

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM
POPULAÇÕES DE MILHO (*Zea mays* L.) EM VIÇOSA, MINAS GERAIS*

Nei Fernandes Lopes
Moacyr Maestri**

1. INTRODUÇÃO

O interesse pelo estudo dos problemas da produtividade biológica, bem como do potencial para a produção de alimentos, em uma agricultura convencional ou em sistemas alternativos, tem aumentado ultimamente.

LOOMIS e WILLIAMS (11) estimaram o potencial de produtividade das culturas, baseados na quantidade total de energia solar que pode ser utilizada pelas plantas no processo fotossintético, considerando perdas de albedo, absorção inativa e respiração. Para uma superfície que recebe 500 cal/cm²/dia de radiação solar a estimativa é de uma produção de matéria orgânica de 71 g/m² de superfície cultivada por dia. Se os constituintes inorgânicos representam 8% do peso seco, o potencial de produtividade será então 77 g/m²/dia, o que corresponde a 770 kg/ha/dia.

No Brasil, ALVIM e ALVIM (1), em Itabuna, Bahia, determinaram a eficiência fotossintética do milho e feijão, em diversas populações, quando consorciados e isolados. A taxa de produção de matéria seca aumentou em proporção direta com a densidade de plantas, atingindo o valor máximo de 57,7 g/m²/dia, com o milho na densidade de 100 plantas/m², correspondendo a uma eficiência de conversão da energia luminosa de 10,5%, durante o primeiro mês de cultivo. Com relação ao feijão, na mesma densidade, a eficiência de conversão da energia luminosa foi de 2,9%. Esses autores verificaram que, em todos os espaçamentos

* Parte da Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa pelo primeiro autor, como um dos requisitos para a obtenção do grau de "Magister Scientiae" em Fisiologia Vegetal.

Pesquisa suportada, em parte, por auxílio concedido ao segundo autor pelo Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

Aceito para publicação em 18-5-1973.

** Respectivamente, Auxiliar de Ensino do Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas e Professor Adjunto do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Viçosa

estudados, o feijão alcançou cerca de 1/3 da produtividade e da eficiência fotossintética do milho. Em Viçosa, BRANDES *et alii* (2) determinaram para feijão uma eficiência máxima de conversão da energia solar em torno de 2%, para as densidades de 50 e 100 plantas/m².

No presente trabalho, relata-se um estudo de análise de crescimento e da eficiência de conversão da energia solar de três populações de milho cultivado sob sistema agronômico usual, em Viçosa, Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em terreno da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola 1971/72. O local era de topografia plana, sendo o solo classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Cámbico - fase terraço.

Toda a área experimental recebeu uma adubação básica de 100 kg/ha de P₂O₅, 60 kg/ha de K₂O e 45 kg/ha de N, respectivamente, sob a forma de superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de amônio. A seguir, foi semeado o milho híbrido proveniente do cruzamento do híbrido simples (L 70 x L 1) com o híbrido de variedade (Maia x Tuxpan). Posteriormente, foram efetuadas mais duas adubações nitrogenadas em cobertura. Na primeira, foram empregados 45 kg/ha de N aos 33 dias após o plantio, e, na segunda, 90 kg/ha de N aos 55 dias após o plantio.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Cada parcela representava uma época de coleta do material, e era formada de três subparcelas, correspondentes às populações de 40 mil, 60 mil e 80 mil plantas/ha. Cada subparcela era constituída de cinco fileiras de cinco metros de comprimento, espaçadas de 1,0 metro. Nas coletas, desprezava-se 1,0 m das extremidades das fileiras. As coletas foram efetuadas a intervalos regulares de catorze dias, durante todo o ciclo da cultura.

Em cada coleta, na área útil, as plantas eram cortadas rente ao solo, o sistema radicular era extraído em blocos de terra e lavado sobre peneiras. O peso fresco, tanto da parte aérea como das raízes, era tomado no próprio local.

Para a determinação da matéria seca, foram tiradas subamostras, uma de cada parcela. A secagem foi feita em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 80°C.

Foram efetuadas as análises de variância e de regressão curvilinear das médias de peso seco acumulado em cada coleta, com o emprego dos polinômios ortogonais (14). Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com o proposto por RICHARDS (16).

