

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM DOIS HÍBRIDOS DE MILHO (*Zea mays* L.)*

Oscar Lopes
Nei Fernandes Lopes**

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é cultura de ampla distribuição geográfica, sendo cereal de grande importância social e econômica.

Apresenta grande variabilidade genética, permitindo a criação de grande número de cultivares e híbridos, adaptados a extensa faixa de solos e climas, o que coloca sua cultura em destaque na agricultura mundial.

WARSON (16) definiu a produtividade de uma cultura, em termos de crescimento e desenvolvimento, como envolvendo efeito de fatores externos nos processos fisiológicos, inter-relação entre diferentes processos planta/ambiente e sua dependência dos fatores internos determinados pela constituição genética das plantas.

A conversão da energia solar pela planta é processo de grande importância para a produtividade, porque é mediante a fotossíntese que o vegetal acumula matéria orgânica nos tecidos, excelente meio para comparar diferentes genótipos.

No Brasil, poucas pesquisas têm sido feitas para verificação da produção primária e da conversão da energia solar nas culturas, inclusive no milho.

LOPES (9) analisou o crescimento e a conversão da energia solar em populações de milho, concluindo que o rendimento biológico foi maior para as populações mais densas, enquanto o rendimento econômico não diferiu estatisticamente em três populações (4, 6 e 8 plantas/m²).

Neste trabalho foi feita a análise do crescimento e a conversão da energia solar em dois híbridos de milho, em condições de lavoura, comparando-se o potencial de produtividade de dois genótipos deste cereal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em terreno da UEPAE de Pelotas, RS, unidade da

* Artigo baseado na dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, para obtenção do grau de Mestre (M.Sc.) em Fitomelhoramento.
Pesquisa subvencionada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Recebido para publicação em 11-11-1976.

** Respectivamente, Eng.^o-Agrônomo M.Sc., do Ministério da Agricultura, DEMA, RJ, e Eng.^o-Agrônomo M.Sc., do Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da UFPel-RS.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, no ano agrícola de 1974/75. A área apresenta topografia plana, e o solo foi classificado como Planossolo.

Na área do experimento foi feita adubação de base, correspondente a 30 kg/ha de N, 80 kg/ha de P₂O₅ e 20 kg/ha de K₂O, sob as formas de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Em 11 de dezembro de 1974 foram semeados os dois híbridos duplos: Agroceres 196 e SAVE 231, produtos sintetizados, respectivamente, pela firma Sementes Agroceres S/A e pela Secretaria de Agricultura, em Veranópolis, RS. Foram feitas, ulteriormente, mais duas adubações nitrogenadas, em cobertura, de 30 kg/ha de N, uma aos 30 dias de sementeira e outra aos 10 dias antes do pendoamento.

Foram efetuadas coletas periódicas e sucessivas de plantas, a intervalos de 14 dias, durante o ciclo da cultura, perfazendo 10 coletas ao todo.

O delineamento experimental usado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e 4 repetições. Cada parcela correspondia a uma data de coleta do material; as duas subparcelas correspondiam aos dois híbridos.

Os dados de cada parte da planta e da planta toda foram submetidos à análise de variância. Também foi feita a análise de regressão curvilinear das médias do peso seco (W) em relação às coletas com o emprego dos polinômios ortogonais (12), e determinou-se o polinômio com melhor ajustamento aos dados primários (14).

A determinação da área foliar (Af) foi feita cortando-se das folhas retângulos de área conhecida e por meio do peso seco desses retângulos e da matéria seca de todas as folhas foi calculada a área foliar. A partir dos valores instantâneos de Af determinaram-se as outras estimativas que dependem desse parâmetro.

O índice de área foliar (L) foi obtido pela divisão do valor de Af pela área da subparcela.

O valor instantâneo da taxa de produção de matéria seca (C) foi dado pela derivada da equação ajustada de peso seco em relação ao tempo (13, 14).

A taxa assimilatória líquida (Ea) foi determinada pela equação Ea = Ct/L, sendo usados os valores instantâneos de C e L.

A eficiência de conversão da energia solar (Ec) foi calculada pela equação Ec = 100 x Ct x 4.200 / Ra, sendo Ra o valor da radiação solar global média diária incidente, expressa em cal m⁻²dia⁻¹, registrado nos cinco dias anteriores, e 4.200 é o valor calorífico determinado por Lieth (1968), citado por KVET *et alii* (7).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à matéria seca acumulada (raízes, colmos, folhas, espigas e planta inteira) são apresentados no Quadro 1. Conforme os resultados nele apresentados, a análise estatística dessas características não revela diferença significativa entre os dois híbridos. Por esta razão, a análise de regressão curvilinear para a obtenção dos polinômios que melhor se ajustam aos dados primários foi feita usando a média dos dois híbridos.

