

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR EM MILHO ATRAVÉS DE ANÁLISE DE IMAGENS

PEDRO ABEL VIEIRA JUNIOR¹, DURVAL DOURADO NETO², SILVIO MOURE CICERO³, LUCIO ANDRÉ DE CASTRO JORGE⁴, PAULO AUGUSTO MANFRON⁵, THOMAS NEWTON MARTIN⁶

Pesquisador, M.Sc., Embrapa SNT EN Sete Lagoas, C.P. 151, CEP 35.900-470, Sete Lagoas, MG, pavieira@cnpms.embrapa.br, Bolsista CNPq.

²Prof. Associado, Dr., Departamento de Produção Vegetal, Esalq/USP, C.P. 9, CEP 13.418-900, Piracicaba, SP. Autor para correspondência: dourado@esalq.usp.br. Bolsista CNPq.

³Prof. Titular, Dr., Departamento de Produção Vegetal, Esalq/USP, C.P. 9, CEP 13.418-900, Piracicaba, SP. Bolsista CNPq.

⁴Pesquisador II, EMBRAPA Instrumentação Agropecuária.

⁵Prof. Titular, Dr., Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria. CEP 97105-900, Santa Maria, RS. manfrop@ufsm.br

⁶Eng. Agr., M.Sc., doutorando do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Esalq/USP, Piracicaba, SP, martin@esalq.usp.br, Bolsista CNPq.

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.5, n.1, p.58-66, 2006

RESUMO - É reconhecida a importância do índice de área foliar para diferentes culturas, notadamente, para estimar produtividade. Entretanto, no caso da cultura de milho, os métodos disponíveis atualmente são laboriosos, demorados e, principalmente, não contemplam a área foliar lesionada por pragas ou doenças, bem como a área foliar senescente, o que torna imprecisa a determinação da área foliar fotossinteticamente ativa. Foram comparadas as áreas foliares de plantas de milho produzidas em dois sistemas de irrigação (aspersão e sulcos), empregando-se o método descrito por Montgomery e a técnica de análise de imagens (utilizando o software SIARCS 3.0[®]). As áreas foliares determinadas por ambos os métodos foram semelhantes, sendo que a técnica de análise de imagens proporcionou a determinação das áreas foliares lesionadas e úteis.

Palavras-chave: *Zea mays* L., índice de área foliar, software.

ESTIMATE OF THE MAIZE LEAF AREA INDEX BY IMAGE ANALYSIS

ABSTRACT - Leaf area index is of recognized importance for different crops, specially, to estimate yield. The available methods of acquiring leaf area index estimates are hard, slow and do not contemplate the leaf area damaged by pests and plant diseases, and the senescing leaf area, which becomes the active photosynthetic leaf area determination imprecise. The maize leaf areas, under two irrigation systems (sprinkler and furrow), were estimated by the Montgomery method and by the image analysis technique (using SIARCS 3.0[®] software). The total leaf area given by both methods were similar; but the image analysis provided the damaged and useful leaf area determination.

Keys words: *Zea mays* L., leaf area index, software.

A melhoria do processo de fotossíntese é complexa e tem como principal limitação o fato de a enzima Rubisco apresentar afinidade tanto a CO_2 quanto a O_2 , o que foi vantagem nos primórdios da vida, quando a atmosfera era rica em CO_2 . Apesar da limitação da enzima Rubisco, a evolução das espécies resultou em mecanismos de concentração de CO_2 , a exemplo de plantas C4, em que a enzima PEP apresenta afinidade apenas a CO_2 . As plantas C4, tendo o milho como exemplo, desenvolveram processos que otimizam a fixação de CO_2 e, conseqüentemente, a utilização de água e de nitrogênio, além de sua produção fotossintética; em condições naturais, não apresentam saturação à radiação (Dourado Neto *et al.*, 2001; Horton, 2000; Vieira Júnior, 1999, Andrade *et al.*, 1991).

