

ANÁLISE QUANTITATIVA DE CRESCIMENTO DE QUATRO VARIEDADES DE MILHO EM TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO, ATRAVÉS DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS AJUSTADAS¹

EDUARDO CARUSO MACHADO², ANTONIO ROBERTO PEREIRA³, JOEL IRINEU FAHL²
HERMANO VAZ ARRUDA⁴, WILLIAM JOSÉ DA SILVA⁵ e J.P.F. TEIXEIRA⁶

RESUMO - Quatro variedades de milho foram cultivadas em três DP. Dentro de cada DP, tais variedades não apresentaram diferenças significativas quanto às características biométricas do crescimento. Houve, no entanto, efeito da DP. O aumento em DP induziu decréscimo tanto no PS/P como na AF/P, porém sem alterar a distribuição relativa de MS entre os diversos órgãos componentes da planta. A variação temporal do PS e da AF foram convenientemente descritos pela função logística e pela parábola modificada, respectivamente. Os índices fisiológicos obtidos através da manipulação dessas funções apresentaram as seguintes tendências: a. não houve efeito significativo das DP utilizadas sobre a TCR e a RAF; b. a TCC e a TCG aumentaram com o aumento em DP; c. a TAL respondeu, aparentemente, à demanda de fotossintetizados pelos órgãos reprodutivos; d. o IC não foi afetado pela DP e permaneceu ao redor de 0,4; e. o TSS no colmo, por ocasião da maturação, foi independente das DP utilizadas e relativamente alto, indicando que as variedades estudadas não realizaram seu potencial de produção, visto que os carboidratos imobilizados no colmo representam energia fixada pela fotossíntese e inaproveitada para produção de grãos; f. as palhas e sabugo contribuíram com 25-30% do peso seco total da espiga.

Termos para indexação: índices fisiológicos, função logística, parábola modificada, índice de colheita.

QUANTITATIVE GROWTH ANALYSIS OF FOUR CORN VARIETIES GROWN IN THREE PLANT DENSITIES, WITH THE USE OF FITTED MATHEMATICAL FUNCTIONS

ABSTRACT - Four corn varieties were grown in three PD. Within each PD the above varieties did not show any significant difference regarding the biometric characteristics of growth. There was, however, effect due to the PD. Increase in PD decreased the DW and LA/P without any change in the relative distribution of DM among the plant components. The time variation of DW and LA were conveniently described by the logistic function and the power parabola, respectively. The physiological indices were obtained by handling the above functions and in general presented the following tendencies: a. there was no significant effect of PD on the RGR and LAR; b. CGR and GGR increased with increase in PD; c. apparently the NAR was a function of the demand of carbohydrates by the reproductive organs; d. HI remained constant and about 0,4 for the three densities used; e. at maturation, the SSC was independent of PD and relatively high indicating that the above varieties did not achieve their potential grain production since the carbohydrates left in the stalk represent energy fixed by photosynthesis and unused for grain production; f. husks and cobs were approximately 25-30% of the ear dry weight.

Index terms: physiological indices, logistic function, power parabola, harvest index.

¹ Aceito para publicação em 14 de janeiro de 1982. Trabalho parcialmente financiado pelo Projeto Bioconversão Convênio CODETEC/FINEP/CIA.

² Eng.º Agr.º, M.Sc., Fisiologia Vegetal, Instituto Agronômico de Campinas, IAC, bolsista do CNPq, Caixa Postal 28, CEP 13100 - Campinas, SP.

³ Eng.º Agr.º, Ph.D., Climatologia Agrícola, Instituto Agronômico de Campinas.

⁴ Eng.º Agr.º, Doutor, Técnica Experimental, Instituto Agronômico de Campinas.

⁵ Eng.º Agr.º, Ph.D., Genética, Instituto de Biologia, UNICAMP, Caixa Postal 1170, CEP 13100 - Campinas, SP.

⁶ Eng.º Agr.º, Fitoquímica, Instituto Agronômico de Campinas.

INTRODUÇÃO

É evidente que a produção econômica de uma cultivar é o somatório de todas as interações planta-ambiente; mas, se se quiser compreender um pouco a natureza dos controles internos intrínsecos da cultivar, necessitam-se medidas mais detalhadas que apenas a produção final. Tal conhecimento é fundamental, também, para o desenvolvimento e teste de modelos de simulação do crescimento e produção de uma cultura. A análise quantitativa do crescimento é o primeiro passo na

análise da produção primária das culturas e requer informação que pode ser obtida sem necessidade de laboratório ou equipamentos sofisticados. Tais informações são o peso seco (biomassa) da planta toda e de suas partes (folhas, caules, raízes, etc.) e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar). Estas informações são obtidas a certos intervalos de tempo durante a estação de crescimento da cultura. As variações da quantidade de biomassa e da área foliar são utilizadas, com o tempo, na estimativa de vários índices fisiológicos, tais como: taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento da cultura (TCC), Índice de área foliar (IAF) etc. Tais índices podem, então, ser comparados, na tentativa de explicar as diferenças na produção econômica de diferentes cultivares ou de uma mesma cultivar submetida a diferentes tratamentos.

