

CRESCIMENTO DE PLANTAS E CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM SISTEMAS DE CULTIVOS ASSOCIADOS E EXCLUSIVOS DE MILHO E FEIJÃO. I. ANÁLISE DO MILHO ^{1/}

Geraldo Antônio de Andrade Araújo ^{2/}

Luiz Antônio Nogueira Fontes ^{3/}

Nei Fernandes Lopes ^{4/}

José Domingos Galvão ^{3/}

Gilberto Chohaku Sedyama ^{5/}

1. INTRODUÇÃO

Os cultivos múltiplos são difundidos em alguns países da América Central e do Sul e utilizados por mais de 50% dos que se dedicam à exploração agrícola (22). Embora o plantio de milho e feijão associados date de épocas bem remotas, estudos para analisar o crescimento dessas culturas são escassos.

A técnica de análise de crescimento constitui método de estimativa da produção fotossintética e representa o primeiro passo da análise da produção primária, sendo o elo de ligação entre o simples registro de produções de plantas e a análise dessas produções por métodos fisiológicos (14). A produção econômica de uma planta, dentro de uma população, é o somatório de todas as interações de plantas e planta-ambiente. Porém, para compreender, em parte, os fenômenos intrínsecos da planta, são necessárias outras avaliações, além da produção final.

Os cultivos associados caracterizam-se pela competição, no espaço e no tempo, por luz, nutrientes, água e gás carbônico e por outros fatores de crescimento e produção das culturas.

^{1/} Recebido para publicação em 25-5-1985.

^{2/} Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Cx. Postal 216. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Fitotecnia da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Biologia Vegetal da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{5/} Departamento de Engenharia Rural da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

A competição pelos fatores do solo depende das espécies, dos sistemas radiculares e do suprimento de água, nutrientes e oxigênio (27). Apesar da competição, a água disponível é utilizada mais eficientemente (9), talvez em consequência da diminuição da exposição do solo aos raios solares, principalmente nos sistemas em que o espaçamento é reduzido (21). Com relação aos nutrientes, a competição é evidente, porém a gramínea pode beneficiar-se do nitrogênio fixado simbioticamente pela leguminosa (4, 10).

Pretendeu-se, com este trabalho, avaliar, por meio da análise de crescimento, plantas de milho, nos sistemas exclusivo e associado ao feijão, caracterizando taxas máximas de produção de matéria seca e utilização da energia solar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no ano agrícola 1977/78, em Viçosa, Minas Gerais, em solo classificado como Podzólico Vermelho Câmbico, fase terraço.

Os valores médios da radiação solar são mostrados na Figura 1.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos foram representados pelos sistemas de plantio exclusivo, intercalar e em faixas alternadas. Em cada tratamento, tomaram-se 14 subparcelas, ao acaso, que foram usadas na coleta semanal de plantas, para a obtenção das curvas de crescimento, área foliar e outros parâmetros fisiológicos. Essas subparcelas eram compostas de duas fileiras de milho com 1,5 m de comprimento.

Utilizaram-se a variedade de feijão «Ricobaio 1014», com hábito de crescimento determinado e ereto (Tipo II), e o milho híbrido Ag-430 B, de porte baixo. As coletas iniciaram-se oito dias após a emergência das plântulas de milho.

O milho foi plantado nos sistemas exclusivo e associado. No sistema exclusivo (ME), em fileiras espaçadas de um metro, com 0,25 m entre plantas na fileira. Foram usados dois sistemas associados: intercalar e em faixas alternadas. No sistema intercalar (MI), o milho teve o mesmo arranjo de plantas do exclusivo, tendo o feijão sido plantado nas entrelinhas do milho, no espaçamento de 0,50 m x 0,10 m, com suas fileiras distanciadas 0,25 m das do milho. O sistema de faixas alternadas (MF) foi composto de duas fileiras de milho para quatro fileiras de feijão, espaçadas de 0,50 m entre si. Nesse sistema, a distribuição das plantas de milho e de feijão na fileira foi de quatro plantas. m^{-1} e 10 plantas. m^{-1} , respectivamente.

Antes do plantio foram aplicados 1000 kg de fosfato de araxá. ha^{-1} , com 6,71% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%, na relação 1:1000, e 30 kg de K_2O . ha^{-1} , na forma de cloreto de potássio, incorporados ao solo através de gradagem. Para adubar os sulcos de milho, foram aplicados 32 g. m^{-1} de mistura NPK da fórmula 30-30-10. Quarenta e cinco dias depois da emergência das plantas de milho, fez-se a adubação de cobertura, com 20 g de sulfato de amônio por metro de fileira.

A radiação solar global incidente foi medida com um actinógrafo bimetalico Robitsch-Fuess, instalado na Estação Climatológica Principal do INEMET/UFV, a 600 metros, aproximadamente, da área experimental.

A matéria seca (W) foi obtida semanalmente, a partir do oitavo dia após a emergência do milho. As plantas colhidas na área útil foram levadas para o laboratório, onde se retiraram discos de folhas para a determinação da área foliar. As partes das plantas foram separadas, acondicionadas e levadas para uma estufa com ventilação forçada, a 70°C, onde permaneceram até que atingissem peso constante.

A área foliar (A_f) foi determinada por meio de punção das folhas, obtendo-se discos de área conhecida. Com o peso desses discos e da matéria seca das folhas,

