o modelo de regressão quadrática, no qual foi utilizada apenas a dimensão linear de comprimento, apresentou coeficiente de determinação igual ao modelo em que se utilizava apenas a largura como variável independente.

Embora tenham sido obtidos na condição de cultivo protegido e tenham apresentado coeficientes de determinação elevados, os modelos geralmente necessitam de um ajuste nos seus coeficientes para as condições locais, a fim de que a estimativa da área foliar da cultura do pepineiro seja realizada de

forma adequada. Modelos empíricos, quando utilizados para condições diferentes daquelas em que seus coeficientes foram obtidos, podem conduzir a erros significativos. No caso dos modelos já desenvolvidos, observa-se que há, entre os mesmos, uma certa contrariedade quanto à melhor dimensão linear da folha a ser utilizada como variável independente para estimativa da área foliar. A falta de homogeneidade nas condições de cultivo, como a forma de condução das plantas e as diferenças entre os espaçamentos, pode ter contribuído para esse comportamento. Desta forma, justifica-se a necessidade de obter modelos adequados para as reais condições de espaçamento e condução das plantas, adotados em cada região. Por isso, esse trabalho teve como objetivos obter e testar modelos matemáticos para estimar a área de folhas do pepineiro tipo conserva, cultivado em estufa plástica, bem como verificar qual a dimensão linear da folha que melhor se ajusta à área do limbo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no período de fevereiro a abril de 2000 e em outubro do mesmo ano, em uma estufa plástica localizada na Área Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS (latitude: 29°41' S, longitude: 53°48' W e altitude: 95 m). A estufa possuía uma área coberta de 240 m<sup>2</sup>, cobertura em forma de arco, estrutura de madeira e cobertura de polietileno de baixa densidade, com espessura de 100 µm.

O pepineiro híbrido “Marinda”, utilizado para fins de conserva, foi semeado diretamente no solo nas linhas de cultivo. O espaçamento adotado foi de 25 cm entre plantas e 100 cm entre fileiras, perfazendo um total de 40 000 plantas por hectare. As plantas foram conduzidas em haste única e sustentadas por um fio de ráfia, sendo despontadas quando atingiram a altura de 210 cm. Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme recomendação para a cultura, e a adubação conforme a análise de solo. A irrigação foi realizada por gotejamento sob “mulching” plástico, mantendo-se o potencial matricial da água no solo entre -50 e -400 hPa, a 10 cm de profundidade — por causa da maior concentração de raízes nesta profundidade —, o qual foi monitorado com tensiômetro de cápsula

porosa e manômetro de mercúrio.

Para as amostragens foram utilizados dados de dois ciclos experimentais. No primeiro, semeado em 17 de fevereiro de 2000, foram coletadas 98 folhas em diferentes datas de coleta no transcórreo do ciclo. Os dados obtidos com estas folhas, após sua classificação de forma ascendente de data de coleta e de tamanho de folhas, foram separados em dois grupos, pares e ímpares, constituindo o primeiro e o segundo banco de dados, respectivamente. No segundo ciclo experimental, realizado na primavera do mesmo ano, no qual foram utilizados o mesmo manejo e híbrido, aos 47 dias após o transplante (27/10) foram coletadas 49 folhas de duas plantas, proporcionando um terceiro banco de dados.

No primeiro ciclo experimental foram coletadas seis plantas, ao acaso, no total; duas aos 20, duas aos 27, uma aos 48 e uma aos 55 dias após a semeadura, a fim de abranger todo o espectro de tamanho de folhas mensuráveis. Na última coleta, aos 55 dias, face ao número reduzido de folhas menores, foram coletadas, em diferentes plantas, mais treze folhas com comprimento inferior a 15 cm.

As folhas ativas e não danificadas foram separadas das demais partes da planta na inserção entre o limbo e o pecíolo. Em cada folha, mediram-se o comprimento (C) ao longo da nervura central — considerando-se a distância desde o ápice da folha até a inserção do pecíolo com o limbo — e a maior largura (L) perpendicular ao alinhamento da nervura central, ambos em cm, utilizando-se uma régua com escala graduada em milímetros.

Com o auxílio de um calador de diâmetro interno igual a 2,3 cm, obtiveram-se discos em aproximadamente 30 % da área foliar do limbo, incluindo partes com nervuras. As amostras dos discos e o restante de cada folha foram acondicionados separadamente em sacos de papel e levados à estufa de secagem à 65° C, com aeração forçada até peso constante. A massa de matéria seca das duas partes foi determinada com auxílio de uma balança eletrônica com precisão de 0,05 g e resolução de 0,001 g. Para todas as observações ou folhas, a área total da folha, em cm<sup>2</sup>, de cada observação (AF) foi estimada a partir das relações entre a massa seca dos discos (MSD), a área total dos discos (ATD) e a massa seca total (MST), conforme a equação:

$$AF = (ATD \times MST) / MSD \quad (1)$$

**TABELA 1 - Modelos de regressão para estimativa da área foliar do pepineiro (AF), obtidos na literatura. Santa Maria, 2000**