A partir da maior fixação de carbono, dado pela fotossíntese, a planta produzirá uma maior área foliar, sendo que essa possui uma relação estreita com o rendimento nas culturas. Porém, considerando as dificuldades inerentes à melhoria no processo de fixação do CO_2 , sugere alterações na arquitetura do dossel, com ênfase na otimização da interceptação e uso pela fotossíntese da radiação (Larcher, 1995; Machado, 1985; Sachulze & Caldwell, 1995; Horton, 2000).

A arquitetura do dossel é caracterizada, principalmente, pelo índice de área foliar (IAF), definido como o total de área foliar por área de solo ocupada pela planta ou cultura (cm^2 folha. cm^{-2} de solo), o qual é resultado da disposição espacial das folhas, como conseqüência da distribuição espacial das plantas. Considerando a relação entre IAF e produção fotossintética, a distribuição espacial das plantas na cultura deve maximizar o IAF; entretanto, estudos demonstram que a produção fotossintética não aumenta linearmente com o IAF, sendo limitada pelo

sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores, o qual, em geral, é mínimo durante a fase inicial de crescimento das culturas. Em conseqüência do auto-sombreamento, a radiação suficiente para saturar a fotossíntese das folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese das culturas. No caso do milho, o IAF ótimo, quando considerada a produção de grãos, está entre 4 e 7, sendo 6 o valor mais freqüente (San Pietro *et al.*, 1967; Gifford & Evans, 1981; Sachulze & Caldwell, 1995; Stewart & Dwyer, 1999; Vieira Júnior, 1999; Pommel *et al.*, 2002).

Para determinação do IAF, há necessidade da medida da área foliar das plantas, a qual tem sido realizada por métodos que empregam modelos matemáticos e planímetros, laboriosos, demorados e, muitas das vezes, imprecisos. Dentre os métodos para medida da área foliar em gramíneas, destaca-se o proposto por Montgomery (1911), o qual estima a área foliar individual a partir do produto do comprimento pela largura máxima da folha, corrigido pelo fator 0,75.

A partir do método de Montgomery (1911), vários métodos foram propostos para estimar a área foliar no dossel da cultura de milho. Cita-se, como exemplo, o proposto por Pearce *et al.* (1975), que consiste em determinar, empregando o método de Montgomery (1911), a área foliar da oitava folha de plantas representativas da cultura e, posteriormente, multiplicar o valor obtido por 9,39 e pela população de plantas por unidade de área. Contudo, em razão do expressivo número de medições requeridas, tem sido prática rotineira descrever o dossel da cultura de milho pela população de plantas, em substituição ao índice de área foliar (IAF), um parâmetro reconhecidamente mais extrapolável. Outra limitação quanto ao IAF é que os métodos propostos

consideram a área foliar total, desconsiderando as regiões lesionadas por pragas ou patógenos, bem como as regiões senescentes da área foliar.

O advento do primeiro microcomputador com circuito único integrado, no ano de 1971, permitiu alocar dispositivos eletrônicos microprocessados em praticamente todas as atividades. Muitos equipamentos e métodos tradicionais têm sido substituídos por sistemas baseados na medição eletrônica, para obtenção e análise de dados, como o processamento de imagens digitais (Gonzalez & Wintz, 1987).

A função principal do processo digital de imagens é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Assim, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação de imagens, notadamente, com relação à forma, cor e textura dos objetos que compõem a imagem (Pratt, 1978; Gonzalez & Wintz, 1987). Quanto à cor, dentre os vários sistemas empregados, destaca-se o HSB, no qual H (Hue) varia entre 0 e 360° e representa as cores azul, amarelo, verde e vermelho, entre outras. O valor H é medido em graus (ângulo), no círculo da base do cone, partindo do vermelho (0°), passando pelo amarelo (60°), verde (120°) e o azul (180°) e voltando para o vermelho (360°). O índice S representa a saturação de luz da cor e varia entre 0 (preto) e 100%. Já o índice B representa a saturação de branco da cor, também variando entre 0, cor preto, e 100%, cor branca (Day, 1997; Pratt, 1978).