Na matéria seca total, representada na Figura 1, observa-se que a curva ajustada de seu acúmulo mostrou ter sido obtido o valor máximo de 1.256,4 g m⁻² dia⁻¹ aos 121 dias de emergência. Tal resultado indica terem os híbridos, nesta época, atingido seu maior peso biológico, iniciando, após este período, o decréscimo do peso seco, em decorrência da senescência das plantas. SILVA *et alii* (15) obtiveram, para população semelhante (4,2 plantas/m²), valores de matéria seca acumulada próximos dos obtidos, neste trabalho, em dois híbridos de milho.

O índice de área foliar (L) da média dos dois híbridos, Figura 2, mostra a curva ajustada de L, que atingiu o valor máximo de 2,9 aos 104 dias da emergência, correspondendo à fase do espigamento.

O índice de área foliar máximo obtido neste experimento é inferior ao observado em outros trabalhos, com densidades de população semelhantes. SILVA *et alii* (15) obtiveram 3,6. Já WILLIAMS *et alii* (17) obtiveram, para populações de 5,4 e 10,8 plantas/m², 6,6 e 10,8, respectivamente.

Este índice de área foliar máximo foi baixo, e os híbridos estudados têm folhas horizontais, proporcionando, provavelmente, sombreamento mútuo das folhas, com pouca eficiência de utilização da energia solar. BUTTERY (4) verificou que, à medida que os valores de L aumentaram, houve decréscimo de Ea. LOOMIS e WILLIAMS (8), ALLISON (1) e DUNCAN (6) sugeriram alteração da forma das plantas, preferindo plantas semi-anãs, de folhas eretas, semeadas em menor espaçamento, proporcionando maior área foliar por unidade de solo, sem mútuo sombreamento, aumentando a produção de grãos em genótipos de milho e de outros cereais.

QUADRO 1 - Peso médio de raízes, colmos, folhas, espigas e da planta toda, em 10 coletas de dois híbridos de milho, e resultados das análises da variação correspondente. Pelotas, RS, 1975

Híbridos	Coleta (dias após a emer- gência)	Máteria seca acumulada (g m^{-2})					
		Raízes	Colmos	Folhas	Espigas	Pen- dões	Planta toda
Agroceres 196	14	1,6	1,0	2,7	-	-	5,3
	28	6,3	5,4	14,4	-	-	26,1
	42	28,3	76,3	69,0	-	-	173,6
	56	102,9	135,2	147,5	-	-	385,6
	70	128,6	287,0	178,5	20,8	37,0	651,9
	84	166,8	331,7	151,3	160,8	26,4	837,0
	98	160,6	347,0	263,4	326,6	30,7	1127,3
	112	166,5	286,9	204,5	425,3	21,9	1105,1
	126	169,5	286,6	180,8	493,3	21,4	1190,5
	140	193,0	257,8	141,2	546,3	15,8	1154,1
SAVE 231	14	1,2	1,0	3,1	-	-	5,3
	28	8,9	8,9	18,9	-	-	36,7
	42	17,0	54,2	56,6	-	-	127,8
	56	89,1	178,5	167,5	-	-	435,7
	70	110,7	276,0	158,7	21,8	39,7	606,9
	84	148,9	403,7	175,3	172,0	22,5	922,4
	98	159,2	420,4	210,1	340,8	28,2	1158,7
	112	142,1	363,0	197,6	410,9	17,3	1130,9
	126	140,8	334,5	148,6	472,0	19,4	1173,3
	140	155,3	257,8	144,5	563,8	16,6	1137,7
C.V. (Coletas)		26,5%	23,5%	22,8%	22,6%	22,5%	16,6%
Desvio-padrão		28,58	50,63	29,97	77,21	5,56	112,88
F		++	++	++	++	++	++
C.V. (Híbridos)		37,2%	22,0%	12,6%	19,4%	22,9%	15,5%
Desvio-padrão		40,15	47,54	16,55	66,11	5,67	105,71
F		NS	NS	NS	NS	NS	NS

++ Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

NS Não-significativo.