A formulação e o significado dos diversos índices fisiológicos estão descritos em vários textos, por exemplo: Watson (1952), Richards (1969), Kvet et al. (1971), Evans (1972). Quanto à análise de crescimento aplicada à cultura do milho, extensa revisão é apresentada por Magalhães & Silva (1978). As dificuldades envolvidas com a análise de crescimento convencional são discutidas por Stuff et al. (1979). A utilização de funções matemáticas na análise de crescimento tem sido recomendada para diversos autores (Vernon & Allison 1963, Radford 1967, Kvet et al. 1971, Hunt 1979). Entre as inúmeras vantagens de tal técnica, podem ser citadas:

- a. as amostragens não necessitam ser simultâneas em tratamentos e variedades diferentes quando os experimentos são conduzidos simultaneamente;
 - b. as amostragens não necessitam ser realizadas em intervalos regulares e em grande frequência;
 - c. pequenos erros de amostragem são suavizados estatisticamente;
 - d. não há necessidade de pressupor que o crescimento em si seja de um determinado tipo, mas apenas que as funções matemáticas se ajustam adequadamente à variação do peso seco e da área foliar durante a estação de crescimento;
- e um grande número de informações pode ser

representado por uma única expressão matemática. Tais vantagens facilitam grandemente a execução de experimentos com vários tratamentos e repetições.

O presente trabalho tem por objetivo estudar, através da análise de crescimento, utilizando funções matemáticas, o comportamento de quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de população.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no Centro Experimental de Campinas, Instituto Agrônomo, SP, em blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três densidades de plantio em parcelas e quatro variedades em subparcelas. Erecta Dente, Erecta Flint, Normal Dente e Normal Flint, descritas por Silva et al. (1976), foram as variedades utilizadas. As três densidades de plantio: $D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ e $D_3 = 33.333$ plantas/ha corresponderam aos espaçamentos de 0,75 m, 1 m e 1,50 m entre linhas, sempre com 0,40 m entre-covas e 2 plantas/cova. Cada parcela constou de onze linhas de 64 m de comprimento, ou seja, quatro subparcelas de 16 m. Aplicaram-se 65 g da mistura 4-14-8 (N-P-K) por metro linear de sulco e 30 g de sulfato de amônia em cobertura. A competição com plantas invasoras foi prevenida com incorporação de 3,6 kg/ha de herbicida butilate (i.a.) em pré-plantio e uma capina à enxada.

Para a estimativa do peso da matéria seca e área foliar das plantas, as amostragens foram iniciadas 22 dias após a emergência e repetidas a cada quatorze dias até a maturação fisiológica. Após a emissão das inflorescências femininas, estas foram coletadas a cada sete dias. Em cada amostragem colheu-se a parte aérea de dez plantas de cada subparcela. O peso fresco das diversas partes das plantas foi obtido separadamente. Em virtude do grande volume de material colhido, retirou-se uma subamostra de, aproximadamente, 20%, onde se determinou o peso seco após sete dias a 70°C em estufa com circulação forçada. Conhecendo-se a relação peso seco/peso fresco da subamostra, determinou-se o peso seco da amostra. A área foliar foi estimada através da relação área foliar/peso seco das folhas na subamostra. A área foliar da subamostra foi estimada a partir da expressão comprimento do limbo x maior largura x 0,75, proposta por Montgomery (1911) e utilizada por diversos autores.

Em análise de crescimento de comunidades vegetais é comum utilizar a unidade de área de terreno como base para expressar o peso seco e a área foliar. A área foliar por unidade de área de terreno é designada índice de área foliar (Watson 1952). Embora a variação temporal do peso seco por unidade de área de terreno possa ser convenientemente descrita por várias funções matemáticas denominadas funções de crescimento (Richards 1959, 1969), no presente trabalho optou-se pela utilização da função lo-

gística $Y = Y_{\max}/(1 + \exp(A + Bt))$. Os parâmetros Y_{\max} , A e B foram determinados através da regressão assintótica proposta por Stevens (1951). A função parábola modificada $Z = (A_0 + A_1 t^n + A_2 t^{2n})^m$, proposta por Adams & Hills (1977), que se ajusta melhor que a parábola simples às relações assimétricas, foi utilizada para descrever a variação temporal do índice de área foliar (IAF). O ajuste de tais funções é iterativo e requer a utilização do computador. Os diversos índices fisiológicos foram então obtidos pela manipulação das funções ajustadas. Por exemplo, a razão de área foliar (RAF) é dada pelo quociente das funções parábola modificada e logística; a taxa de crescimento da cultura (TCC) é dada pela derivada dY/dt , enquanto $TCR = (1/Y \cdot dY/dt) = TCC/Y$ e $TAL = (1/Z \cdot dZ/dt) = TCC/Z$.