A análise de imagens utilizando softwares específicos tem sido empregada para a determinação de formas e dimensões de objetos de interesse. A Embrapa desenvolveu o software SIARCS 3.0®, dedicado à análise computadorizada de imagens digitais de raízes, para

estimar áreas de sistemas radiculares (Jorge & Crestana *et al.*, 1996). Outras aplicações ao SIARCS 3.0®, a exemplo da análise de atributos físicos e fisiológicos em sementes (Vieira Júnior *et al.*, 1999; Vieira Júnior *et al.*, 2000), têm sido propostas. A possibilidade do emprego do SIARCS 3.0® na medida da área foliar de culturas foi demonstrada por Vieira Júnior *et al.*, (1999), quando estimaram as áreas foliares total, lesionada e útil na cultura do feijoeiro, discriminando as regiões lesionadas por valores de HSB distintos dos respectivos valores das áreas não lesionadas ou senescentes, com sucesso.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o emprego da técnica de análise de imagens (software SIARCS 3.0®), na estimativa da área foliar na cultura de milho, comparando os resultados com os obtidos pelo método de Montgomery (Montgomery, 1911).

Materiais e Métodos

O experimento foi realizado com a cultura de milho, em área de Nitossolo Eutrófico Típico, localizada em Piracicaba, SP. A semeadura ocorreu em 16/05/1997, com espaçamento nas entrelinhas, de 0,9 m, obtendo-se a população média inicial de 4,3 plantas.m⁻²; o experimento foi conduzido procurando-se otimizar os controles de pragas, de plantas daninhas e de nutrição das plantas, não sendo utilizado qualquer controle de patógenos.

Até o estágio fenológico zero (Fancelli & Dourado Neto, 1996), a área foi irrigada totalmente por aspersão convencional fixa. Após esse estágio, a aspersão foi suprimida em parte da área experimental, que passou a ser irrigada por sulcos. O intervalo entre irrigações foi de quatro dias e permaneceu até dez dias anteriores à maturidade fisiológica das sementes, nos dois sistemas utilizados. A lâmina de água aplicada, determi-

nada pela evapo(trans)piração acumulada, estimada pelo método do Tanque Classe A (Pruitt & Vaux Júnior, 1983 e Doorenbos & Kassan, 1994), foi a mesma em ambos os sistemas. Cada sistema de irrigação foi representado por seis parcelas adjacentes, com quatro linhas de 9 metros de comprimento de área total e duas linhas com cinco metros de comprimento de área útil, instaladas com espaçamento de 0,90 m entre linhas.

No estágio fenológico 6, em quatro plantas por parcela, foi determinada a área foliar total, pelo método de Montgomery (Montgomery, 1911), e selecionada a área lesionada, através de escala visual de notas 0 (ausência) a 5 (incidência superior a 90% da área foliar). A seguir, as folhas foram destacadas das plantas e digitalizadas com “scanner” de mesa, na resolução de 150 ppi.

As análises da área foliar nas imagens foram realizadas pelo sistema SIARCS 3.0® (Jorge & Crestana, 1996). A calibração do sistema SIARCS 3.0®, para o reconhecimento das regiões referentes à área foliar total e lesionada nas imagens, foi realizada por comparação visual de cores. Consideraram-se os sintomas de ferrugens (*Puccinia sorghi* e *P. polysora*), de mancha de *Phaeosphaeria* (*Phaeosphaeria maydis*) e de mancha de *Helminthosporium* (*Helminthosporium turcicum*). O software foi habilitado para o reconhecimento, nas imagens, das áreas referentes às áreas foliares totais (AFT) e lesionadas (AFL). A área total foi àquela compreendida pelas cores verde (limbo foliar), cinza (nervura foliar central), amarelo (ferrugens, *Helminthosporium* e *Phaeosphaeria*), preto (ferrugens e *Helminthosporium*) e marrom (ferrugens, *Helminthosporium* e *Phaeosphaeria*), segundo descrição dos sintomas desses patógenos apresentados por Fernandes & Oliveira (1997). As áreas totais fo-

ram aquelas compreendidas pelas cores verde, amarela, preta, marrom e castanha e as áreas lesionadas pelas, cores amarela, preta, marrom e castanha.