A taxa de produtividade primária ou taxa de produção de matéria seca total (C_t), Figura 3, expressa em peso de matéria orgânica produzida por unidade de superfície e por unidade de tempo ($\text{gm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), na fase inicial, apresenta valores baixos, em razão do pequeno valor do índice de área foliar. Com o desenvolvimento da planta, C_t aumenta em razão do maior aproveitamento da energia solar. Nesta pesquisa, as taxas de produção de matéria seca dos híbridos não acompanharam os índices de L , pois o valor máximo obtido, no 68.º dia, foi de $18,2 \text{ gm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, não coincidindo com o máximo de L encontrado. Isto caracteriza o fato de que a área foliar destes híbridos não é a ideal, em decorrência, provavelmente, do mútuo sombreamento das folhas. LOPES (9) e SILVA et alii (15) obtiveram, respectivamente, $22,9$ e $26,2 \text{ gm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em populações de 4 e 4,2 plantas/m². WILLIAMS et alii (17) encontraram $52 \text{ gm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com população de milho na densidade de 70 plantas/m².

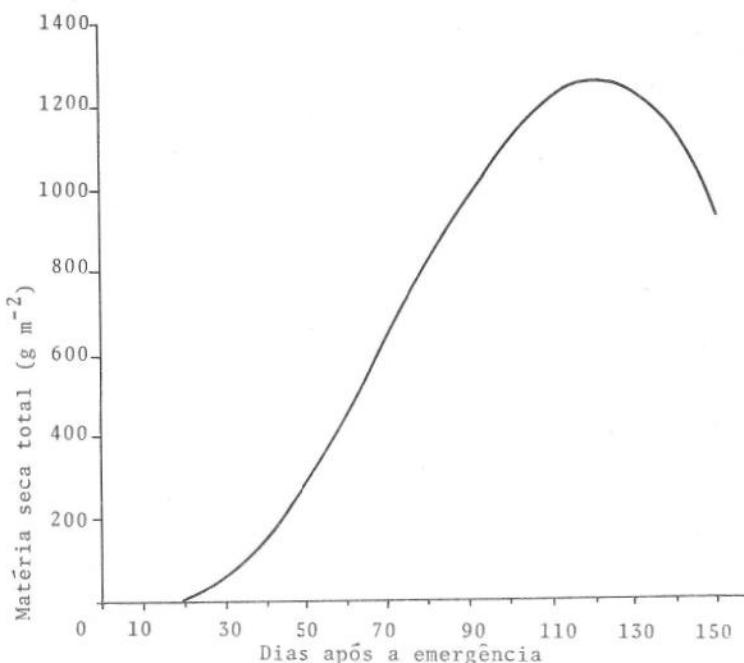


FIGURA 1 - Materia seca total média de dois híbridos de milho.
Pelotas, RS, 1975.

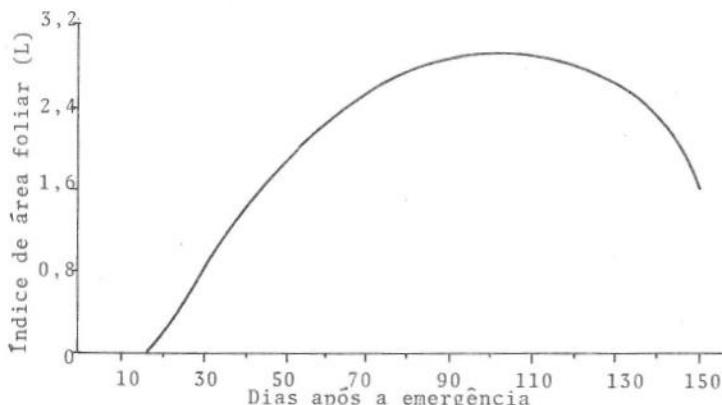


FIGURA 2 - Índice de área foliar médio de dois híbridos de milho. Pelotas, RS, 1975.

A taxa assimilatória líquida (Ea) apresentou valores inicialmente altos, para assumir valores negativos no final do ciclo dos híbridos. Este decréscimo decorre, sobretudo, da idade das plantas, revelando acentuada tendência ontogenética. LO-PES (9) e SILVA *et alii* (15) obtiveram para Ea resultados próximos dos obtidos neste trabalho para populações semelhantes de híbridos de milho.

A eficiência de conversão da energia solar (Ec), Figura 4, cujo valor máximo foi de 2,3%, ocorreu aos 60 dias da emergência, na média dos dois híbridos. A eficiência média foi de 1%, obtida a partir da média da radiação solar verificada durante o ciclo vegetativo dos dois híbridos.