Após a emissão das panículas, colheram-se amostras semanais de dez colmos para determinação do teor de sólidos solúveis. Destes colmos, utilizou-se o internódio em cuja base estava inserida a espiga, para determinação, através do refratômetro ABBE, do brix e dos pesos fresco e seco do internódio. Estimou-se o teor de sólidos solúveis através do método proposto por Campbell & Hume (1970).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De um modo geral, o comportamento do crescimento das variedades utilizadas foi semelhante aos descritos por Briggs et al. (1920a, b), Hanway & Russel (1969), Silva et al. (1974), Duncan (1975), Tanaka & Yamaguchi (1977) e Mackinnon et al. (1978). Com respeito às características do crescimento estudadas, a análise de variância revelou não haver diferença significativa entre as quatro variedades e a inexistência de interação de variedade e densidade de plantio. Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (1974), e desta forma, serão analisados aqui somente os efeitos relacionados à densidade de plantio. A Tabela 1 apresenta as características biométricas do crescimento e os índices fisiológicos estudados. As produções biológicas médias para as três densidades de plantio foram as seguintes: D_1 -1754 g/m², D_2 -1479 g/m², D_3 -1136 g/m². Assim, a produção biológica com a densidade D_1 foi 19% mais elevada que com D_2 e 54% mais que com D_3 . Nota-se, portanto, que o aumento do número de plantas por unidade de área não produziu aumento equivalente da produção de matéria seca total, indicando que o aumento da densidade de plantio provocou alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas. Em média, uma planta pesou 266 g no tratamento D_1 , 296 g no D_2 e 344 g no D_3 . Resultados

TABELA 1. Características biométricas do crescimento e índices fisiológicos de variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio.

	33.333 pl/ha	50.000 pl/ha	66.666 pl/ha
Área foliar - m ² /pl	0,853	0,795	0,764
Peso seco total - g/pl	344	296	266
Peso seco total - g/m ²	1.136	1.479	1.754
Peso seco grãos g/pl	130	121	99
Índice de colheita	0,38	0,41	0,37
TCC max - g/m ² . dia	24	30	35
TCG max - g/m ² . dia	17	23	27

semelhantes foram obtidos por Williams et al. (1968), Alvim & Alvim (1969) e Silva et al. (1974).

A emergência das plantas se deu uma semana após o plantio. Sendo a fotossíntese o processo responsável pelo fornecimento da energia necessária ao crescimento e desenvolvimento da planta, parece lógico que inicialmente a planta utilize a maior parte da energia disponível na elaboração do órgão captador da radiação solar. Nota-se, pela Fig. 1, que, por volta dos 22 dias após a emergência (d.a.e.), aproximadamente 70% da matéria seca da parte aérea das plantas se concentrava nas folhas e os restantes 30% no colmo. Por ocasião do florescimento (65-70 d.a.e.), esta relação se inverteu, isto é, o colmo foi responsável por aproximadamente 65% da matéria seca, sendo os demais 35% distribuídos entre as folhas e a espiga. Após o florescimento, a espiga desenvolveu-se rapidamente, contribuindo, aos 120 d.a.e., com 55-60% do peso seco total. A relação peso seco de grãos/peso seco total, isto é, o índice de colheita, esteve ao redor de 0,37-0,41, indicando que 25-30% do peso da espiga foi devido às palhas e sabugo. O índice de colheita observado é compatível com aqueles relatados por DeLoughery & Crookston (1979), Fischer & Palmer (1980) e Gerakis & Papakostas-Tasopoulou (1980). Uma planta produziu, em média, 99 g de grãos na densidade de plantio D_1 , 121 g em D_2 e 130 g em D_3 . É importante notar que, embora a densidade de plantio tenha afetado

a planta em si, a Fig. 1 indica que não houve efeito sobre a distribuição relativa de matéria seca entre os diversos componentes da planta.

Pela Fig. 2, nota-se que o peso seco máximo das folhas ocorreu ao redor do florescimento, e o do colmo, aos 90 d.a.e. Posteriormente, em função da senescência das folhas inferiores, houve um decréscimo no peso seco das folhas. Durante o florescimento, o peso seco das folhas em D_1 foi 25% maior que em D_2 e 68% maior que em D_3 (Fig. 2A). A Tabela 2 apresenta os parâmetros que caracterizam a parábola modificada, que descreve a variação temporal do peso seco e do IAF em cada densidade de plantio utilizada.