Nº	Modelos de regressão	r <sup>2</sup>
<b>BLANCO e FOLEGATTI (2000)</b>		
1 a	AF = - 394,49 + 41,208 (C)	0,93
2 a	AF = - 472,48 + 37,548 (L)	0,96
3 a	AF = 25,035 - 4,4338 (C) + 1,192 (C) <sup>2</sup>	0,99
4 a	AF = - 92,979 + 12,72 (L) + 0,3389 (L) <sup>2</sup>	0,99
<b>ROBBINS e PHARR (1987)</b>		
5 a	AF = 24,41 - 0,2 (C) + 6,77 (L) + 1,11 (CxL)	0,99
6 a	AF = - 8,56 - 9,85 (C) + 0,78 (C) <sup>2</sup> + 9,96 (L)	0,99
7 a	AF = - 8,88 + 0,89 (L) <sup>2</sup>	0,76
8 a	AF = 6,65 + 0,67 (C) <sup>2</sup>	0,96
9 a	AF = - 11,31 + 0,11 (C) + 1,14 (C) <sup>2</sup>	0,96
10 a	AF = - 142,94 + 18,34 (C) + 4,48 (L)	0,94
11 a	AF = - 20,58 + 0,89 (CxL)	0,98
12 a	AF = 17,57 - 5,09 (C) + 0,65 (C) <sup>2</sup> + 0,33 (L) <sup>2</sup>	0,99
13 a	AF = 14,61 - 5,0 (C) + 0,94 (C) <sup>2</sup> + 0,47 (L) + 0,63 (L) <sup>2</sup> - 0,62 (CxL)	0,99

(r<sup>2</sup>) = coeficiente de determinação; AF = área foliar, em cm<sup>2</sup>; (C) = comprimento da folha, em cm; (L) = largura máxima da folha, em cm; (CxL) = produto do comprimento pela largura da folha

Uma vez conhecida a área da folha, com os dados pares do primeiro banco de dados, estudou-se a sua relação com a(s) dimensão(ões) linear(es) ou seus produtos, obtendo-se os modelos matemáticos que passaram a ser os estimadores da área do limbo da folha. Estes modelos gerados foram validados com o segundo banco de dados (dados ímpares), consistindo um primeiro teste. Conforme o resultado obtido neste teste inicial, os melhores modelos foram testados com o terceiro banco de dados, que representava uma época distinta da realização do primeiro ciclo experimental. A área foliar medida ou observada (AF<sub>m</sub>) foi relacionada com a área foliar estimada pelos modelos (AF<sub>e</sub>), conforme modelo de regressão linear:

$$AF_m = a + b AF_e \quad (2)$$

O critério de escolha dos modelos gerados baseou-se na significância dos parâmetros linear e angular dos mesmos, através do teste *t*, e do maior valor do coeficiente de determinação ( $r^2 \geq$  ou  $> 0,90$ ). Posteriormente, nos testes dos modelos pela relação entre área foliar estimada (AF<sub>e</sub>) pelos modelos e área foliar medida (AF<sub>m</sub>) pelo método dos discos, testou-se a hipótese de o parâmetro angular do modelo linear gerado na validação ser igual a 1,00 (um), e na seqüência foram avaliados os desvios ao longo da linha 1:1 pelo "índice *d*", proposto por WILLMOTT (1982), e o coeficiente de determinação do modelo linear.

Avaliaram-se, também, os modelos obtidos

por ROBBINS e PHARR (1987) e por BLANCO e FOLEGATTI (2000), apresentados na Tabela 1, através da análise de regressão entre a área foliar medida e estimada com os mesmos, da mesma forma que para os modelos gerados neste trabalho. A segunda validação foi realizada apenas com os modelos que apresentaram melhor desempenho pela análise de significância do parâmetro *b*, ou índice *d* > 0,960 no primeiro teste, e que também foram submetidos a um segundo teste, com o terceiro banco de dados, obtido na época de primavera. Esse segundo teste foi realizado da mesma forma que o teste para os modelos obtidos neste trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos obtidos para a estimativa da área foliar do pepineiro, tipo conserva, encontram-se na Tabela 2. Todos os modelos desta tabela, assim como os constantes nas Tabelas 3 e 4, apresentaram o valor do teste F significativo em nível de 1% de probabilidade de erro. Os coeficientes de determinação dos modelos estimadores da área foliar a partir de uma das dimensões lineares da folha são muito semelhantes, quando comparados àqueles que utilizam as duas dimensões. O modelo nº 3, no qual se utiliza o produto entre as duas dimensões lineares, tende a ser o mais apropriado por possuir maior valor do F. Mesmo assim, seu coeficiente de determinação é idêntico ao do modelo nº 6, que utiliza apenas o comprimento como variável independente; porém, este último apresentou menor valor do F.