Para a determinação dos valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C), empregou-se a derivada da equação ajustada ao peso seco (W_t), em relação ao tempo (15, 16).

Para determinação da área foliar (A_f), cortaram-se retângulos de folhas de área conhecida. Por meio do peso seco desses retângulos e da matéria seca total das folhas, foi calculada a área foliar. Os valores instantâneos do índice de área foliar (L) foram obtidos pela divisão dos valores de A_f pela área da subparcela.

Os valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R) foram obtidos pela fórmula R = C/W_t.

Para o cálculo da taxa assimilatória líquida (E_a), foram usados os valores instantâneos de C e L, empregados na equação $E_a = C/L$.

A razão de área foliar (F) foi determinada a partir dos valores instantâneos de Af e W_t, empregados na fórmula $F = Af/W_t$, de acordo com RADFORD (15).

Os valores instantâneos da conversão da energia solar (ξ) foram determinados pela equação $\xi = (100 \times C \times 4.200)/Ra$, onde Ra representa o valor médio diário da radiação solar total incidente, em cal/cm²/dia, registrados nos cinco dias anteriores ao C correspondente. O valor calorífico utilizado (4.200) é o mesmo determinado por LIETH (1968), citado por KVET *et alii* (9).

A radiação solar total incidente foi obtida com um solarímetro Kipp-Zonen modelo CM6, acoplado a um milivoltímetro registrador. As temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como a umidade relativa do ar foram obtidas por meio de um termohigrógrafo Lambrecht, modelo 252.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de produção de matéria seca tem seu comportamento apresentado na figura 1. Os valores máximos obtidos neste trabalho foram 22,9 - 26,9 e 27,7 g/m²/dia, em ordem crescente de população. Tais valores foram alcançados, respectivamente, no 67º, 66º e 64º dia após a emergência. A taxa máxima registrada para milho é de 57,7 g/m²/dia, para uma população de 100 plantas/m² (1). Ainda WILLIAMS *et alii* (20) obtiveram uma taxa máxima de 52 g/m²/dia, para uma densidade de 70 plantas/m², enquanto LEMON (10) obteve uma taxa máxima de 30 g/m²/dia. Comparando as taxas máximas obtidas neste estudo com as apresentadas por esses autores, verifica-se que as taxas aqui registradas são bem inferiores. Tal fato é devido, em parte, às baixas densidades de plantio empregadas neste experimento, que foi realizado em sistema agrônomo usual de plantio. Mesmo assim, a taxa máxima da maior população (8 plantas/m²) aproxima-se bastante do valor obtido por LEMON (10).

A variação do índice de área foliar pode ser observada na figura 2. Os índices máximos foram 4,4; 5,8 e 6,8, em ordem crescente de população. Tais valores foram atingidos em torno do 92º dia após a emergência. Estes valores são semelhantes aos encontrados por WILLIAMS *et alii* (21), ou seja, 6,6 e 10,8 para as populações de 5,4 e 10,8 plantas/m². Os mesmos autores obtiveram um índice máximo de 20,0 para uma população de 70 plantas/m², sendo um dos valores mais altos encontrados até hoje.

O desenvolvimento do índice de área foliar sofreu declínio a partir do 93º dia após a emergência, quando a senescênciade folhas deve ter sobrepujado o desenvolvimento de novas folhas. A senescênciade folhas foi mais acentuada nas maiores densidades de plantas, o que se deduz pela declividade das curvas a partir do 93º dia após a emergência.

Comparando-se as curvas da taxa de produção da matéria seca com as do índice de área foliar, verifica-se que os valores máximos não coincidem, indicando que os valores máximos do índice de área foliar não são os ótimos para estas populações. As folhas deste híbrido eram dispostas horizontalmente ou caí-