A variação do peso seco total e dos grãos é apresentada na Fig. 2C. Os parâmetros da função logística selecionada para cada situação são apresentados na Tabela 3. O aumento no peso seco dos grãos coincidiu com um decréscimo no peso seco do colmo (Fig. 2B, C). Coincidentemente, a percentagem de sólidos solúveis no colmo foi alta imediatamente após o florescimento, com uma queda acentuada posteriormente (Fig. 3). A variação na percentagem de sólidos solúveis no colmo no período de enchimento dos grãos parece estar rela-

cionada com a diferença entre a capacidade fotosintética da planta e a capacidade de enchimento dos grãos (Daynard et al. 1969). Inicialmente, a capacidade de enchimento dos grãos foi pequena, aumentando posteriormente. A Fig. 4 mostra que inicialmente a taxa de crescimento dos grãos (TCG) foi menor que a taxa de crescimento da cultura (TCC), evidenciando que o excesso de material fotossintetizado e não utilizado para o crescimento dos grãos foi armazenado no colmo como reserva. Posteriormente, a TCG excedeu a TCC,

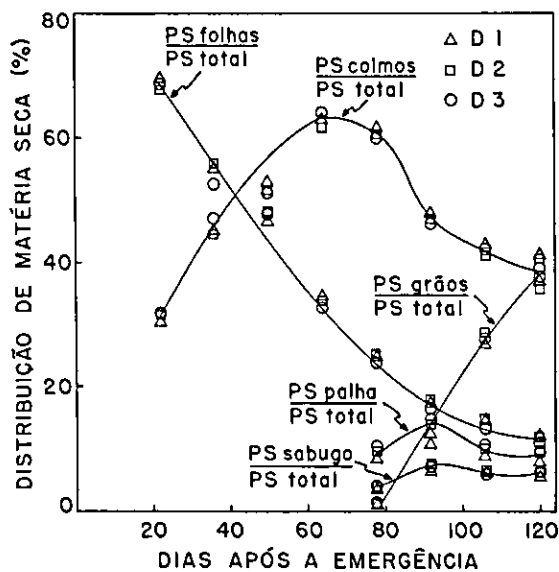


FIG. 1. Distribuição relativa sazonal de matéria seca em quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio ($D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ e $D_3 = 33.333$ plantas/ha).

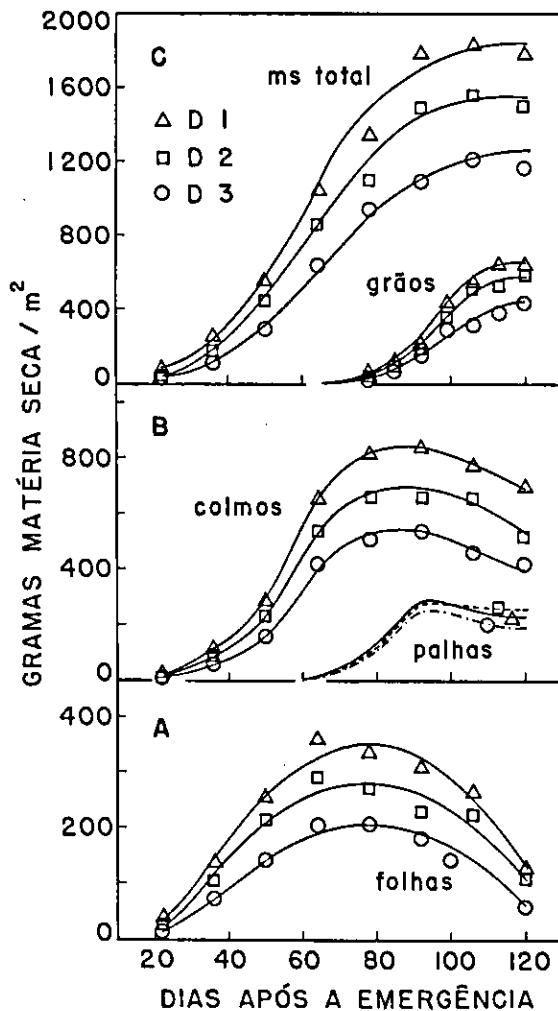


FIG. 2. Acúmulo de matéria seca em quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio ($D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ e $D_3 = 33.333$ plantas/ha).