Após o reconhecimento e o isolamento das áreas totais e lesionadas, individualmente, o software SIARCS 3.0® procedeu à binarização das imagens e à contagem do número de “pixels” compreendidos em cada área. As áreas foliares foram calculadas, em m², pela equação 1:

$$Área(m^2 10^{-4}) \equiv \frac{pixeis}{150^2} \times 2,54^2$$

A área foliar útil foi obtida pela diferença entre a área foliar total e a área lesionada. A percentagem de área total lesionada (Patl) é o resultado da razão entre as áreas foliares lesionadas e totais. Os índices de áreas foliares total, lesionado e útil são os resultados das razões entre os produtos das respectivas áreas foliares e o número de plantas na parcela pela área útil da parcela (43,2m²).

Nas parcelas, também foram determinados os componentes de rendimento: densidade populacional (plantas.m⁻²), número de espigas por planta (espiga.planta⁻¹), massa de sementes por espiga (g.espiga⁻¹), massa de sementes por planta (g.planta⁻¹) e rendimento de grãos (g.m²).

Os resultados obtidos foram analisados pelo sistema estatístico SAS (SAS, 1990), aplicando o teste t. Foi calculada a significância (t(0,01/2, 5)) das diferenças entre os valores de áreas foliares totais obtidos pelo método de Montgomery (Montgomery, 1911) e pelo software SIARCS 3.0®.

Resultados e Discussão

Em ambos os sistemas de irrigação, a população de plantas e o número de folhas por

planta não diferiram estatisticamente (Tabela 1). O resultado do número de folhas por planta é consequência da característica da variedade cultivada, sendo que essa característica apresenta alta herdabilidade genética, sendo raramente afetada pelo ambiente (Vieira Júnior, 1999). Entretanto, a irrigação por aspersão proporcionou maior incidência de patógenos, evidenciada pela maior percentagem de área total lesionada nesse sistema (26,14%) em relação à irrigação por sulcos (12,05). A maior incidência de área foliar lesionada no sistema de irrigação por aspersão

concorreu para a redução na área foliar útil e, considerando as afirmações de Fancelli & Dourado Neto (1996) e Vieira Júnior (1999), para a menor produção de fotoassimilados. Ainda considerando as afirmações desses autores, a menor produção de fotoassimilados influenciou negativamente a área foliar total, que, associada à maior área lesionada, acentuou a redução da área foliar útil, no o sistema de irrigação por aspersão.

É reconhecido que a área fotossinteticamente ativa é um dos principais componentes da produção vegetal. No caso do milho, a área foliar

TABELA 1. População de plantas por unidade de área (plantas.m⁻²), número de folhas por planta (folhas.planta⁻¹), área foliar (m².10⁻⁴) e índice de área foliar total (m².m⁻²), lesionada e útil, determinados pelo método proposto por Montgomery (1911) e pela técnica de análise de imagens com emprego do software SIARCS 3.0[®], na cultura do milho conduzida sob os sistemas de irrigação por aspersão e por sulcos. Piracicaba, São Paulo, 1997.