A tendência de Ec foi inconstante, representada por curvas irregulares, provavelmente em decorrência da nebulosidade. Lemon (1963), citado por ARMY e GREER (3), encontrou em seus trabalhos eficiência de 2,9% para produção de matéria seca durante o crescimento de uma cultura de milho. ALVIM e ALVIM (2) verificaram que em milho a taxa de produção de matéria seca aumentou proporcionalmente à densidade das plantas, obtendo o valor máximo de $57,7 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na densidade de 100 plantas/m². CHANG (5) concluiu que a radiação solar é o fator climático de maior influência no rendimento, e é por meio da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, a radiação solar incidente verificada no período experimental, de dezembro/74 a maio/75, apresentou valor médio global de $512,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com níveis mais altos no início, declinando do meio para o fim do experimento. Houve queda brusca da radiação solar em alguns dias e horas, em decorrência do aumento da nebulosidade, ocasionando diminuição da fotossíntese e, consequentemente, redução da produção de matéria seca.

A precipitação pluviométrica verificada no período experimental somou 451,0 mm, apresentando no inicio valores mais altos e no fim valores inferiores às médias de 15 anos da região (11).

A distribuição de chuvas foi deficiente, tendo sido satisfatória no início e insuficiente no meio e no final do ciclo vegetativo destes híbridos. Neste trabalho não foi feita irrigação. O milho apresenta diminuição da fotossíntese antes que qualquer sintoma de falta de água seja notado (10).

A eficiência média de conversão da energia solar foi baixa, e a distribuição de água foi deficiente. Dada a importância destes fatores para a manifestação do potencial de produtividade, evidencia-se a necessidade do emprego de meios que aumentem a fotossíntese, por exemplo, a alteração da forma das plantas e do uso da irrigação, com vistas a possibilitar maior nível de produção agrícola.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar o crescimento e a conversão da energia solar no milho (*Zea mays L.*).

Em Planossolo da UEPAE de Pelotas, RS, os híbridos Agroceres 196 e SAVE 231 foram semeados em parcelas subdivididas, dispostas em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Os blocos eram constituídos de 10 parcelas. Cada parcela correspondia a uma data de coleta do material para análise.

Nas condições deste estudo, chegou-se às seguintes conclusões:

1. O valor máximo do índice de área foliar foi 2,9, registrado aos 104 dias da emergência.

2. A eficiência da conversão da energia solar foi de 2,3%, obtida por ocasião do florescimento. A eficiência média global de conversão da energia solar foi de 1%.

3. O valor máximo de matéria seca total ou de produção biológica foi $1.256,4 \text{ g m}^{-2}$, aos 121 dias da emergência.

4. Os rendimentos econômicos foram de 4.174 e 4.600 kg/ha, respectivamente, para o Agroceres 196 e o SAVE 231, valores que não diferiram estatisticamente.

5. Os resultados desta pesquisa indicaram baixa conversão da energia solar, possivelmente em razão das deficientes condições de umidade do solo e do tipo de plantas destes híbridos.

5. SUMMARY

The objective of this study was to analyze growth and conversion of solar energy

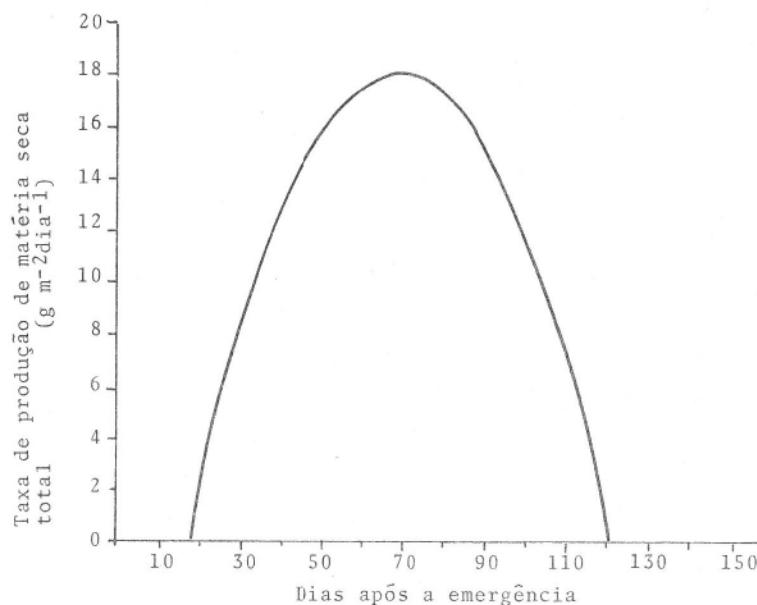


FIGURA 3 - Taxa de produção de matéria seca total média de dois híbridos de milho. Pelotas, RS, 1975.