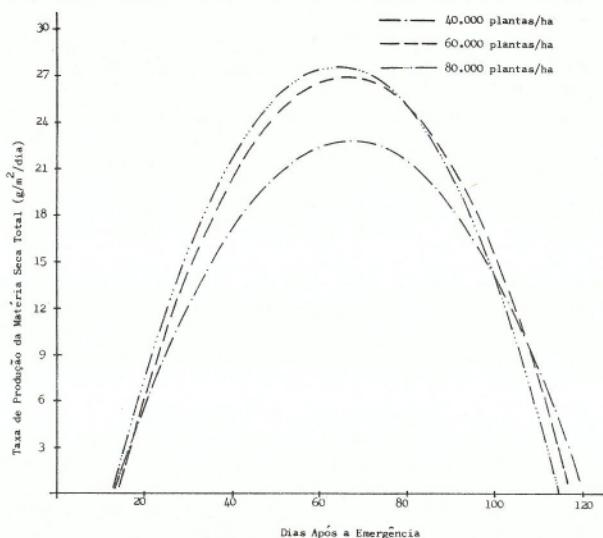


FIGURA 1 - Taxa de produção da matéria seca total das três populações de milho.

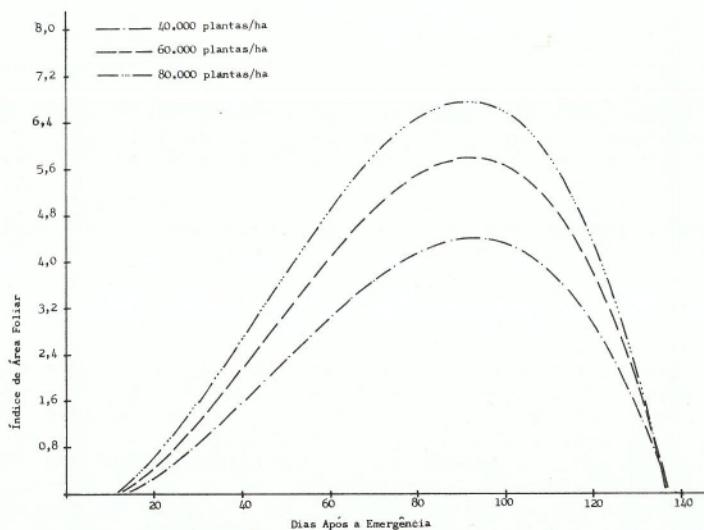


FIGURA 2 - Índice de área foliar das três populações de milho.

das, o que, sem dúvida, favorece o auto-sombreamento. O híbrido empregado está, pois, aquém da forma ideal, com folhas mais eretas ou verticais.

A taxa assimilatória líquida, conforme mostra a figura 3, apresenta um comportamento regular, com a tendência de as menores densidades darem valores superiores, provavelmente por causa do menor auto-sombreamento. Chama a atenção o fato de E_a inicialmente apresentar valores mais elevados, declinando gradualmente com a idade. WATSON (18) assinala que a taxa assimilatória líquida varia mais com a idade da planta do que com os fatores climáticos. Verificou-se, ademais, que os declínios nos valores da taxa assimilatória líquida foram mais rápidos do que os aumentos do índice de área foliar, estando de acordo com as observações de BUTTERY (3). A medida que os valores do índice de área foliar aumentaram, houve um declínio da taxa assimilatória líquida. Estes últimos resultados estão em conformidade com os obtidos por WILLIAMS *et alii* (21).

A taxa de produção de matéria seca para uma cultura pode ser expressa como o produto de sua área foliar pela sua taxa assimilatória líquida. No caso presente, a diferença de amplitude nas curvas da taxa de produção de matéria seca se deve principalmente aos valores assumidos pelo índice de área foliar. Embora a taxa assimilatória líquida seja superior nas menores densidades, não chega a compensar totalmente o efeito do índice de área foliar. Segundo WATSON (18), dos dois fatores, a área foliar é, em geral, mais importante. Analisando o crescimento e o rendimento das culturas, HEATH e GREGORY (7) e WATSON (18) admitem que a maior área foliar é um dos principais objetivos no melhoramento genético.

Existe, entretanto, uma relação inversa entre o índice de área foliar e a taxa assimilatória líquida, nos valores mais elevados do índice de área foliar, por causa do mútuo sombreamento das folhas. Portanto, um aumento na área foliar não aumenta necessariamente a produção de matéria seca, em culturas bem adubadas e irrigadas.