Determinações	Método	Sistema de Irrigação	
		Aspersão	Sulcos
Área foliar (m².10⁻⁴.planta⁻¹)			
Total	Montgomery (1911)	4.467,87Aa	5.198,84Ab
	SIARCS 3.0®	4.273,41Aa	5.100,21Ab
Lesionada	Escala (0 a 5)	2,67Aa	1,87b
	SIARCS 3.0®	1.201,27Aa	630,86b
Útil	SIARCS 3.0®	3.072,14Aa	4469,35b
IAF (m².m⁻²)			
Total	Montgomery (1911)	1,80Aa	2,13Ab
	SIARCS 3.0®	1,71Aa	2,09Ab
Lesionada	SIARCS 3.0®	0,48Aa	0,26b
Útil	SIARCS 3.0®	1,23Aa	1,83b
População		4,02a*	4,10a
Número de folhas por planta		13,83ª	14,33a

* médias não ligadas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste t Cochran.

é a principal produtora de fotoassimilados, sendo que, para a cultura de sequeiro, na qual o fator limitante é a água, indica-se um IAF de, aproximadamente, quatro, enquanto, para a cultura irrigada, de cinco a sete (Vieira Júnior, 1999 e

Fancelli & Dourado Neto, 1996). No presente caso, apesar das diferenças significativas entre todos os índices de área foliar e das maiores produtividades de grãos para a irrigação por sulcos (Tabela 2), ambos os sistemas de irrigação apre-

TABELA 2: Médias da população de plantas (plantas.m⁻²), número de espigas por planta (planta⁻¹), rendimento de grãos em massa de sementes por espiga (g.espiga⁻¹), massa de sementes por planta (g.planta⁻¹) e rendimento de sementes por área (g.m⁻²), obtidos sob irrigação por aspersão e por sulcos. Piracicaba, São Paulo, 1997.

População	Número de espigas por planta	Rendimento de grãos		
		Espiga (g.espiga ⁻¹)	Planta (g.planta ⁻¹)	Área (g.m ⁻²)
		Aspersão		
4,01 a	1,04 a	115,13 a	119,74 a	480,13 a
		Sulcos		
4,13 a	1,05 a	110,13 b	118,67 a	490,08 a

* médias não ligadas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste t Cochran.

sentaram produtividades de grãos (com teores de água corrigidos para 13%) estatisticamente semelhantes. É possível que o fato seja consequência do reduzido IAF, decorrente das populações de plantas muito aquém da recomendada (5,5 plantas.m⁻²), não possibilitando a máxima expressão do potencial genético da cultura. Portanto, apesar dos indicativos, notadamente na área foliar útil, não foi possível afirmar que o sistema de irrigação por sulcos favoreceu a produtividade de grãos, necessitando a realização de novos trabalhos com a população ideal de plantas.

Com relação às imagens digitalizadas das folhas de milho, observa-se, na Figura 1, que 150 ppi e 256 cores foram adequados para identificar as regiões lesionadas e úteis da área foliar. A área foliar lesionada, determinada com o emprego do SIARCS 3.0[®], não foi comparada à incidência de doenças, determinada com em-

prego da escala. Entretanto, considerando a escala de zero (folha sem lesão) a cinco (incidência superior a 90% da área foliar) e o valor médio (2,67), é possível inferir a percentagem de, aproximadamente, 50% da área foliar lesionada, enquanto a área foliar lesionada, determinada pelo SIARCS 3.0[®], representou 28% da área foliar total. Para a área foliar total (Tabela 1), os valores determinados com emprego do software SIARCS 3.0[®] foram semelhante aos determinados pelo método de Montgomery (Montgomery, 1911).

A utilização de recursos computacionais é recomendável para determinar a área foliar, em função da possibilidade de analisar a área foliar lesionada e, conseqüentemente, a área foliar útil, as quais não são usualmente determinadas pelos métodos atualmente disponíveis.