Desta maneira, é preferível adotar os modelos que utilizam apenas uma das dimensões lineares da folha para a estimativa da área foliar, devido à redução pela metade do número de medidas a serem realizadas. Resultados nesse sentido foram encontrados para a cultura do meloeiro a campo (OLIVEIRA et al., 1995) e, em ambientes protegidos, para a cultura do morangueiro (PIRES et al., 1999), da berinjela (FARIAS et al., 1999) e do pimentão (DALMAGO et al., 2001).

Os modelos nos 3, 6 e 7 têm como caracterís-

tica a passagem da função pela origem, ou seja, não apresentam o parâmetro linear (*a*). Tais modelos, independentemente da dimensão utilizada ou da utilização de ambas, apresentaram maiores valores de *F* e do coeficiente de determinação.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos com o teste dos modelos expostos na Tabela 2, com o segundo banco de dados (dados ímpares). Pode ser observado que, com exceção ao modelo nº 10, os parâmetros *b* de cada modelo linear gerado na relação entre AFm e AFe não diferem

TABELA 2 - Modelos de regressão para estimativa da área foliar (cm<sup>2</sup>) do pepineiro (AF), cultivado em estufa plástica, com base no comprimento (C) e na largura máxima (L) das folhas e seu produto (CxL), com seus respectivos coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) Santa Maria, 2000

Nº	Modelos de estimativa*	a	b	c	F	r <sup>2</sup>
1	AF = -31,98007+0,908011(CxL)	- 3,07	44,76		2003,6	0,977
2	AF = - 0,84839 + 0,670854(CxL) + 0,000270(CxL) <sup>2</sup>	- 0,69	10,26	3,77	1296,6	0,982
3	AF = 0,667193 (CxL) + 0,000273 (CxL) <sup>2</sup>		17,76	5,19	3976,2	0,994
4	AF = -264,1425 + 37,212691(C)	- 9,63	24,43		596,8	0,927
5	AF = 58,585302 - 13,367245(C) + 1,616390(C) <sup>2</sup>	1,66	- 2,65	10,15	1012,2	0,977
6	AF = - 5,342094 (C) + 1,37809 (C) <sup>2</sup>		-3,54	19,60	2933,2	0,992
7	AF = 0,474477 (C) <sup>2,276494</sup>	-5,98	49,99		2499,8	0,980
8	AF = -238,6108 + 26,748407(L)	- 7,81	21,13		446,4	0,904
9	AF = 39,9641 - 7,910551(L) + 0,851583(L) <sup>2</sup>	1,17	- 2,13	9,51	702,8	0,968
10	AF = - 3,932468 (L) + 0,765277 (L) <sup>2</sup>		-2,88	16,33	2111,7	0,989
11	AF = 0,326765 (L) <sup>2,186777</sup>	-2,33	30,46		927,9	0,987

\* todos os coeficientes dos modelos são significativos a 5% de probabilidade de erro pelo teste *t*; a, b e c = valores de *t* calculado, respectivamente, para os parâmetros *a*, *b* e *c* dos modelos; F = valor do F calculado para o modelo (significativo para todos os modelos em nível de 1% de probabilidade de erro).

estatisticamente de 1 (um), com 5% de probabilidade de erro pelo teste *t*, e, portanto, atendem ao primeiro critério de escolha para possível recomendação. Pela análise do coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) e pelos valores do F dos modelos apresentados na Tabela 3, é verificada, em parte, uma melhor performance dos modelos que utilizam produto do comprimento pela largura na estimativa da área foliar no teste, em relação aos modelos que utilizam apenas uma das dimensões. Porém, ao se analisar o coeficiente *d* de Willmott, verifica-se que essa tendência não se confirma. Os modelos possuem um comportamento idêntico, apenas com exceção aos modelos 4 e 8 (Tabela 3), que são os modelos de regressão linear simples, nos quais se utilizam, respectivamente, o comprimento e a largura da folha.

Nas figuras 1 e 2 são apresentados os resultados obtidos no segundo teste dos modelos 2 a 11, constantes na Tabela 2, utilizando o terceiro banco independente de dados, coletados na época de pri-

mavera. Os resultados obtidos neste teste para o modelo 1 são discutidos apenas no texto, e observa-se uma pequena diminuição do coeficiente de determinação em relação ao primeiro teste, o que é plenamente aceitável em função da variação natural que ocorre entre as medidas realizadas nas duas épocas do ano. Dos modelos que utilizam as duas dimensões lineares, apenas os de número 2 e 3 apresentaram parâmetro *b* estatisticamente igual a um. De todos os modelos gerados avaliados nesse teste, os que consideram as duas dimensões possuem os maiores coeficientes de determinação (r<sup>2</sup> ≥ 0,978) e de índice *d* (≥ 0,994). Isso indica que as duas dimensões associadas explicam melhor a área das folhas usando os referidos modelos, uma vez que, já no primeiro teste, foram levemente superiores.