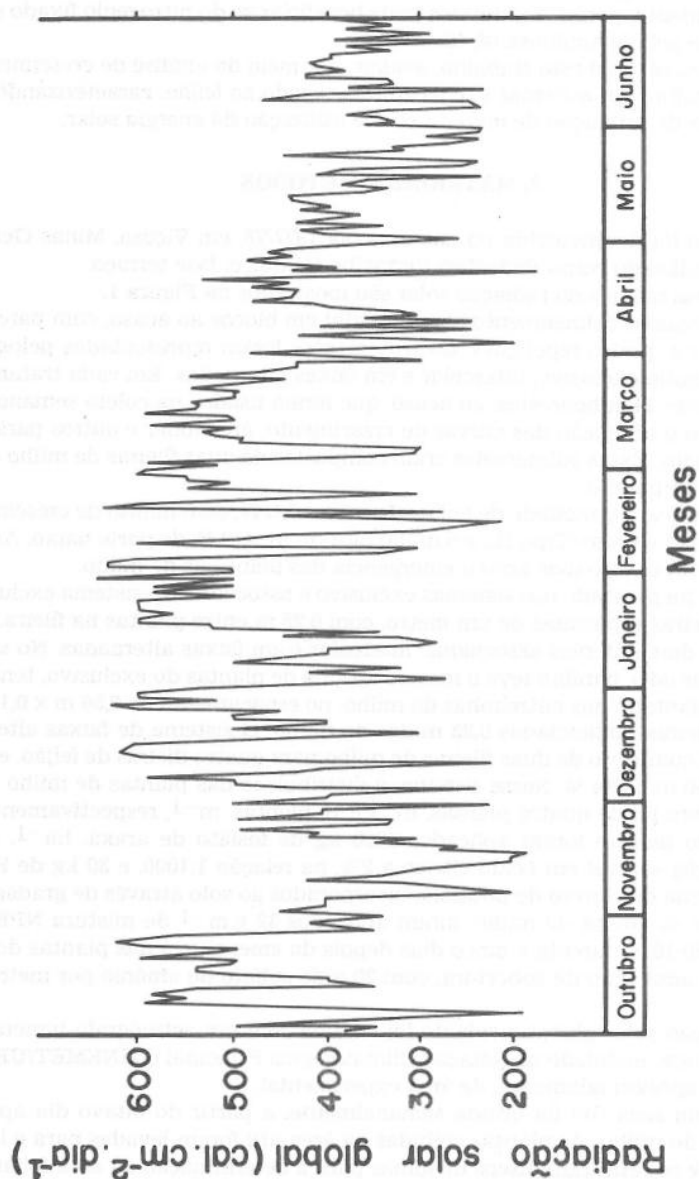


FIGURA 1 - Radiação solar global durante o período experimental. Viçosa, ano agrícola 1977/78.

foi calculada a área foliar total das plantas de cada repetição, procedendo-se, em seguida, à análise de regressão.

Todos os parâmetros determinados foram submetidos à análise de variância. Foi efetuada, também, a análise de regressão curvilínea das médias de peso da matéria seca das partes das plantas. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com a proposta de RICHARDS (24).

As curvas de acúmulo de matéria seca, das espigas e total, foram ajustadas ao modelo logístico descrito pela fórmula $W_t = W_m / (1 + Be^{-Ct})$, em que W_t representa a matéria seca acumulada, W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, B e C os coeficientes da regressão e t o tempo, em dias, após a emergência das plantas de milho.

A partir dos valores ajustados de matéria seca total (W_t), matéria seca foliar (W_f) e área foliar (A_f), foram calculados os seguintes parâmetros fisiológicos: taxa de produção de matéria seca ($C_t = dW_t/dt$), índice de área foliar ($L = A_f A_f^{-1}$), taxa de crescimento de área foliar ($C_a = dA_f/dt$), taxa de crescimento relativo ($R_w = W_t^{-1} \cdot dW_t/dt$), taxa assimilatória líquida ($E_A = C_t \cdot A_f^{-1}$) e razão de área foliar ($F_A = A_f \cdot W_t^{-1}$), de acordo com o proposto por RADFORD (23).

O índice de produção (Y_i), definido como a razão entre a matéria seca da espiga (W_e) e a total (W_t), foi calculado pela fórmula $Y_i\% = 100 W_e \cdot W_t^{-1}$.

A eficiência de conversão da energia solar (E) foi estimada a partir da equação $\Sigma\% = 100 C_t \cdot \sigma \cdot R_a^{-1}$, sendo R_a o valor médio diário da radiação solar nos cinco dias anteriores ao C_t correspondente e σ o valor calorífico. O σ utilizado foi de 4.200 cal.g^{-1} , o mesmo determinado por Lieth, citado por KVET *et alii* (14).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos das coletas semanais para determinação da matéria seca acumulada nas diversas partes da planta de milho estão no Quadro 1. A variação do acúmulo de matéria seca entre os órgãos foi nitidamente seqüencial, conforme se vê no Quadro 1 e na Figura 2. Observaram-se mudanças nos drenos metabólicos preferenciais de um órgão para outro, em razão das mudanças morfológicas por que passa a planta do milho. As correlações de crescimento entre os órgãos da planta são determinadas pelas correlações entre taxas de crescimento e, conseqüentemente, governadas pelas condições internas e externas de crescimento (7). A seqüência dos drenos metabólicos preferenciais parece ser raiz e folha, em primeiro lugar, seguidas do caule e, finalmente, da espiga. Resultados semelhantes foram obtidos por LOPES e MAESTRI (17), ao estudarem os efeitos da densidade populacional na partição de assimilados em milho. O crescimento vascular é promovido por auxinas, o que facilita o fluxo de nutrientes e água para a espiga, aumentando-lhe o poder competitivo, em relação aos outros órgãos (13). Notou-se que, apesar da mudança do dreno metabólico preferencial, os outros órgãos continuaram crescendo, embora a taxas menores.

A Figura 3 mostra a tendência do acúmulo de matéria seca total (W_t) do milho nos três sistemas de plantio. Verifica-se que até, aproximadamente, 23 dias após a emergência do milho o acúmulo de matéria seca foi relativamente pequeno, estágio de crescimento lento. A partir desse período, o crescimento das plantas de milho foi acelerado, até os 66, 71 e 78 dias após a emergência, nos sistemas ME, MI e MF, quando o crescimento voltou a ser lento. A variação das curvas de acúmulo de W_t sugere a ocorrência de uma pressão de competição do feijão com o milho no sistema intercalar, principalmente nos primeiros dias após a emergência das culturas, uma vez que a leguminosa apresenta taxa de crescimento inicial maior que a da gramínea, ocasionando competição, principalmente por luz. No sistema de faixas alternadas, o milho parece não sofrer competição do feijoeiro nessa fase ini-

QUADRO 1 - Peso da matéria seca do caule, folha, espiga, pendão e planta toda de milho, nos sistemas exclusivo, intercalar e em faixas alternadas