Vieira Júnior (1999) e Fancelli & Dourado Neto (1996) comentam sobre a importância

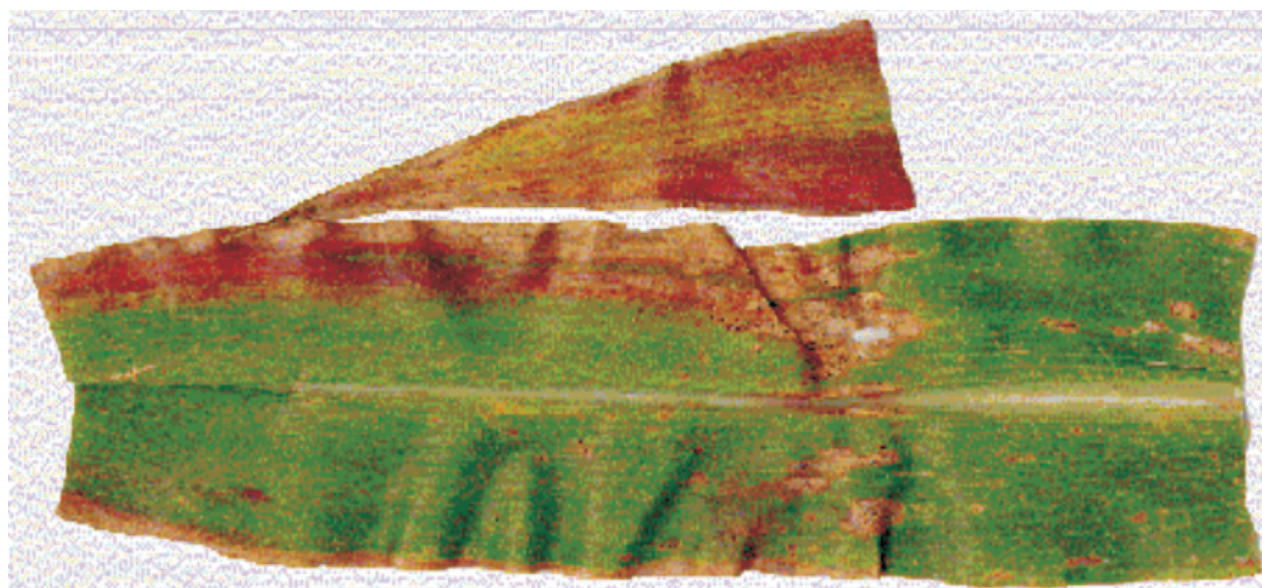


FIGURA 1. Imagem digitalizada com a resolução de 150 ppi e 256 cores, de uma folha de milho obtida sob sistema de irrigação por aspersão. Piracicaba, São Paulo, 1997.

do emprego do IAF em substituição à população de plantas, para a caracterização da cultura e a estimativa do rendimento. Entretanto, em razão da dificuldade na determinação da área foliar, é comum o emprego da população de plantas em detrimento do IAF. Considerando a importância da determinação do IAF nas culturas, com o emprego da análise de imagens, foi possível obter-se as áreas foliares total, lesionada e útil, mediante as quais, relacionadas à população de plantas, foi possível determinar os respectivos Índices de Área Foliar (Tabela 1), sendo especialmente importante o emprego do Índice de Área Foliar Útil em relação ao Índice de Área Foliar Total para estudos fitotécnicos na cultura do milho.

Destaca-se que a análise das imagens pelo SIARCS 3.0[®] mostrou-se ágil, demandando, em média, três minutos por planta. Entretanto, há que ser considerado que esse fator depende da capacidade do equipamento disponível, tendo sido empregado, no presente trabalho, um CPU com

processador Pentium III, com 256 mega bytes de memória RAM. Entretanto, apesar das vantagens destacadas para a análise de imagens, em geral, o método foi bastante moroso, notadamente quanto à coleta e digitalização das imagens, havendo necessidade de maiores estudos para definição de metodologia expedita na digitalização das imagens. Nesse caso, há que ser considerada a possibilidade da aquisição de imagens diretamente na planta, adotando-se um referencial para posterior medida de área. Portanto, o emprego da análise de imagem para determinação do Índice de Área Foliar mostra-se promissor, havendo necessidade de maiores estudos, notadamente quanto à automação do processo, com ênfase na aquisição das imagens. Para tanto, sugere-se, em futuros estudos, o emprego de leitor ótico de infravermelho, ajustado às faixas de HSB predominantes no dossel, descritas a seguir: (i) verde, referente ao limbo foliar; (ii) cinza, referente à nervura foliar central; (iii) amarelo, preto, marrom e castanho, referentes às áreas lesionadas.