A medida que aumenta o índice de área foliar, a absorção de luz e a taxa de produção de matéria seca também aumentam, embora muitos dados indiquem que o índice de área foliar ótimo varie com a espécie e variedade da cultura, e com a estação do ano (11). MILTHORPE (12) salienta a importância da área foliar como um fator que afeta a taxa de crescimento, e minimiza a importância da taxa fotossintética. Já STOY (17) sugeriu que a taxa fotossintética foliar pode ser muito importante na determinação de taxas de crescimento.

Recentemente, com a descoberta de plantas fotossinteticamente mais eficientes que outras, como milho, sorgo, cana-de-açúcar, o conceito de taxa assimilatória líquida similar para as diversas espécies não parece válido. Estas plantas apresentam uma rota especial de assimilação do gás carbônico (6) e não possuem fotorrespiração (22). EL-SHARKAWY *et alii* (5) sugeriram que estas plantas possuem maior capacidade em reassimilar o gás carbônico. Em milho, HEICHEL e MUSGRAVE (8) determinaram grandes diferenças intervariais (10 a 200%) nas medidas da fotossíntese líquida com luz saturante.

A taxa de crescimento relativo (R), isto é, $E_a \times F$, tem sua tendência representada, graficamente, na figura 4. Observa-se que os valores iniciais são relativamente altos, decrescendo

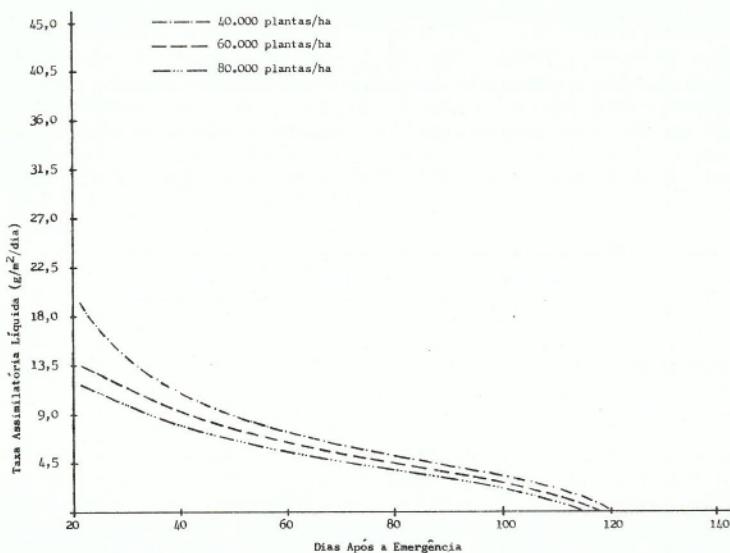


FIGURA 3 - Taxa assimilatória líquida das três populações de milho.

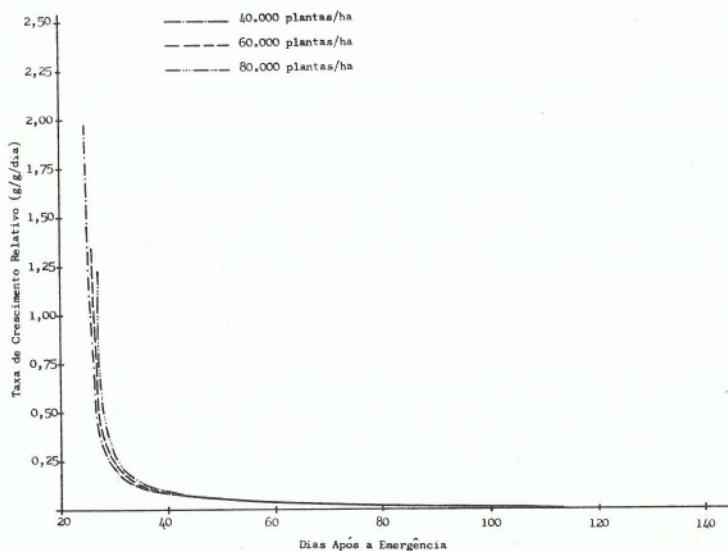


FIGURA 4 - Taxa de crescimento relativo das três populações de milho.