Sistemas de cultivo	Coleta (dias após emerg.)	Matéria seca acumulada (g.m ⁻²)				
		Caule	Folha	Espiga	Pendão	Planta toda
Milho exclusivo	8	-	2,12	-	-	2,12
	15	-	6,12	-	-	6,12
	22	0,20	19,15	-	-	19,35
	24	4,53	57,72	-	-	62,27
	36	24,10	118,94	-	-	143,05
	43	46,48	160,38	-	0,21	207,08
	50	116,16	236,61	-	5,93	358,71
	57	138,20	271,25	7,82	20,83	438,19
	64	204,76	290,06	39,61	37,77	572,20
	71	270,72	304,74	104,75	38,99	718,88
	78	336,73	370,99	265,67	35,79	1009,09
	92	281,39	334,16	455,61	35,12	1106,33
	106	283,77	315,03	657,36	24,20	1282,62
	120	274,33	255,49	725,36	23,76	1279,22
Milho intercalar	8	-	1,28	-	-	1,28
	15	-	5,62	-	-	5,62
	22	0,35	22,15	-	-	22,50
	29	0,33	29,88	-	-	31,52
	36	16,12	81,77	-	-	97,90
	43	20,54	91,01	-	0,07	111,67
	50	49,55	152,49	-	2,57	204,97
	57	70,35	165,29	2,50	10,25	248,48
	64	110,72	159,74	21,56	24,39	316,41
	71	149,76	192,33	46,92	32,34	421,26
	78	143,53	183,65	105,95	27,01	460,20
	92	215,74	232,53	425,42	27,08	825,79
	106	194,82	232,56	574,42	20,52	1022,38
	120	138,44	194,70	725,94	22,43	1081,52
Milho em faixas alternadas	8	-	0,96	-	-	0,96
	15	-	3,94	-	-	3,94
	22	0,25	13,50	-	-	13,76
	29	0,47	31,31	-	-	33,78
	36	12,16	62,92	-	-	85,08
	43	27,82	87,90	-	0,19	115,92
	50	39,09	113,84	-	2,70	155,44
	57	80,74	138,62	2,86	10,44	232,67
	64	142,98	180,33	19,66	22,17	365,12
	71	138,50	156,94	63,19	18,01	376,65
	78	146,18	178,09	118,66	15,75	458,70
	92	136,41	196,37	278,33	15,50	626,73
	106	149,61	173,03	404,75	12,74	740,14
	120	136,60	131,38	502,69	12,59	783,29

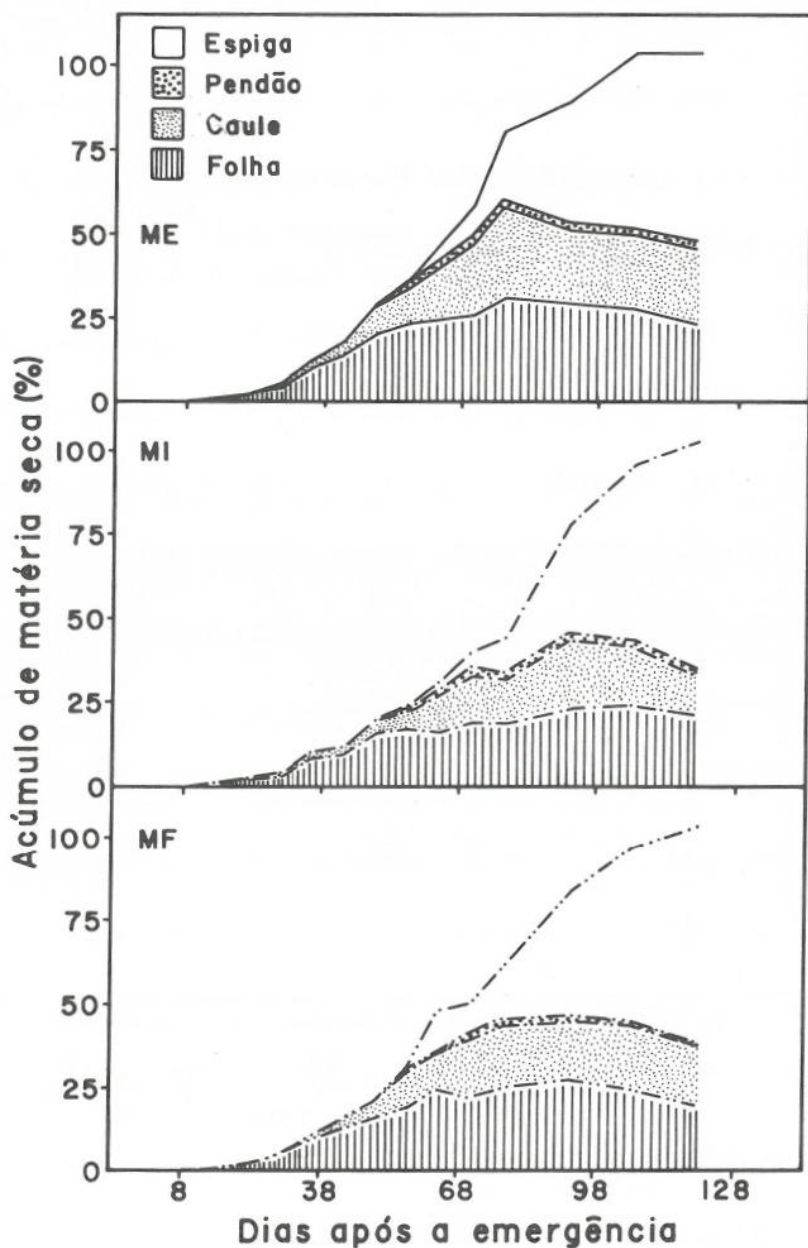


FIGURA 2 - Acúmulo percentual de matéria seca nos órgãos de planta de milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