Conclusão

Concluiu-se que a técnica de análise de imagens fornece estimativas de área foliar semelhantes às obtidas pelo método de Montgomery (MONTGOMERY, 1911) e, adicionalmente, estima as áreas foliares úteis e lesionadas. Entretanto, há necessidade de metodologia mais rápida para digitalização das imagens.

Literatura Citada

- ANDRADE, F. H.; UART, S.; ARGUISSAIN, G. **Rendimiento potencial de maiz en Balcarce: analisis de los factores que lo determinan**. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1991. 11 p. (INTA. Boletim Técnico, 101).
- DAY, J. B. **Color scanning handbook**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 267 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 123 p. Tradução de H. R. Gheyi; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L.; LOPES, P. P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: tecnologia da produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 120-125.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Milho: Fisiologia da produção. In: POTAFOS (Piracicaba, SP). **Seminário sobre fisiologia da produção e manejo de água e de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: 1996. p. 1-29
- FERNANDES, F. T.; OLIVEIRA, E. **Principais doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1997. 80 p. (EMBRAPA-CNPMS.Circular Técnica, 26).
- GIFFORD, R. M.; EVANS, L. T. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 32, p. 485-509, 1981.
- GONZALEZ, R. C.; WINTZ P. A. **Digital image processing**. Reading: Addison-Wesley 1987. 431 p.
- HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 51, p. 475-485, 2000.
- JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0®: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Solo suelo 96...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Spring-Verlag, 1995. 506 p.
- MACHADO, E. C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985. p. 175-200.
- MONTGOMERY, E. G. Correlation studies in corn. **Nebraska Agricultural Experimental Station Annual Report**, v. 24, p.108-159, 1911.
- PEARCE, R. B.; MOCK, J. J.; BAILEY, T. B. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 691-694, 1975.
- POMMEL, B.; MOURAUX, D.; CAPPELLEN, O.; LEDENT, J. F. Influence of delayed

- emergence and canopy skips on the growth and development of maize plants: a plant scale approach with CERES-Maize. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 263-277, 2002.
- PRATT, W.K. **Digital image processing**. New York: J. Wiley, 1978. 750 p.
- PRUITT, W.O.; VAUX JÚNIOR., H.J. Crop water production functions. **Advances in Irrigation**, New York, v. 2, p. 61-97, 1983.
- SACHULZE, E. D.; CALDWELL, M. M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 576 p.
- SAN PIETRO, A.; GREER, F. A.; ARMY, T. J. (Eds.). **Harvesting the sun**. New York: Academic Press, 1967. 342 p.
- SAS IINSTITUTE (Cary, NC). **Stat User's Guide**. Version 6, 4. ed. Cary, 1990. 890 p.
- STEWART, D. W.; DWYER, L. M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 422-427, 1999.
- VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; SMIDERLE, O. J.; CICERO, S. M. Efeitos de métodos de irrigação sobre a produção e a qualidade de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 100-105. 1998.
- VIEIRA JÚNIOR, P. A. Milho. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-72.
- VIEIRA JÚNIOR, P. A.; CICERO, S. M.; JORGE, L. A. C.; SILVA, W. R.; DIAS, C. T. S.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, L. C. Emprego da técnica de análise de imagens para determinação do comprimento e da largura de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 87-95, 1999.
- VIEIRA JÚNIOR, P. A.; FARIA, L. A.; JORGE, L. A. C.; MANTOVANI, E.; ANDREOLI, C. Interpretação do Teste de Tetrazólio em sementes de milho com o emprego da técnica de análise de imagens. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados**: resumos expandidos. Sete Lagoas: ABMS: EMBRAPA Milho e Sorgo: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. CD-ROM.