Os modelos nos quais se utiliza somente o comprimento da folha como variável independente, no segundo teste, apresentaram parâmetros *b* estatisticamente iguais a um (ns, Figuras 1 e 2), com exceção do modelo 4, que superestima as folhas

grandes. Este resultado é muito similar ao obtido com os modelos que usam as duas dimensões, embora seus coeficientes  $r^2$  e  $d$  dos testes sejam levemente inferiores. Com os modelos baseados na largura das folhas, na regressão entre os valores estimados e medidos, não se obtiveram parâmetros  $b$  estatisticamente iguais a 1. Esses resultados indicam que os modelos que utilizam o comprimento devem ser preferidos ao se optar por coletar a medida de apenas uma das dimensões. Isso, provavelmente, deve estar associado ao menor erro obtido na coleta dos dados, visto que, para coletar a medi-

da do comprimento da folha, é possível tomar como referência a nervura principal que, por sua vez, é praticamente linear. Em contrapartida, definir a maior largura da folha que seja perpendicular à nervura principal é uma tarefa mais difícil, por não possuir uma referência para orientar a posição da régua, estando, assim, sujeito a maiores erros na obtenção da medida.

Além disso, considerando a praticidade na obtenção das medidas, os modelos que utilizam o comprimento máximo das folhas como variável independente podem ser preferidos em relação à largu-

**TABELA 3 - Teste da relação entre a área foliar ( $\text{cm}^2$ ) medida (AFm) e estimada pelos modelos de regressão, gerados nas condições de estufa (AFe), com o respectivo F calculado, coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e índices de ajuste de Willmott ( $d$ ). Santa Maria, 2000**

Nº	Modelo de regressão do teste	F	$r^2$	$d$
1	AFm = 8,8617 + 0,995747 <sup>**</sup> (AFe)	2614,7	0,982	0,995
2	AFm = 11,7495 + 0,979650 <sup>**</sup> (AFe)	2742,2	0,983	0,996
3	AFm = 11,3538 + 0,980811 <sup>**</sup> (AFe)	2732,1	0,983	0,996
4	AFm = -6,9246 + 1,058831 <sup>**</sup> (AFe)	635,9	0,930	0,979
5	AFm = 1,0880 + 1,033392 <sup>**</sup> (AFe)	1572,6	0,970	0,991
6	AFm = 4,5783 + 1,028305 <sup>**</sup> (AFe)	1567,5	0,970	0,991
7	AFm = 11,8794 + 1,009389 <sup>**</sup> (AFe)	693,1	0,935	0,991
8	AFm = 19,0721 + 0,961087 <sup>**</sup> (AFe)	2175,6	0,978	0,982
9	AFm = -0,8432 + 1,050569 <sup>**</sup> (AFe)	1599,6	0,971	0,994
10	AFm = 23,4206 + 0,955454 <sup>*</sup> (AFe)	2275,3	0,979	0,994
11	AFm = 10,8727 + 1,001727 <sup>**</sup> (AFe)	2263,6	0,979	0,994

<sup>\*</sup> parâmetro estatisticamente diferente de 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t; <sup>\*\*</sup> parâmetro estatisticamente igual de 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t; F = valor do F calculado para o modelo (significativo para todos os modelos ao nível de 1% de probabilidade de erro).

ra, considerando-se, ainda, que a morfologia da folha do pepineiro proporciona uma relação muito próxima das suas dimensões. Estes resultados estão de acordo, de certa forma, aos encontrados por BLANCO & FOLEGATTI (2000) e aos sugeridos por ROBBINS e PHARR (1987).

Os resultados obtidos com modelos de ROBBINS e PHARR (1987) e BLANCO & FOLEGATTI (2000), no primeiro teste, com o banco de dados ímpares, são apresentados na Tabela 4. Observa-se que os parâmetros angulares de todos os modelos do teste apresentam maior variação que aqueles gerados neste trabalho, dos quais apenas os modelos 1a, 4a e 11a apresentaram coeficiente angular igual a um. Essa variação pode ocorrer devido às diferenças entre os ambientes e, principalmente, às diferenças de condução e de manejo das plantas. De uma forma geral, os modelos que utilizam as duas dimensões lineares permitiram obter melhores resultados quanto aos coeficientes de determinação do modelo do teste de validação, como tam-

bém o índice  $d$ , salvo os modelos n<sup>os</sup> 5a, 6a e 10a. Assim, os coeficientes das equações do teste dos modelos n<sup>os</sup> 11a, 12a e 13a, apresentados por ROBBINS e PHARR (1987), assemelham-se aos coeficientes obtidos no teste dos modelos específicos para o híbrido deste experimento e seguem uma distribuição muito próxima da linha 1:1. A tendência é confirmada pelo elevado coeficiente de determinação do teste ( $r^2$ ) e pela análise dos desvios através do coeficiente de Willmott. Por outro lado, ao avaliar os resultados obtidos com o modelo n<sup>o</sup> 1a, verifica-se que um valor de  $b$  igual a 1 não é garantia de melhor estimativa e, portanto, na escolha dos modelos, os valores do desvio padrão de  $b$ ,  $F$ ,  $r^2$  e  $d$  também devem ser considerados.