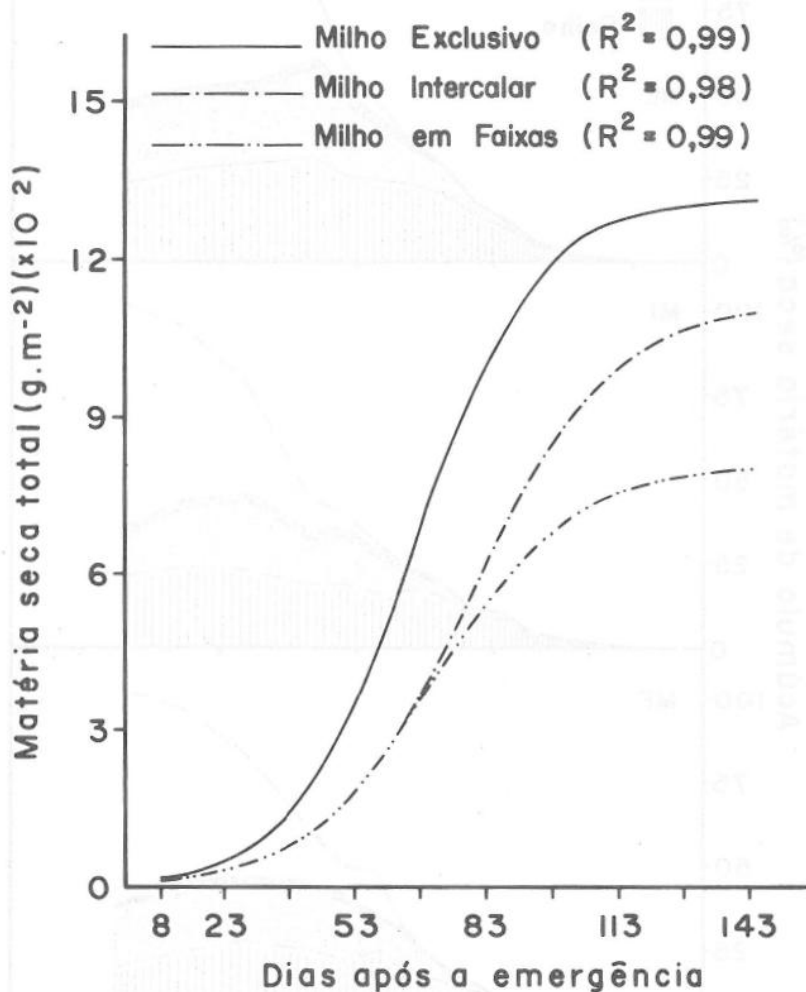


FIGURA 3 - Matéria seca total do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

cial, pois a tendência de seu crescimento foi semelhante à do sistema exclusivo. O menor acúmulo verificado nesse sistema, em relação aos demais, resultou, principalmente, do menor número de plantas. m^{-2} , uma vez que a competição por luz entre plantas de milho, dentro da faixa, foi compensada pelo suprimento abundante de luz, que penetrava lateralmente, graças ao arranjo alternado de duas fileiras de milho e quatro de feijão.

A tendência dos valores médios da taxa de produção de matéria seca (C_p) é mostrada na Figura 4. Os máximos de 24,3, 17,6 e 13,2 $g.m^{-2}$, nos sistemas ME, MI e MF, foram atingidos aos 66, 78 e 71 dias após a emergência do milho, respectivamente. A taxa máxima de produção de matéria seca registrada para o milho foi de 57,8 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, obtida durante um período curto, com densidade de 100 plantas. m^{-2} (15). Também, nas mesmas condições, foram registradas taxas de 30 a 50 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ (31). Os valores encontrados no presente trabalho são comparáveis aos de WILLIAMS *et alii* (32), SILVA *et alii* (25) e LOPES e MAESTRI (16) e situam-se dentro do intervalo de 26 a 53 $g.m^{-2}.dia^{-1}$ relatado por FISCHER e PALMER (11).

A tendência de acúmulo da matéria seca nas espigas (W_e) está representada graficamente na Figura 5. A amplitude de variação das tendências dos valores médios de W_e indica que há diferenças no transporte de fotoassimilados para as espigas. Verificou-se que o período de crescimento da espiga foi um pouco mais prolongado nos sistemas MI e MF, em relação ao ME. No sistema exclusivo, a partir de 123 dias, o acúmulo de W_e foi bem menor do que nos sistemas MI e MF.

A partir da sua formação, a espiga torna-se o dreno metabólico preferencial. A tendência dos valores médios da taxa de produção de matéria seca das espigas (C_e) pode ser vista na Figura 6. Os valores máximos de C_e foram 14,9, 15,3 e 10,3 $g.m^{-2}.dia^{-1}$, alcançados aos 92, 101 e 100 dias após a emergência do milho, nos sistemas ME, MI e MF, respectivamente. A contribuição da espiga do milho para a produção de matéria seca foi muito pequena, em relação à das lâminas e bainhas das folhas. Segundo ALLISON (1), as lâminas e as bainhas das folhas de milho contribuem para a produção de matéria seca com cerca de quatro quintos e um quinto, respectivamente, isto é, de acordo com suas áreas relativas.

Verificou-se início de formação da espiga e do pendão aos 39 dias após a emergência do milho. A partir daí, tanto o pendão quanto a espiga continuaram crescendo, até o aparecimento do estilo-estigma da espiga, aproximadamente do 63.º ao 68.º dia após a emergência do milho. Após essa ocorrência, W_e cresceu lentamente, até atingir o período de rápido crescimento. Essa tendência pode ser verificada na Figura 5, em que se observa que o período de rápido crescimento da espiga tem início cerca de 73 dias após a emergência do milho. Esses resultados estão de acordo com os descritos por ALLISON (1), HANWAY (12) e LOPES e MAESTRI (16). O período de rápido enchimento de grãos é relativamente curto e caracteriza-se pelo rápido acúmulo de matéria seca na espiga. Segundo ALLISON (1) e LOPES e MAESTRI (16), esse período é de 35 dias. No presente trabalho, foi de 35 a 37 dias.