rapidamente até o 40º dia após a emergência, quando as curvas das três densidades se confundem. Tal decréscimo continua lentamente até o 118º dia após a emergência, assumindo em seguida valores negativos até o final do experimento. De certo modo, a curva da taxa de crescimento relativo assemelha-se à razão de área foliar, apresentada na figura 5. Tanto a taxa de crescimento relativo como a razão da área foliar apresentam uma forte tendência de decréscimo de seus valores à medida que as plantas envelhecem. O decréscimo da taxa de crescimento relativo com a idade, em parte, é resultado do aumento gradual de tecidos não assimilatórios (19). Aparentemente, o crescimento exponencial, que se manifesta por uma taxa de crescimento relativo constante, limita-se a um período breve do ciclo vegetativo do milho, no caso presente.

Durante a realização do experimento, a precipitação pluviométrica total foi de 988 mm; embora bem distribuída, em muitas ocasiões deixou o solo saturado, podendo ter provocado uma redução na produção de matéria seca. A fotossíntese no milho começa a cair quando o conteúdo de umidade no solo é relativamente alto (13). A radiação solar (figura 6) apresentou valores médios mensais relativamente altos, mas com grandes oscilações entre dias e dentro destes com muitas flutuações horárias, motivadas pela alta nebulosidade na época das chuvas. Estas oscilações e flutuações da radiação solar incidente, certamente, provocam uma diminuição na fotossíntese líquida, sendo que tal redução é mais acentuada nas maiores populações por causa do maior auto-sombreamento. As flutuações horárias na fotossíntese líquida em comunidades de milho podem ser explicadas pelas oscilações de luz (13).

A eficiência de conversão da energia solar está representada na figura 7. As curvas mostraram-se irregulares, possivelmente por causa das grandes oscilações da radiação solar entre os dias. Conforme LOOMIS e WILLIAMS (11), a eficiência na utilização da luz pela superfície da cultura de milho será maior com luz contínua, com baixa ou alta intensidade, do que com luz flutuante, causada pela nebulosidade.

A tendência geral está relacionada com o desenvolvimento das plantas. Os valores máximos foram 2,9; 3,4 e 3,6%, respectivamente, para as densidades de 4, 6 e 8 plantas/m². Estes valores foram obtidos no início do pendoamento. Sob condições ótimas, a eficiência máxima na utilização da radiação solar pode ser tão alta como 4%, que foi registrada no meio da estação de crescimento para uma cultura de milho (10). Os valores médios da eficiência foram 1,4; 1,6 e 1,7%, em ordem crescente de população. Estes valores assemelham-se muitos aos estimados por SPÖEHR (1965), citado por CHANG (4), que encontrou poder o milho, sob condições ótimas, converter cerca de 1,5% da radiação incidente em matéria orgânica, em um sistema agronômico de plantio. Já WILLIAMS *et alii* (20), em alta densidade de plantio (70 plantas/m²), determinaram uma eficiência média de 2,9%, em um período de 42 dias de crescimento.

A eficiência média de conversão de radiação solar pode ser considerada baixa. Um dos modos de aumentar a eficiência fotossintética poderia ser a mudança da forma da planta para que ela aumente e melhore a intercepção e distribuição da energia solar dentro da comunidade. Para aumentar a intercepção de luz, o índice de área foliar deve ser aumentado, com plantio em es-

paçamentos menores, mas com plantas de folhas horizontais ou caídas haverá um grande auto-sombreamento. Portanto, plantas de milho semi-anas com folhas mais eretas permitirão maior densidade de plantio, e consequentemente o índice de área foliar poderá ser mais elevado, o que por certo trará um aumento no rendimento biológico.