Os resultados obtidos no segundo teste, com o terceiro banco de dados obtido na época de primavera — realizado apenas para os modelos da literatura que, no primeiro teste, apresentaram bom desempenho, isto é, parâmetro  $b$  significativamente igual a um ou índice  $d > 0,960$  —, são apresenta-

dos na Figura 3. Observa-se que somente os modelos 9a e 13a apresentaram parâmetro *b* estatisticamente igual a um e, portanto, com nenhum modelo foi obtido o mesmo resultado que no primeiro teste para essa hipótese. Ao comparar os valores do *t* calculado, *r*<sup>2</sup> e índice *d*, verifica-se que também os modelos que utilizam as duas dimensões da folha, em geral, apresentam a tendência de proporcionar estimativas levemente superiores, corroborando os resultados gerados pelos modelos obtidos nesse trabalho com o híbrido “Marinda”. No entanto, dos modelos em que se utiliza apenas uma das dimensões foliares, a estimativa da área da folha como função quadrática do seu comprimento (modelo 9a) pode gerar resultados aceitáveis. Assim, dos modelos apresentados por ROBBINS e PHARR (1987) e BLANCO e FOLLEGATTI (2000), nenhum apre-

sentou alta precisão em ambos os testes, porém poderiam ser utilizados com precisão razoável, pela ordem, os modelos 9a, 13a e 11a.

A avaliação conjunta de todos os modelos gerados nesse trabalho e daqueles obtidos da bibliografia, gerados para diferentes ambientes e cultivares, permite deduzir que o comprimento é a dimensão que proporciona maior estabilidade aos modelos com relação aos diferentes ambientes e, provavelmente, com relação aos diferentes genótipos. Assim, conforme já demonstraram ROBBINS e PHARR (1987), um único modelo, utilizando o comprimento do limbo foliar ao longo da nervura central, poderia ser utilizado como estimador da área de folhas individuais de pepineiro, devido principalmente à sua praticidade e precisão razoável para diferentes cultivares e ambientes.

TABELA 4 - Teste da relação entre a área foliar (cm<sup>2</sup>) medida (AFm) e estimada pelos modelos obtidos em outros locais (AFe), com o respectivo F calculado, coeficientes de determinação (*r*<sup>2</sup>) e índice de ajuste de Willmott (*d*). Santa Maria, 2000

Nº	Modelo de regressão do teste	F	<i>r</i> <sup>2</sup>	<i>d</i>
<b>BLANCO e FOLEGATTI (2000)</b>				
1 a	AFm = 90,592466 + 0,956173 <sup>**</sup> (AFc)	635,9	0,930	0,962
2 a	AFm = 110,77315 + 0,719069 <sup>*</sup> (AFc)	693,1	0,935	0,962
3 a	AFm = -26,72702 + 1,182395 <sup>*</sup> (AFc)	1565,4	0,970	0,979
4 a	AFm = -23,54162 + 1,012754 <sup>**</sup> (AFc)	1417,4	0,967	0,990
<b>ROBBINS e PHARR (1987)</b>				
5 a	AFm = -75,98996 + 0,682131 <sup>*</sup> (AFc)	2251,7	0,979	0,811
6 a	AFm = -37,52169 + 1,358996 <sup>*</sup> (AFc)	1952,4	0,976	0,946
7 a	AFm = -2,902180 + 0,724790 <sup>*</sup> (AFc)	2227,0	0,979	0,922
8 a	AFm = -44,96208 + 1,863159 <sup>*</sup> (AFc)	1499,8	0,969	0,803
9 a	AFm = -21,03184 + 1,091766 <sup>*</sup> (AFc)	1497,8	0,969	0,989
10 a	AFm = -46,72931 + 1,590005 <sup>*</sup> (AFc)	689,9	0,935	0,868
11 a	AFm = -2,111095 + 1,015925 <sup>**</sup> (AFc)	2610,2	0,982	0,995
12 a	AFm = -3,849646 + 1,111134 <sup>*</sup> (AFc)	2892,9	0,984	0,988
13 a	AFm = -3,622606 + 1,080085 <sup>*</sup> (AFc)	2913,5	0,984	0,992

<sup>\*</sup> parâmetro estatisticamente diferente de 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste *t*; <sup>\*\*</sup> parâmetro estatisticamente igual de 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste *t*; F = valor do F calculado para o modelo (significativo para todos os modelos em nível de 1% de probabilidade de erro).

## CONCLUSÕES

Os modelos que utilizam o produto do comprimento pela largura como variável independente, apresentam melhor desempenho na estimativa da

área foliar do pepineiro.