As diferenças no tempo necessário para que fossem atingidos os valores máximos de C_e , nos três sistemas, podem estar associadas à velocidade de senescência das folhas de milho, reduzindo a produção de fotoassimilados, e à pressão de competição por fatores do ambiente, no início do estabelecimento das culturas de milho, nos sistemas MI e MF. Essa competição inicial intra e inter plantas parece ter provocado variações no tempo necessário para que fossem atingidos os valores máximos de L e E_A (Figuras 7 e 8). WATSON (28) sugeriu que a produção de grãos poderia ser aumentada se a área foliar se mantivesse com valor alto durante mais tempo. Nos cereais ocorre acentuado decréscimo na área foliar após a floração. Decréscimos de L ocorrem com intensidade diferente. No sistema intercalar, os

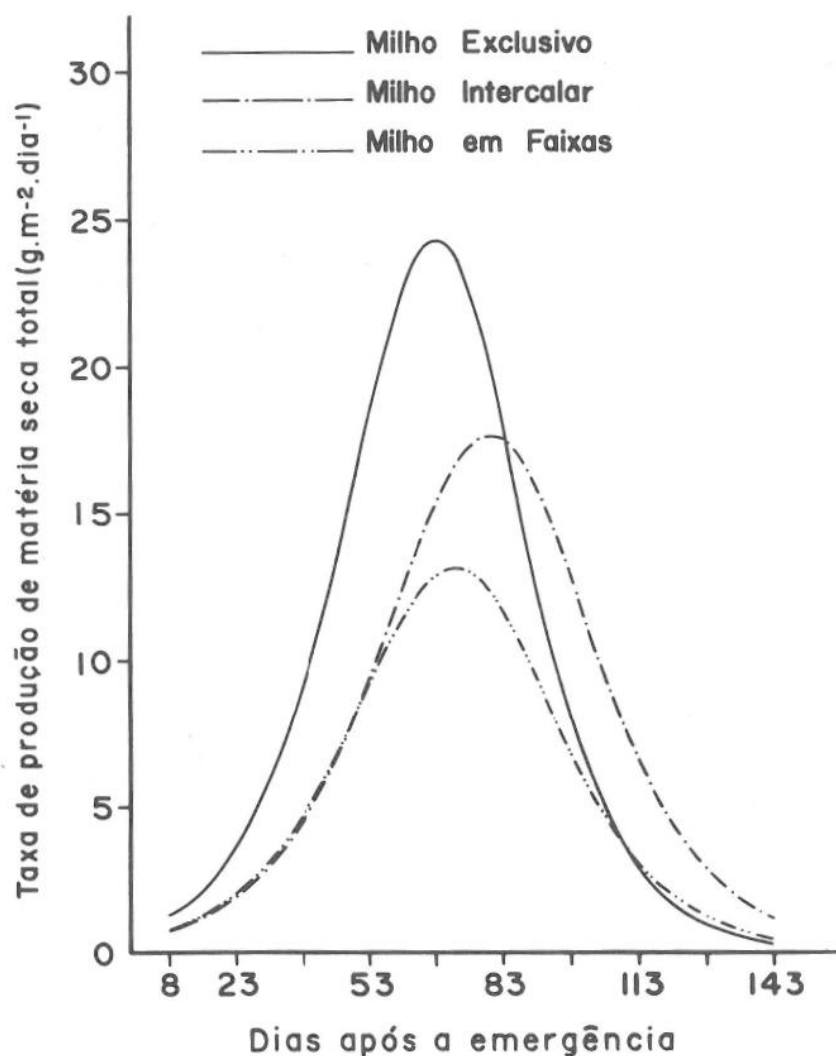


FIGURA 4 - Taxa de produção de matéria seca total do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

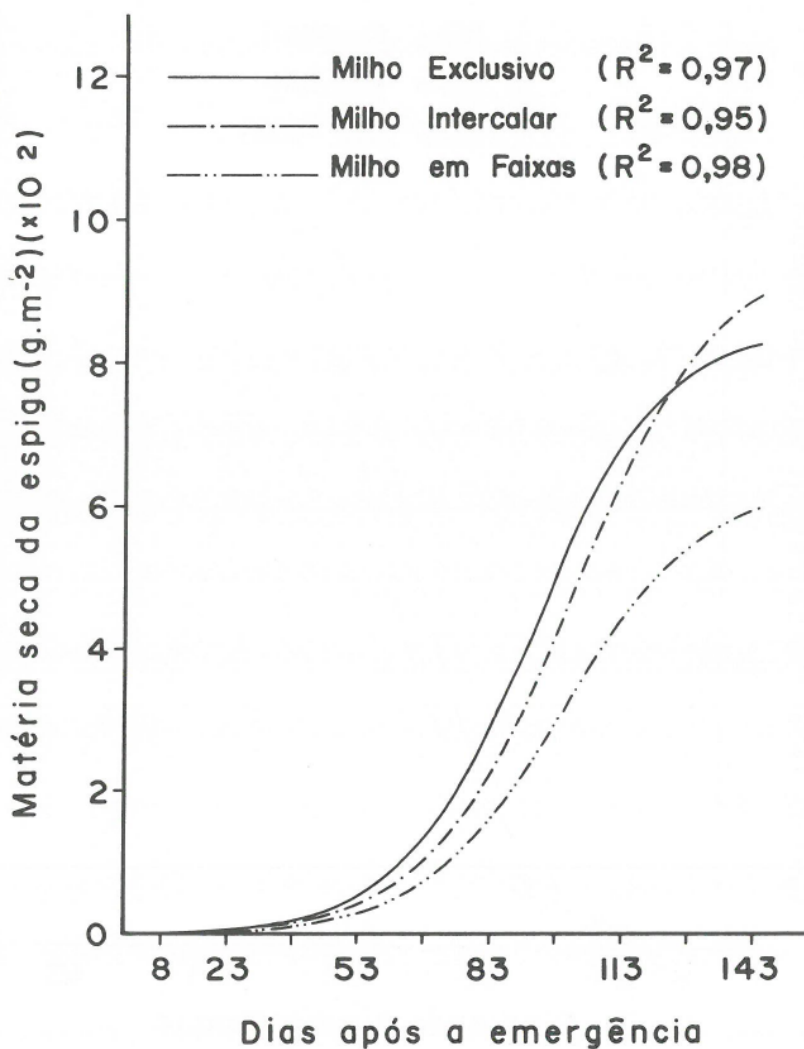


FIGURA 5 - Matéria seca das espigas do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