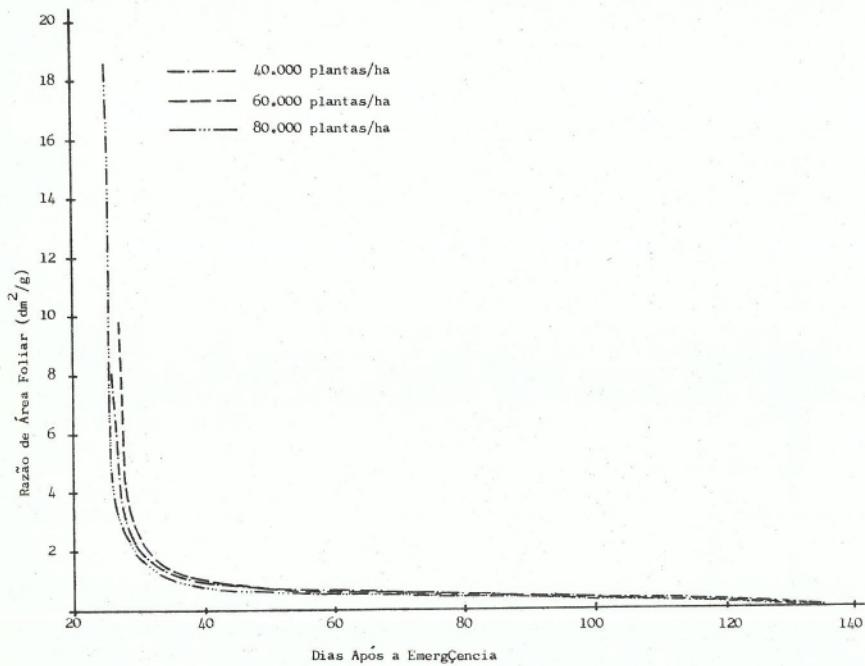


FIGURA 5 - Razão de área foliar das três populações de milho.

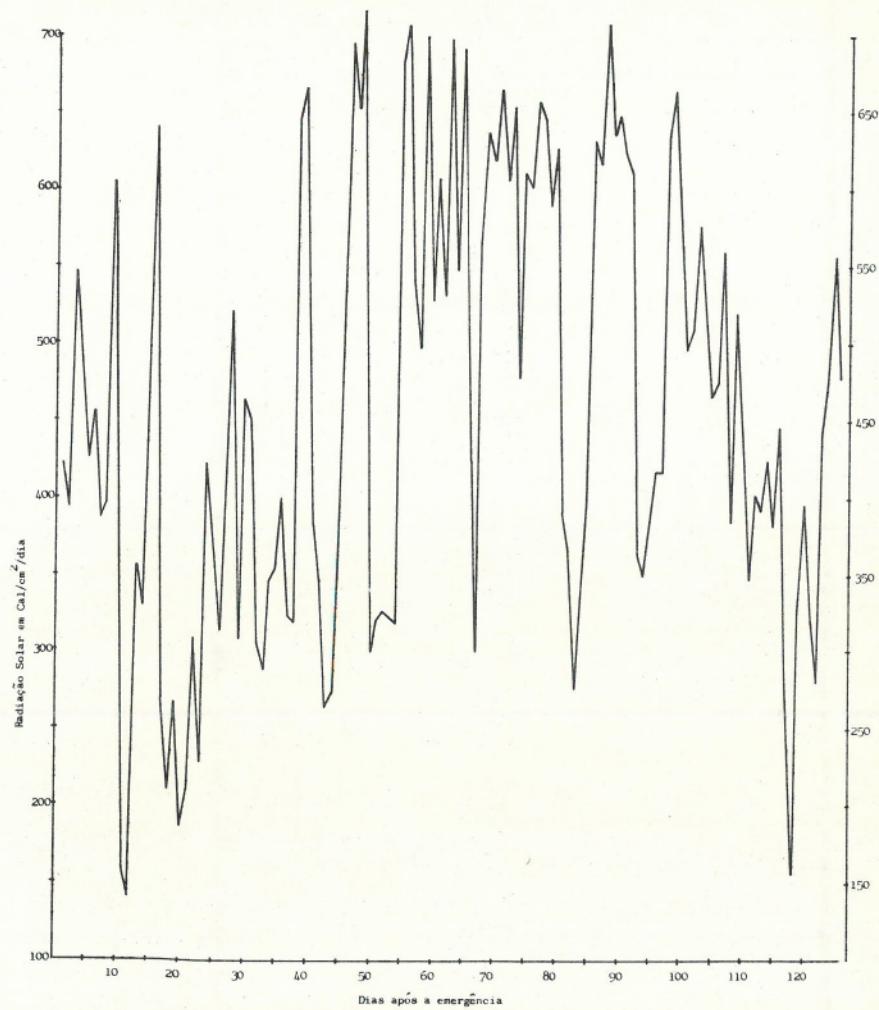


FIGURA 6 - Radiação solar total incidente no período experimental.