Das duas dimensões lineares da folha, o comprimento estima melhor a área foliar para diferentes cultivares e ambientes.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. FUNEP: Jaboticabal, 42p. 1986.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Padrão de distribuição de área foliar do pepineiro cultivado em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 254-256, 2000. (Suplemento julho).
- BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.; PETRY, C. et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.
- DALMAGO, G. A.; CONCEIÇÃO, A. L. da; HELDWEIN, A. B. Modelos para estimar a área foliar do pimentão cultivado em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 2001.
- FARIAS, N. S.; HELDWEIN, A. B.; QUADROS, H. P. Modelos para determinação não destrutiva da área foliar de plantas de berinjela. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 14., Santa Maria, 1999. **Anais...**, Santa Maria: CCR/UFSM, 1999. p. 532.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; CUNHA, A. R. et al. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido – cultivos de inverno e de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2000.
- OLIVEIRA, A. D. de; SOBRINHO, E. J.; AMORIM, M. C. de. Estimativa da área foliar do meloeiro (*Cucumis melo*, L.) em seis fases de desenvolvimento da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., Campina Grande, 1995. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 365 - 367.
- PIRES, C. de M.; FOLEGATTI, M. V.; PASSOS, F. A. Estimativa da área foliar do morangueiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p.86-90, jul. 1999.
- ROBBINS, N. S.; PHARR, D. M. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 6, p. 1264-1266, 1987.
- VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. Evapotranspiração máxima do feijoeiro, cv. Goiano precoce, em função do índice de área foliar e da evaporação do tanque Classe A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Florianópolis, 1999. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. p. 212-218. (CD-ROOM).
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.



MODELOS PARA DETERMINAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA ÁREA DAS FOLHAS DO PEPINEIRO CULTIVADO EM ESTUFA PLÁSTICA