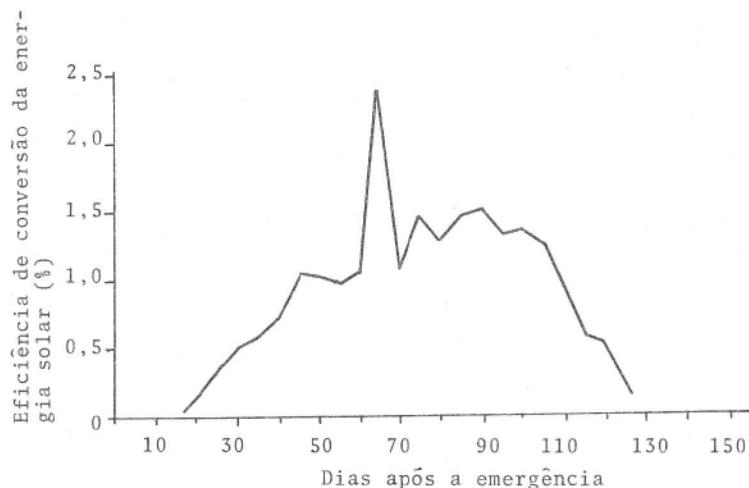


FIGURA 4 - Eficiência de conversão da energia solar média de dois híbridos de milho. Pelotas, RS, 1975.

in two maize hybrids. The experiment was carried out in a Planosol at the UEPAE EMBRAPA station, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. The hybrids Agroceres 196 and SAVE 231 were sown in a split-plot design with whole plots arranged in randomized blocks with four replications.

The maximum value of the leaf area index (L) of 2.9 was recorded 104 days after emergence. The maximum efficiency of conversion of solar energy, 2.3%, was obtained at flowering. The average overall efficiency of solar energy conversion was 1%. The maximum value of total dry matter or biological productivity was 1256.4 g/m² 121 days after emergence. Economic yields were 4174 kg/ha for Agroceres 196 and 4600 kg/ha for SAVE 231, and the difference between them was not statistically significant.

The results indicated a low rate of conversion of solar energy, possibly due to deficiency in soil moisture or to the nature of the particular hybrids chosen.

6. LITERATURA CITADA

1. ALLISON, J.C.S. A comparison between maize and wheat in respect of leaf area after flowering and grain growth. *Journal Agricultural Science*, 63:1-4. 1964.
2. ALVIM, R. & ALVIM, P.T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays* L.) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*) em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba* 19:389-393. 1969.
3. ARMY, T.J. & GREER, F.A. Photosynthesis and crop production systems. In: *Harvesting the sun*. SAN PIETRO, A., GREER, F. A. & ARMY, T.J. (ed.). New York, Academic Press, 1967. p. 321-332.
4. BUTTERY, B.R. Effects of variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. *Crop Science*, 10:9-13. 1970.
5. CHANG, JEN-HU *Climate and agriculture: An ecological survey*. Chicago, Aldine Publishing, 1968. p. 304.
6. DUNCAN, G.W. Cultural manipulation for higher yields. In: *Physiological aspects of crop yields*. Madison, Wisconsin, USA, American Society of America, 1969. p. 327-339.
7. KVET, J., ONDOCK, J.P., NECAS, J. & JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: *Plant photosynthetic production. Manual of methods*. Haia, Dr. W. Junk N.V. Publishers, 1971. p. 343-391.
8. LOOMIS, R.S. & WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity. An estimate. *Crop Science*. 3:67-72. 1963.
9. LOPES, N.F. *Análise de crescimento e conversão da energia solar em populações de milho (Zea mays L.) em Viçosa, Minas Gerais*. Viçosa. U.F.V. Imprensa Universitária, 1973. 61 p. (Tese M.S.).
10. MOSS, D.N., MUSGRAVE, R.B. & LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. III Some effects of light, carbon dioxide, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration in corn. *Crop Science*. 1:83-196.
11. MOTA, F.S. da Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema W. Köeppen. *Revista Agronómica*, Rio Gde. Sul, 193-198:132-141. 1953.
12. PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 4.^a Edição. Piracicaba, SP, ESALQ, 1970.
13. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: Their use and abuse. *Crop Science* 7:171-175. 1967.
14. RICHARDS, F.J. The quantitative analyses of growth. In: *Plant physiology: A treatise*. STEWARD, F.C. (ed.). New York, Academic Press, 1969. p. 3-76.

15. SILVA, W.J., MONTOJOS, J.C. & PEREIRA, A.R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. *Ciência e Cultura*. 26:360-363. 1974.
16. WARSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*. 4:101-145. 1952.
17. 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. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf area index. *Crop Science*. 5:211-219. 1965.