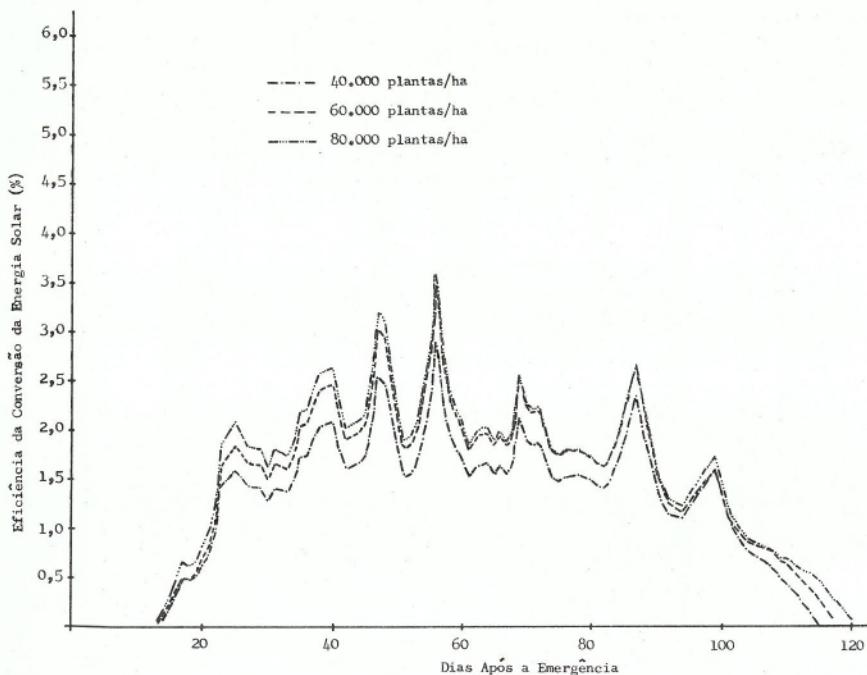


FIGURA 7 - Eficiência de conversão da energia solar, das três populações de milho.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

No presente estudo foi analisado o crescimento do milho (*Zea mays* L.) e avaliada a eficiência de conversão da energia solar dessa cultura, em um sistema agronômico de plantio. Milho híbrido (L 70 x L 1) x (Maia x Tuxpan) foi plantado a intervalos de 1,0 m entre fileiras nas densidades de 40 mil, 60 mil e 80 mil plantas/ha. As colheitas de material foram feitas em intervalos regulares de catorze dias após a emergência das plantas. Nas condições do presente trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

1. A taxa de produção de matéria seca total mais elevada

foi de 27,7 g/m²/dia para a densidade de 8 plantas/m².

2. As diferenças entre as taxas de produção de matéria seca total das três populações foram devidas principalmente aos valores assumidos pelo índice de área foliar.

3. Os valores máximos de índice de área foliar foram 4,4; 5,8 e 6,8, em ordem crescente de população, sendo registrados em torno de 929 dia após a emergência.

4. Os valores máximos de índice de área foliar e taxa de produção de matéria seca total não coincidem na mesma época. Os valores máximos de índice de área foliar não são os ótimos para estas populações.

5. A taxa assimilatória líquida foi sempre superior nas menores densidades, e decresceu continuamente com a idade das plantas.

6. A taxa de crescimento relativo e a razão de área foliar apresentaram uma tendência de variação semelhante. Ambas apresentaram um decréscimo acentuado à medida que as plantas envelheceram.

7. A eficiência máxima de conversão da radiação solar foi de 3,6%, para a maior população (8 plantas/m²), no início do pendoamento. Os valores da eficiência média de conversão da energia solar para todo o ciclo da cultura foram 1,4; 1,6 e 1,7% em ordem crescente de população.