TABELA 2. Coeficientes da função parábola modificada*, $Z = (A_0 + A_1 t^n + A_2 t^{2n})^m$, selecionada para descrever o acúmulo de matéria seca nas folhas ($g \cdot m^{-2}$) e o índice de área foliar em três densidades de plantio de milho.

	Matéria seca das folhas			Índice de área foliar		
	66.666 pl/ha	50.000 pl/ha	33.333 pl/ha	66.666 pl/ha	50.000 pl/ha	33.333 pl/ha
A	-91,5537	-124,7573	-25,7600	-5,4784	-3,8821	-2,6510
B	-3,8546	5,3878	0,8729	1,1690	1,0569	0,3728
C	0,0140	0,0230	-0,0021	-0,0393	-0,0462	-0,0073
m	0,88	0,94	0,78	0,72	0,56	0,725
n	1,13	1,10	1,22	0,64	0,58	0,77

* Adams & Hills (1977).

TABELA 3. Coeficientes da função logística, $Y = \frac{Y_{max}}{1 + \exp(A + Bt)}$, selecionada para descrever o acúmulo de matéria seca ($g \cdot m^{-2}$) em três densidades de plantio de milho.

	Matéria seca total			Matéria seca dos grãos		
	66.666 pl/ha	50.000 pl/ha	33.333 pl/ha	66.666 pl/ha	50.000 pl/ha	33.333 pl/ha
Y_{max}	1.866,0	1.567,6	1.268,7	670,8	605,4	443,6
A	4,6159	4,7774	4,8990	15,2920	14,2837	14,3438
B	-0,0763	-0,0774	-0,0746	-0,1604	-0,1483	-0,1492

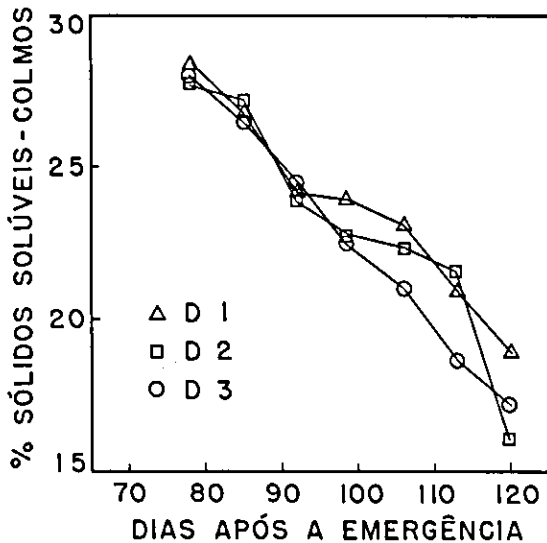


FIG. 3. Variação do teor de sólidos solúveis nos colmos de quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio ($D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ $D_3 = 33.333$ plantas/ha).

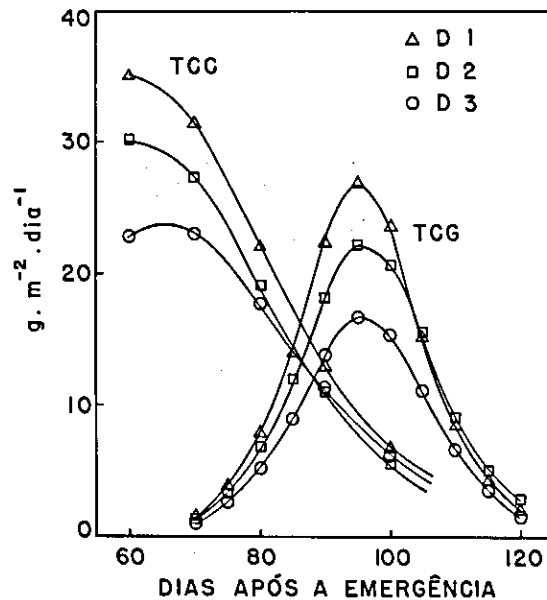


FIG. 4. Taxa de crescimento da cultura (TCC) e dos grãos (TCG) em quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio ($D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ e $D_3 = 33.333$ plantas/ha).

sendo provável que houvesse reutilização do material armazenado anteriormente, acarretando diminuição da percentagem de sólidos solúveis e do peso do colmo. Os valores máximos observados para TCG foram, respectivamente, 27, 23 e 17 g . m⁻² . dia⁻¹ para as densidades D₁, D₂ e D₃ por volta de 95 d.a.e., ou seja, 25-30 dias após o florescimento.