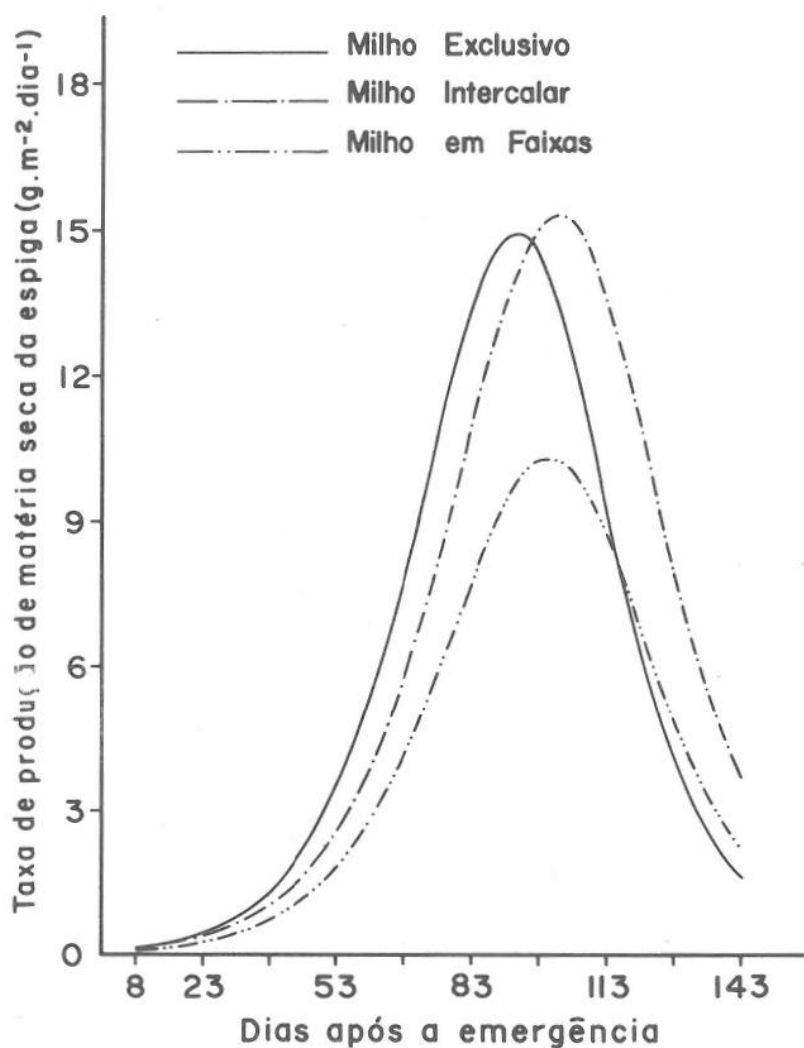


FIGURA 6 - Taxa de produção de matéria seca da espiga do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

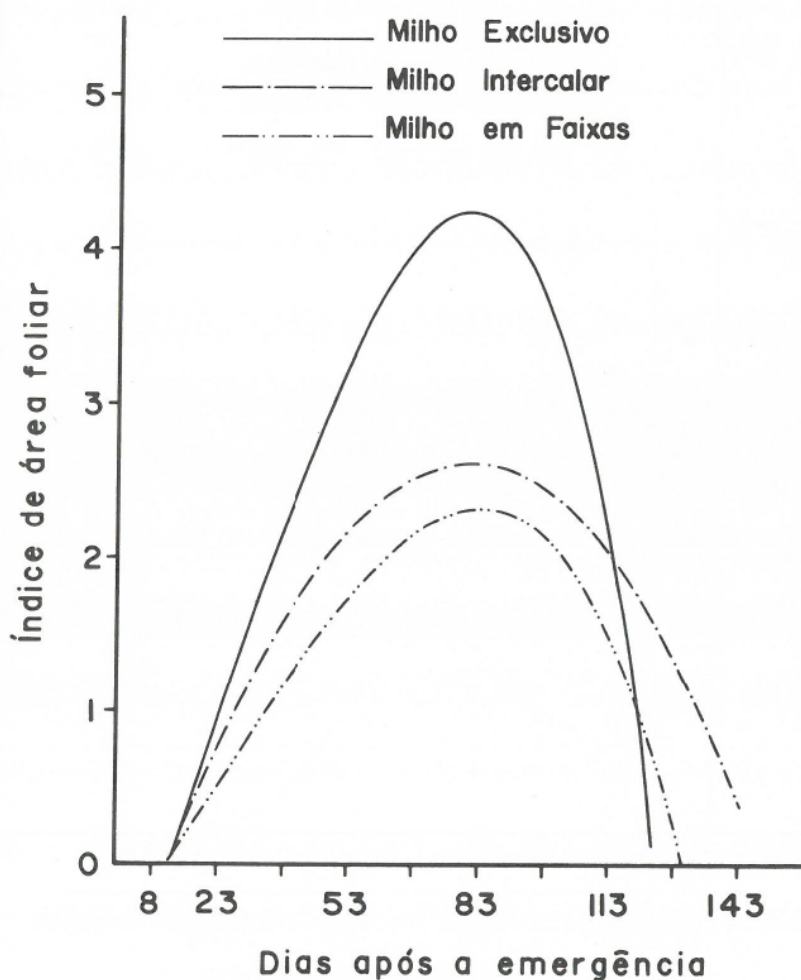


FIGURA 7 - Índice de área foliar do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