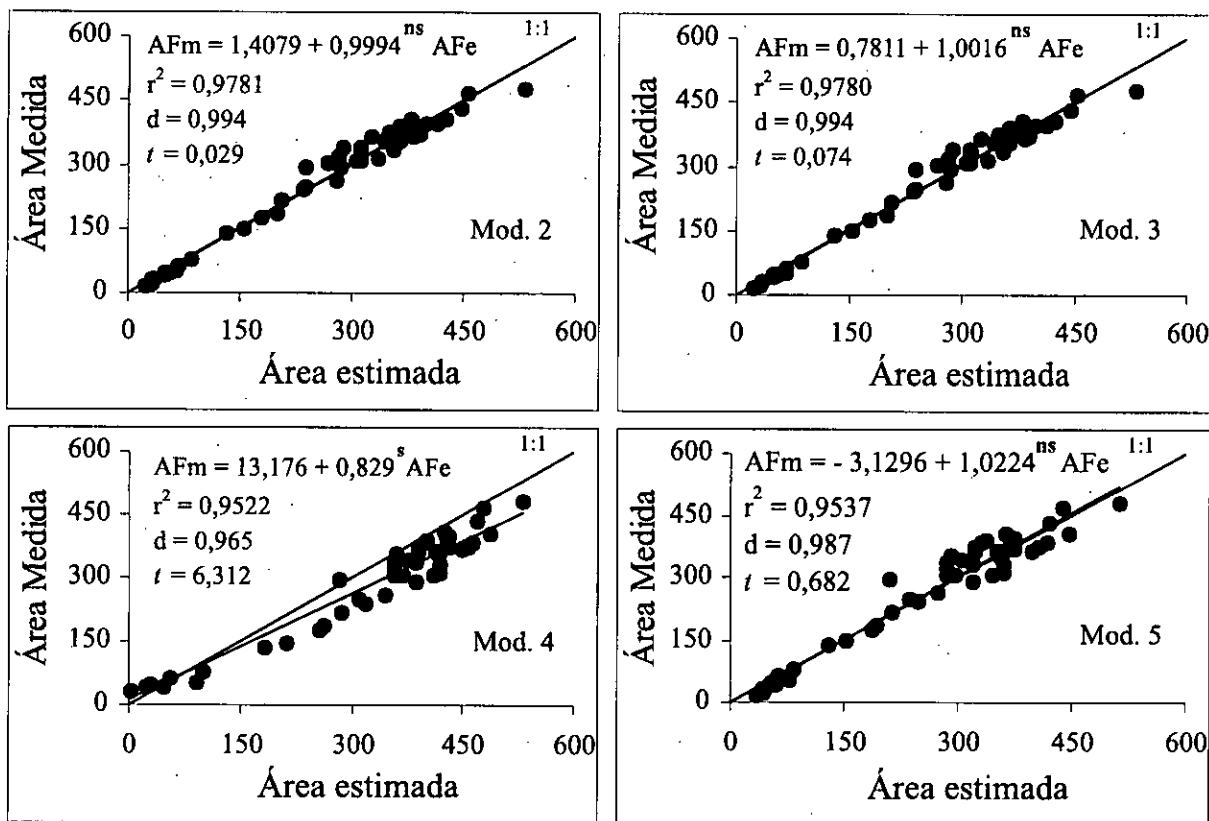


FIGURA 1 - Relação entre a área foliar medida (AFm) e estimada (AFe), em cm<sup>2</sup>, pelos modelos 2, 3, 4 e 5 da Tabela 2, gerados para o pepineiro nas condições de estufa, com seus coeficientes angulares e lineares, coeficiente de determinação do teste ( $r^2$ ), índice de ajuste de Willmott (d) e o valor de t calculado. Teste dos modelos, realizado com o terceiro banco de dados, obtidos em 27/10/2000 (\* e <sup>ns</sup> = parâmetro b, respectivamente, diferente de 1 e igual a 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t). Santa Maria, RS

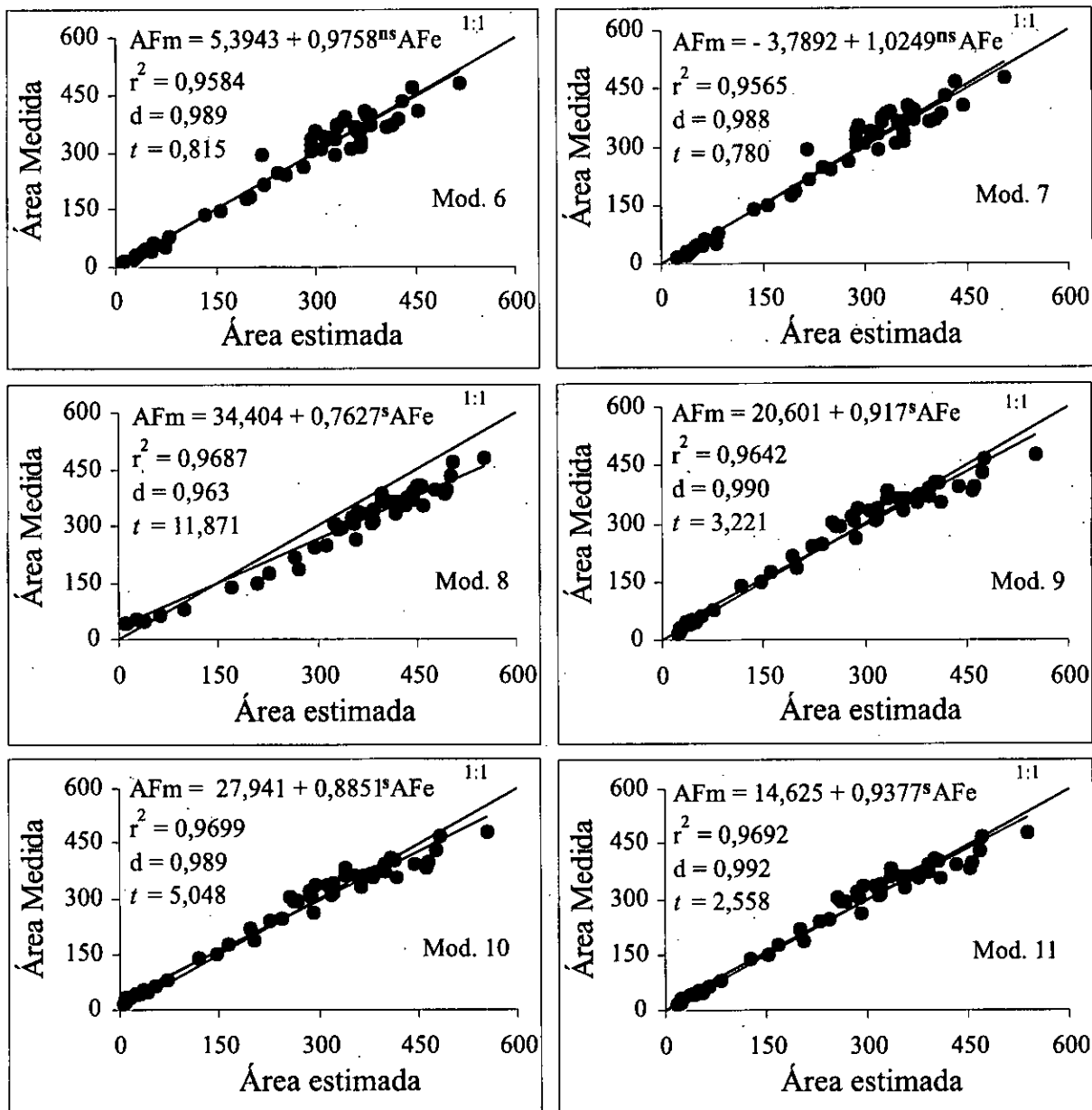


FIGURA 2 - Relação entre a área foliar medida (AFm) e estimada (AFe), em cm<sup>2</sup>, pelos modelos 6, 7, 8, 9, 10 e 11 da Tabela 2, gerados para o pepineiro nas condições de estufa, com seus coeficientes angulares e lineares, coeficiente de determinação do teste ( $r^2$ ), índice de ajuste de Willmott ( $d$ ) e o valor de  $t$  calculado. Teste dos modelos, realizado com o terceiro banco de dados, obtidos em 27/10/2000 ( <sup>s</sup> e <sup>ns</sup> = parâmetro b, respectivamente, diferente de 1 e igual a 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t). Santa Maria, RS