O alto teor de sólidos solúveis no colmo, por ocasião da maturação (N = 17%), indica que a produção foi limitada pela capacidade de enchimento dos grãos. Resultados de Moss (1962), Allison & Watson (1966), Tanaka & Yamaguchi (1977), e outros, mostram que plantas de milho que têm sua granação impedida apresentam alto teor de sólidos solúveis no colmo. Tal fato evidencia que as variedades aqui estudadas não realizaram seu potencial de produção, pois os carboidratos imobilizados no colmo representam desperdício de energia fixada pela fotossíntese. Resultados de Williams et al. (1968) indicam que plantas com maior produção apresentam menor teor de sólidos solúveis no colmo.

A TCC nada mais é que a taxa de produção de matéria seca pela cultura e é dada pela derivada do peso seco total em relação ao tempo, ou seja, $dY/dt = -Y_{max} B \exp(A + Bt) / [1 + \exp(A + Bt)]^2$. Inicialmente, a TCC foi pequena, aumentando rapidamente até atingir o máximo por ocasião do florescimento, e diminuindo posteriormente até a maturação. Os valores máximos para a TCC foram 35, 30 e 24 g de matéria seca . m⁻² de terreno . dia⁻¹, respectivamente, para D₁, D₂ e D₃ (Fig. 5A). Tais valores de TCC são compatíveis com aqueles encontrados por Williams et al. (1968) e Silva et al. (1974) e dentro do intervalo 26-53 g . m⁻² . dia⁻¹ relatado por Fischer & Palmer (1980) para a cultura do milho sob diversas condições ambientais.

A TCC pode ser expressa como o produto do IAF pela taxa de assimilação líquida (TAL). Em outras palavras, o IAF pode ser interpretado como um coeficiente de ajuste entre TCC e TAL. Pela Fig. 5, nota-se que, até por ocasião do florescimento, as diferenças encontradas em TCC para as diferentes densidades de plantio foram devidas, principalmente, às diferenças em IAF, uma vez que a TAL foi praticamente idêntica para as três densidades. A densidade de plantio com menor TAL teve,

em função de IAF, maior TCC. Isto significa que, à medida que houve aumento do IAF entre densidades de plantio, houve um declínio da TAL, que, no entanto, não foi suficiente para eliminar o efeito do IAF sobre a TCC. Resultados de Lopes & Maestri (1973) e Silva et al. (1974) também mostram tal tendência.

A TAL é, em síntese, o resultado do balanço entre a matéria seca produzida pela fotossíntese e aquela perdida através da respiração. Evidentemen-

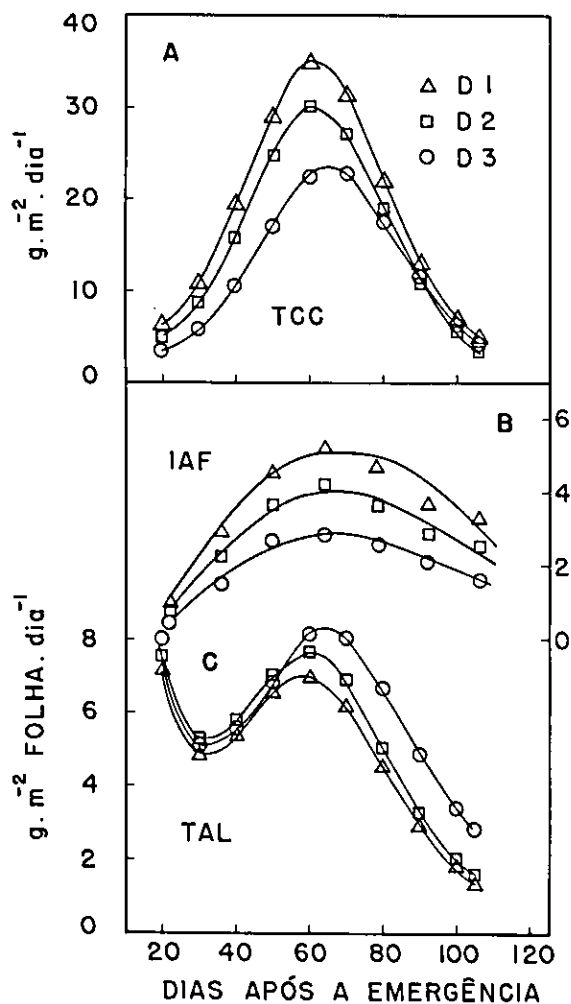


FIG. 5. Taxa de crescimento da cultura (TCC), índice de de área foliar (IAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) em quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio (D₁ = 66.666, D₂ = 50.000 e D₃ = 33.333 plantas/ha).

te, é difícil determinar qual dos processos acima mais afeta a TAL num determinado instante. Entretanto, o aumento da TAL no período de 30 a 65-70 d.a.e. (Fig. 5C) parece estar associado ao aumento na demanda de produtos fotossintetizados pelos sítios de consumo, isto é, alongação dos colmos e diferenciação dos órgãos reprodutivos (Moss 1962, Neales & Incoll 1968, Milthorpe & Moorby 1969). A TAL pode ser interpretada, também, como o quociente entre a taxa de crescimento relativo (TCR) e a razão de área foliar - RAF (Briggs et al. 1920b). O conceito de TCR foi introduzido por Blackman (1919) como um índice de eficiência de conversão de matéria seca por unidade de matéria seca já existente na planta, e no presente texto é expressa por $TCR = -B \exp(A + Bt) / [1 + \exp(A + Bt)]$.