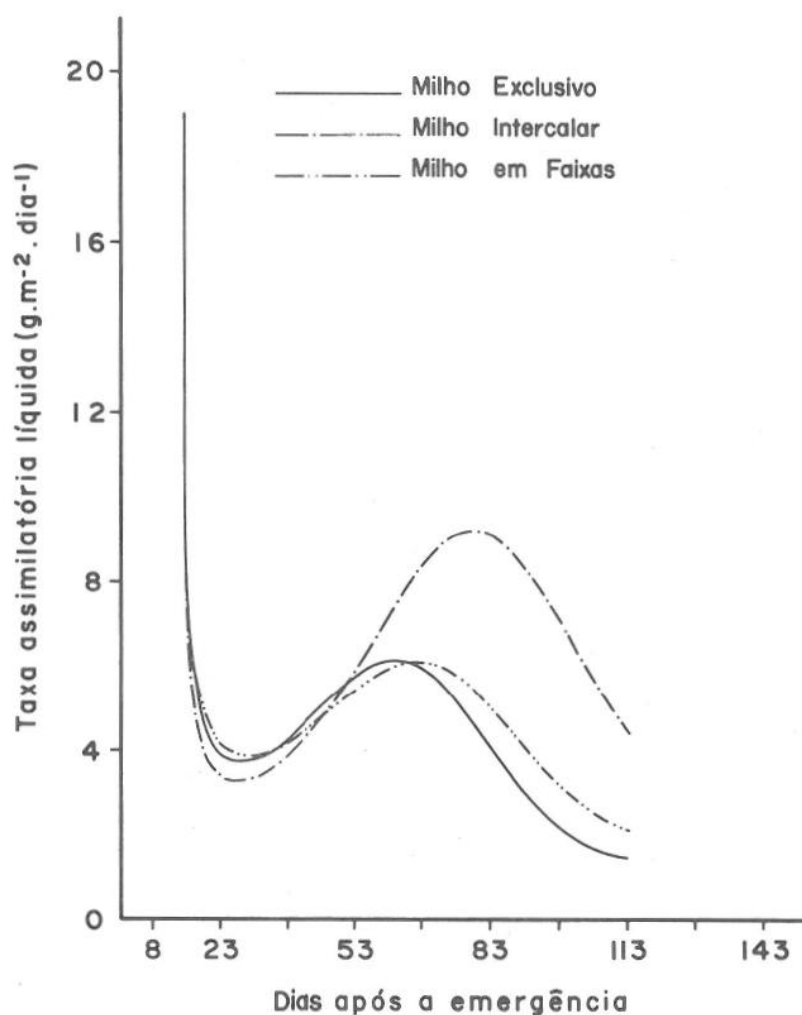


FIGURA 8 - Taxa assimilatória líquida do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

valores de L , ainda que baixos, decresceram a taxa bem menor, em relação aos outros dois sistemas. O período de enchimento de grãos, no milho, é muito curto, segundo Army e Greer, citados por LOPES e MAESTRI (16), dentro de certos limites, cada dia adicional de enchimento de grãos aumenta a produção de, aproximadamente, três por cento.

A taxa de produção de matéria seca pode ser expressa por $(\frac{dw}{dt})$, ou $E_A \times L$. O ótimo de produtividade será alcançado quando o produto de E_A por L for máximo (6). A partir desse ponto, os incrementos na área foliar não acarretarão, necessariamente, aumentos em $C_t(2)$. Segundo WATSON (29), dos dois fatores, a área foliar é, em geral, o mais importante, porque a variação na produção de matéria seca está associada principalmente à variação na área foliar. Apenas no sistema intercalar houve coincidência de tempo entre os máximos de L e C_t . Nos outros dois sistemas, os valores máximos de C_t foram obtidos antes que L se tornasse máximo, indicando um L supraótimo.

Os valores máximos de L foram 4,2, 2,6 e 2,3, alcançados no 79.º, 80.º e 83.º dia após a emergência do milho, nos sistemas ME, MI e MF, respectivamente, conforme mostra a Figura 7. Esses valores estão de acordo com os obtidos por ALVIM e ALVIM (3), LOPES e MAESTRI (16) e MACHADO *et alii* (18).

A taxa a que ocorreu a senescência das folhas, nesses três sistemas, sugere uma relação com o tempo necessário para que fosse alcançado o ponto de maior acúmulo de matéria seca total dos sistemas de plantio de milho. Analisando o Quadro 1, observa-se que o incremento em W_t , a partir do 78.º dia após a emergência do milho, decorreu do acúmulo de matéria seca nas espigas (W_e), no sistema exclusivo; no intercalar, ainda houve acúmulo em W_c , W_f e W_e ; nos sistemas em faixas alternadas, apenas o aumento em W_f e W_e contribuiu para o incremento de W_t a partir desse período. Nos sistemas de milho exclusivo e em faixas alternadas, a senescência das folhas foi mais rápida que no intercalar e a do sistema exclusivo mais rápida ainda.

A taxa assimilatória líquida (E_A) depende da radiação solar, das condições internas da planta, do próprio L e do balanço hídrico. No início do crescimento da planta, a folhagem intercepta pouca luz, em relação do baixo valor de A_f ; por isso, E_A atinge valores elevados. À medida que L cresce, E_A tende a diminuir, fato atribuído ao auto-sombreamento. A tendência dos valores de E_A é mostrada na Figura 8. Verifica-se uma queda brusca desses valores até, aproximadamente, o 25.º dia após a emergência do milho. A partir desse ponto, os valores de E_A crescem novamente, caindo depois. Durante o período experimental, verificaram-se baixos valores de radiação solar, principalmente até o 25.º dia, com média de 300 ly.dia^{-1} . Após o 25.º dia, período em que a E_A aumentou, o valor médio da radiação solar incidente foi de 388 ly.dia^{-1} . Da mesma forma que E_A , o L ótimo depende da densidade do fluxo da radiação solar incidente (5, 26). Valores mais elevados de L não implicam, necessariamente, maior W_t , em razão do correspondente aumento no auto-sombreamento. Em síntese, E_A representa a fotossíntese, ou seja, a diferença entre matéria seca produzida pela fotossíntese e matéria seca consumida na respiração. Evidentemente, é difícil prever qual dos dois processos influencia mais E_A em determinado instante. O aumento de E_A no período de 20 a 80 dias parece estar associado à demanda de produtos fotossintetizados pelos sítios de consumo, isto é, alongamento dos colmos e diferenciação e crescimento dos órgãos reprodutivos (19, 20).

Os valores máximos da taxa de crescimento de área foliar (C_A), nos sistemas ME e MF, foram alcançados, aproximadamente, no 25.º dia após a emergência do milho (Figura 9). Essa data corresponde ao momento em que E_A passou por um ponto mínimo. No sistema intercalar, C_A decresceu linearmente durante todo o tempo. Quando se associam os valores de L , C_t e E_A obtidos nos três sistemas de