5. SUMMARY

Growth analysis and evaluation of efficiency of solar energy conversion were carried out with corn, in an agronomicoculture system. Hybrid corn (L 70 x L 1) x (Maia x Tuxpan) was planted with a row spacing of 1,0 meter and at populations of 40,000, 60,000 and 80,000 plants/ha. The plant material was harvested at 14 day intervals after emergence of plants.

Differences between dry matter production rates of the three populations were due principally to the values of the leaf area index. Maximum values for the leaf area index were 4.4, 5.8 and 6.8 corresponding to the three populations in an increasing order. The rate of dry matter production increased proportionally to the plant density, reaching a maximum value of 27.7 g/m²/day with the 8 planto/m² population. The net assimilation rate, relative growth rate and leaf area ratio decreased as a curvilinear function of plant age.

Maximum efficiency of solar energy conversion was 3.6% for the 8 planto/m² population. Efficiencies for the entire cycle were 1.4, 1.6 and 1.7% respectively for 4, 6 and 8 planto/m² populations.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVIM, R. & ALVIM, P.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* 19:389-393. 1969.
2. BRANDES, D., MAESTRI, M., VIEIRA, C. & GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). III. Interceptação de luz e eficiência de conversão de energia solar. *Experientiae*, Viçosa, 15:23-30. 1973.

3. BUTTERY, B.R. Effects of variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. *Crop Sci.* 10:9-13. 1970.
4. CHANG, JEN-HU. *Climate and agriculture. An ecological survey.* Chicago. Aldine Publishing, 1968. 304 p.
5. EL-SHARKAWY, M.A., LEMON, R.S. & WILLIAMS, W.A. Apparent reassimilation of respiratory carbon dioxide by different plant species. *Physiol. Plant.* 20:171-186. 1967.
6. HATCH, M.D. & SLACK, C.R. Photosynthetic CO₂-fixation pathways. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 21:141-162. 1970.
7. HEATH, O.V.S. & GREGORY, F.G. The constancy of the mean net assimilation and its ecological importance. *Ann. Bot.* 2:811-818. 1938.
8. HEICHEL, G.H. & MUSGRAVE, R.B. Varietal differences in net photosynthesis of Zea mays. *Crop Sci.* 9:483-486. 1969.
9. KVET, J., ONDOCK, J.P., NEGAS, J. & JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z., CATSKY, J. & JARVIS, P.G. (ed.) *Plant photosynthetic production. Manual of methods.* Haia, Dr. W. Junk N.V. Publisher, 1971. p. 343-391.
10. LEMON, E.R. Energy and water balance of plant communities In: EVANS, L.T. (ed.) *Environmental control of plant growth.* New York, Academic Press, 1963. p. 55-57.
11. LOOMIS, R.S. & WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity. An estimate. *Crop Sci.* 3:67-72. 1963.
12. MILTHORPE, F.L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant area. In: MILTHORPE, F.L. (ed.). *The growth of leaves.* London, Butterworths Scientific Publications, 1956. p. 141-150.
13. MOSS, D.M., MUSGRAVE, R.B. & LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. III. Some effects of light, carbon dioxide, and temperature on corn. *Crop Sci.* 1: 83-87. 1961.
14. PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental.* 4^a edição. Piracicaba. ESALQ, 1970. p. 299-308.
15. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop. Sci.* 7:171-175. 1967.
16. RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. (ed.) *Plant Physiology. A Treatise.* New York, Academic Press, 1969. p. 3-76.
17. STOY, V. The translocation of Cl¹⁴-labelled photosynthetic products from the leaf to the ear in wheat. *Physiol. Plant.* 16:851-866. 1963.

18. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Ad. Agron.* 4:101-145. 1952.
19. WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. *Ann. Bot. N.S.* 10:41-72. 1946.
20. WILLIAMS, W.A., LOOMIS, R.S. & LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. *Crop Sci.* 5:211-215. 1965.
21. WILLIAMS, W.A., LOOMIS, R.S. & LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf area index. *Crop Sci.* 5:215-219. 1965.
22. ZELITCH, I. Increased rate of net photosynthetic carbon dioxide uptake caused by the inhibition of glycolate oxidase. *Plant Physiol.* 41:1623-1631. 1966.