A Fig. 6 mostra que a TCR foi elevada no início do ciclo, decaindo continuamente até a maturação. Tal comportamento parece ser típico de espécies com crescimento do tipo determinado e; praticamente, não houve diferença entre as densidades de plantio utilizadas. Resultados semelhantes são apresentados por Silva et al. (1974). A Fig. 6 mostra, também, que a RAF apresentou um máximo ao redor de 30 d.a.e., decaindo posteriormente. Tal tendência também foi encontrada por Briggs et al. (1920a, b). A máxima RAF acarretou a mínima TAL no mesmo período. A máxima

RAF no início do ciclo vegetativo indica que inicialmente a maior parte do material fotossintetizado foi convertido em folhas, visando maior captação da radiação solar disponível. Posteriormente, houve maior acúmulo de matéria seca no colmo e espiga, ocasionando um decréscimo da RAF.

CONCLUSÕES

1. Para uma mesma densidade de plantio, as variedades de milho Erecta Dente, Erecta Flint, Normal Dente e Normal Flint, descritas por Silva et al. (1976), não apresentaram diferenças significativas quanto às características biométricas do crescimento. Isto permitiu o agrupamento das variedades para se estudar os efeitos devido à variação na densidade de plantio. As variações do peso seco total e da área foliar, com o tempo, foram convenientemente descritas pela função logística e parábola modificada, respectivamente.

2. A variação na densidade de plantio acarretou alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas, sem, no entanto, alterar a distribuição relativa de matéria seca entre os diversos órgãos componentes da planta. O índice de colheita, por exemplo, permaneceu ao redor de 0,4, indicando que a relação peso seco de grãos/peso seco total realmente não foi afetada nas densidades de plantio utilizadas. Por outro lado, o aumento na densidade de plantio acarretou decréscimo tanto no peso seco/planta como na área foliar/planta. No entanto, a taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar e o teor de sólidos solúveis no colmo foram praticamente idênticos para as três densidades de plantio. A taxa de crescimento da cultura e a taxa de crescimento dos grãos foram maiores nas densidades maiores. A taxa de assimilação líquida apresentou um comportamento inédito, respondendo, aparentemente, à demanda de produtos fotossintetizados pelos órgãos reprodutivos.

3. O alto teor de sólidos solúveis no colmo por ocasião da maturação indica que a produção final foi limitada pela capacidade de enchimento dos órgãos. Tal fato evidencia que as variedades aqui estudadas não realizaram seu potencial de produção, pois os carboidratos imobilizados no colmo representam perda de energia fixada pela fotossíntese e não convertida em grãos.

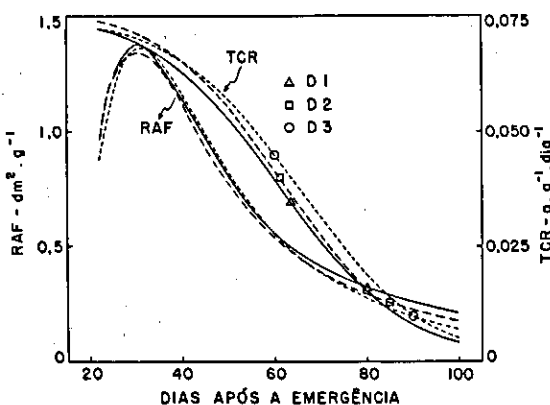


FIG. 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em quatro variedades de milho cultivadas em três densidades de plantio ($D_1 = 66.666$, $D_2 = 50.000$ e $D_3 = 33.333$, plantas/ha).

4. Tomando-se a menor densidade de plantio como referência, o peso de grãos/ha poderia ser, aproximadamente 25% maior que aquele observado na densidade maior, caso não houvesse efeito da densidade de plantio sobre o peso individual das plantas.