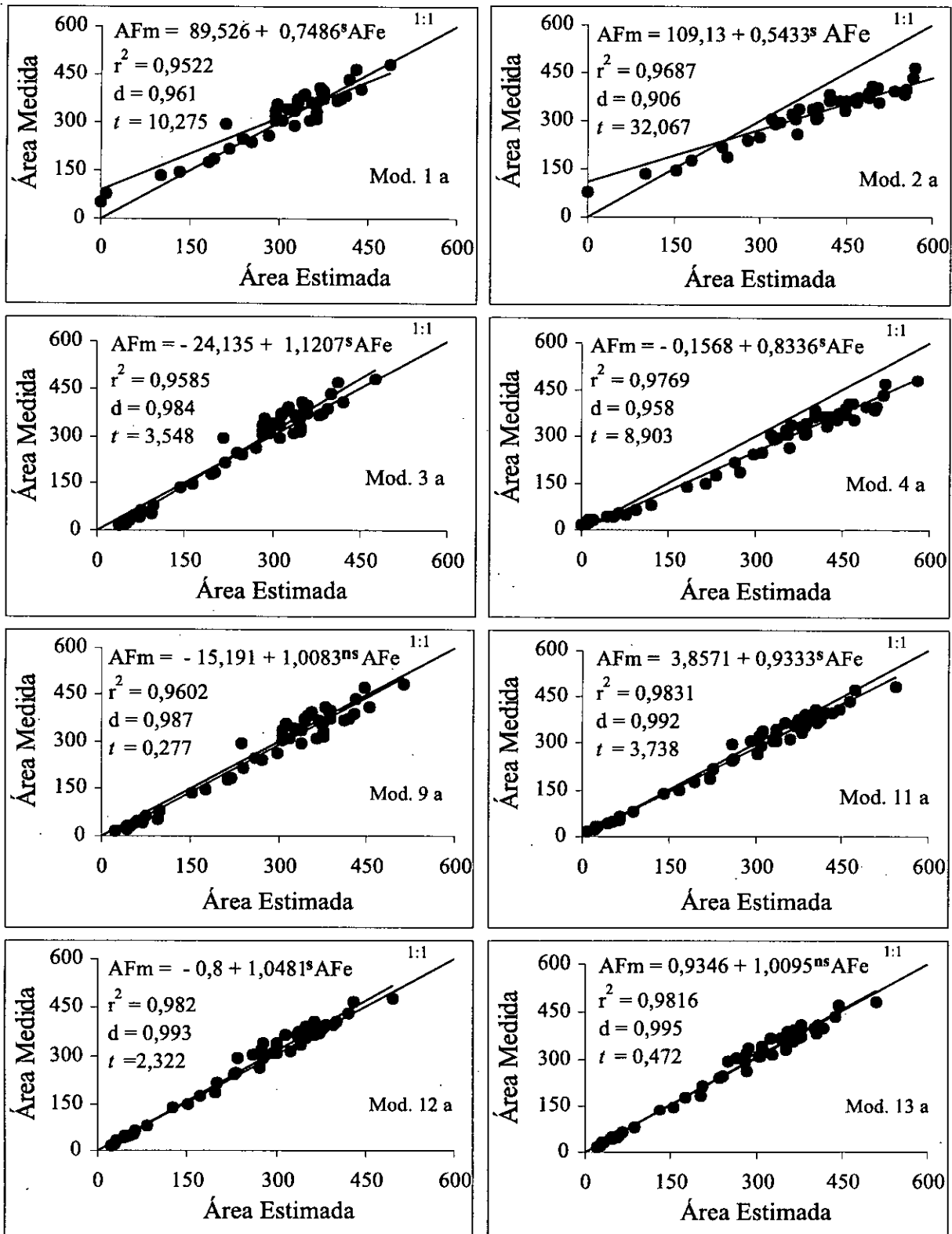


FIGURA 3 - Relação entre a área foliar medida (AFm) e estimada (AFe), em cm², por alguns dos principais modelos obtidos para o pepineiro em outros locais, com seus coeficientes angulares e lineares, coeficiente de determinação do teste ( $r^2$ ), índice de ajuste de Willmott ( $d$ ) e o valor de  $t$  calculado. Teste dos modelos, realizado com o terceiro banco de dados, obtidos em 27/10/2000 ( ' , <sup>ns</sup> = parâmetro b, respectivamente, diferente de 1 e igual a 1, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t). Santa Maria, RS