5. As palhas e sabugo contribuíram com, aproximadamente, 25-30% do peso seco total da espiga.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C.J. & HILLS, F.J. A power parabola for an asymmetrical response. *Agron. J.*, 69:124-5, 1977.
- ALLISON, J.C.S. & WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. *Ann. Bot.*, N.S., 30:365-81, 1966.
- ALVIM, R. & ALVIM, P. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*), em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba*, 19:389-93, 1969.
- BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. *Ann. Bot.*, 33:353-60, 1919.
- BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A. & WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. *Ann. Appl. Biol.*, 7:103-23, 1920a.
- BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A. & WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part II. *Ann. Appl. Biol.*, 7:202-23, 1920b.
- CAMPBELL, D.K. & HUME, D.J. Evaluation of a rapid technique for measuring soluble solids in corn stalks. *Crop Sci.*, 10:625-6, 1970.
- DAYNARD, T.B.; TANNER, J.N. & HUME, P.J. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 9:831-4, 1969.
- DELOUGHERY, R.L. & CROOKSTON, R.K. Harvest index of corn affected by population density, maturity rating, and environment. *Agron. J.*, 71:577-80, 1979.
- DUNCAN, W.G. Maize. In: EVANS, L.T. *Crop physiology: some case histories*. London, Cambridge University Press, 1975. p.23-50.
- EVANS, G.C. *The quantitative analysis of plant growth*. Oxford, England. Blackwell Scientific Publications, 1972.
- FISHER, K.S. & PALMER, A.F.E. Maize. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS. Sept. 22-26, 1980, IRRI, Los Baños, Philippines.
- GERAKIS, P.A. & PAPAKOSTA-TASOPOULOU, D. Effects of dense planting and artificial shading on five maize hybrids. *Agric. Meteorol.*, 21:129-37, 1980.
- HANWAY, J.J. & RUSSELL, W.A. Dry matter accumulation in corn (*Zea mays* L.) plants: comparisons among single-cross hybrids. *Agron. J.*, 61:947-51, 1969.
- HUNT, R. Plant growth analysis: the rationale behind the use of fitted mathematical function. *Ann. Bot.*, 43:245-9, 1979.
- KVET, J.; ONDOK, J.P.; NECAS, J. & JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSTY, J. & JARVIS, P.G. *Plant photosynthetic production; manual of methods*. s.l., The Hague, 1971.
- LOPES, N.F. & MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em população de milho (*Zea mays* L.) em Viçosa, Minas Gerais. *R. Ceres*, 20:189-201, 1973.
- MACKINNON, J.C.; GARTLEY, C.H.; WILKIE, K.I. Energy efficiency of forage maize production in an atlantic Canadian environment. *J. Appl. Ecol.*, 15:503-14, 1978.
- MAGALHÃES, A.C.N. & SILVA, W.J. da. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. p.349-375. In: PATERNIANI, E., ed. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. s.l., Fundação Cargill, 1978.
- MILTHORPE, F.L. & MOORBY, J. Vascular transport and its significance in plant growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20:117-38, 1969.
- MONTGOMERY, E.G. *Correlation studies of corn*. s.l. Nebraska Agr. Sta., 1911. p.109-59. (Annual Report, 24).
- MOSS, D.N. Photosynthesis and barrenness. *Crop Sci.*, 2:366-7, 1962.
- NEALES, T.F. & INCOLL, L.D. The control of leaf photosynthesis rate by the level of assimilate concentration in the leaf: a review of the hypothesis. *Bot. Rev.*, 34:107-25, 1968.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - their use and abuse. *Crop Sci.*, 7:171-5, 1967.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. *J. Expt. Bot.*, 10:290-300, 1959.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWART, F.C. *Plant physiology - A treatise. Analysis of growth: behaviour of plants and their organs*. London, Academic Press, 1969. v.5-a. p.13-76.
- SILVA, W.J. da; HIRATO, H.; MEDINA, D.M. & LONGO, R.S. Características anatômicas e morfológicas do novo cultivar de milho Erecta. *Ci. e Cult.*, 28:657-64, 1976.
- SILVA, W.J. da; MONTOJOS, J.C. & PEREIRA, A.R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. *Ci. e Cult.*, 26:360-5, 1974.
- STEVENS, W.L. Asymptotic regression. *Biometrics*, 7:247-67, 1951.
- STUFF, R.G.; HODGES, H.F.; DALE, R.F.; NYQUIST,

- W.E.; NELSON, W.L. & SCHEERINGA, K.L. Measurement of short-period corn growth. W. Lafayette, Purdue University Agric. Exp. Sta., 1979. 20p.
- TANAKA, A. & YAMAGUCHI, J. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano em maíz. J. Fac. Agric., Sapporo, Japan, 57:71-132, 1977.
- VERNON, A.J. & ALLISON, J.C.S. A method of calculating net assimilation rate. Nature, 200:814, 1963.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. Adv. Agron., 4:101-45, 1952.
- WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; DUNCAN, W.G.; DOVRAT, A. & NUNEZ, A.F. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci., 8:303-8, 1968.