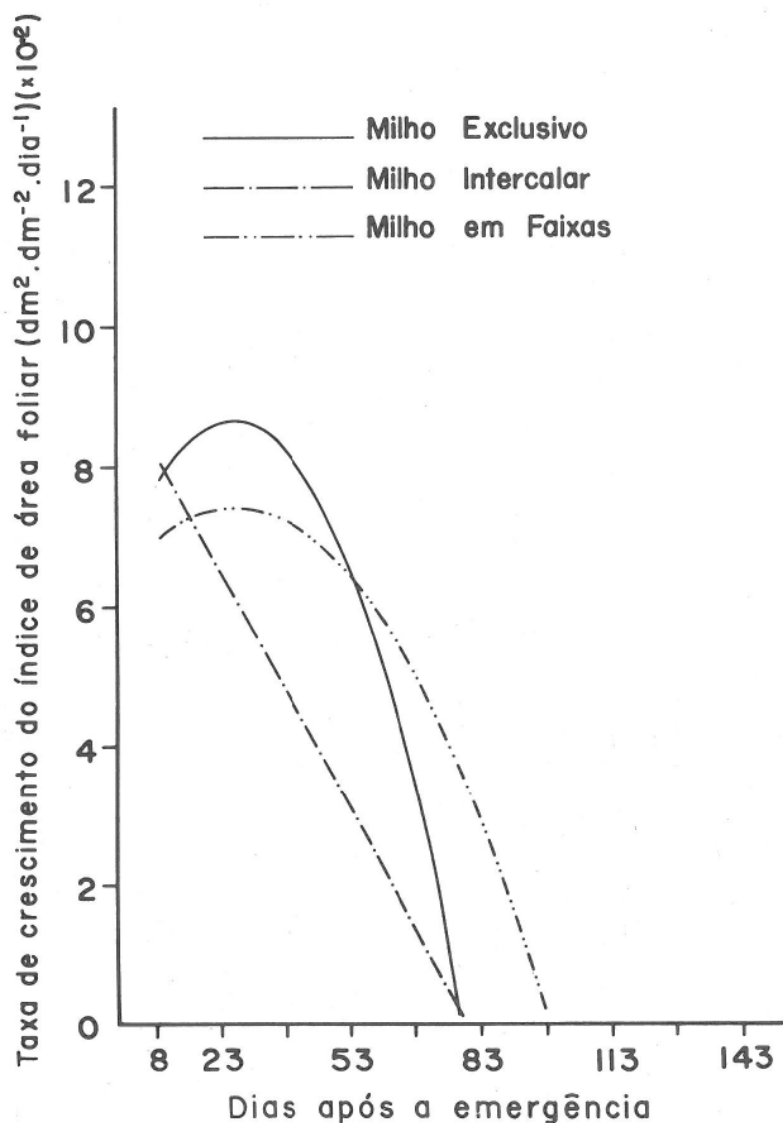


FIGURA 9 - Taxa de crescimento da área foliar do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

plântio, verifica-se que houve relação entre E_A e C_t , ou seja, após o 25.º dia, quando os valores de E_A cresceram, o máximo foi atingido, aproximadamente, quando C_t foi máximo. Porém, apenas para o milho, no sistema intercalar, os valores máximos de L foram atingidos quase no mesmo período. De modo geral, a tendência dos valores médios de E_A encontrados neste trabalho difere da de alguns trabalhos de outros autores (8, 16). Por outro lado, MACHADO *et alii* (18), em trabalho recente, testando híbridos de milho em diferentes densidades de plântio, obtiveram valores com tendências semelhantes às obtidas neste trabalho. Os aumentos ocorridos em E_A , nos três sistemas de plântio, podem ser justificados pelo aumento da demanda de fotoassimilados pelas plantas de milho durante esse período de crescimento, principalmente pelos órgãos reprodutivos.

A tendência dos valores médios da taxa de crescimento relativo (R_w) pode ser vista na Figura 10. Observa-se que os valores iniciais foram relativamente altos, decrescendo rapidamente até o final do ciclo da cultura. Os decréscimos foram maiores nos sistemas ME e MF. De certa forma, os valores da razão da área foliar (F_A), representados na Figura 11, e R_w indicam fortes tendências de decréscimo de valores à medida que as plantas envelhecem. O decréscimo de R_w conforme a idade das plantas pode ser explicado, em parte, pelo aumento de tecidos não assimilatórios (30). O índice de produção (Y_i) mostra a partição de assimilados para as espigas em relação ao total. Na Figura 12, verifica-se que Y_i difere entre os três sistemas; o menor foi obtido no sistema exclusivo e o maior no sistema intercalar. A partir do 93.º dia após a emergência do milho a variação das curvas de Y_i , nos sistemas MI e MF, aumentou, em relação ao sistema ME.

A representação gráfica dos valores médios da eficiência de conversão da energia solar (ϵ) encontra-se na Figura 13. As curvas mostram-se irregulares, possivelmente por causa da grande oscilação no fluxo da radiação solar incidente, em decorrência da alta nebulosidade verificada durante o período experimental e das mudanças morfológicas sofridas pelas plantas em processo normal de desenvolvimento. Verifica-se que os valores máximos de ϵ , nos três sistemas de plântio, foram alcançados 69 dias após a emergência do milho. Esses valores máximos foram de 4,3, 2,8 e 2,3%, nos sistemas ME, MI e MF, respectivamente. Esses índices, principalmente o de 4,3%, estão acima dos valores máximos de ϵ encontrados por LOPES e MAESTRI (16) e próximos aos de LEMON (15), em culturas exclusivas de milho, com a mesma população, os quais foram de 2,9 e 4,0%, respectivamente. Os valores médios de ϵ foram de 1,2, 1,0 e 0,7%, nos sistemas ME, MI e MF, respectivamente, bem abaixo dos encontrados por outros autores (16, 31). Uma possível explicação é o fato de, nesses trabalhos, terem os autores incluído as raízes nas determinações de W_t , o que não ocorreu no presente estudo.

Os valores de ϵ , no sistema exclusivo, foram sempre maiores que nos demais sistemas estudados, até o 82.º dia após a emergência do milho. A partir desse ponto os valores de ϵ , no sistema intercalar, tornaram-se maiores que os do sistema exclusivo. Essa época correspondeu à data em que o valor de C_t do sistema MI tornou-se superior ao C_t do sistema ME.

4. RESUMO

Em Viçosa, Minas Gerais, foram estudados, em condições de campo, o crescimento e a conversão de energia solar do milho, nos sistemas de plântio exclusivo e associado ao feijoeiro.

O maior rendimento biológico do milho foi obtido no sistema exclusivo e o menor no sistema de faixas alternadas. A variação das curvas de acúmulo de matéria seca indicou a ocorrência de pressão de competição do feijão com o milho no

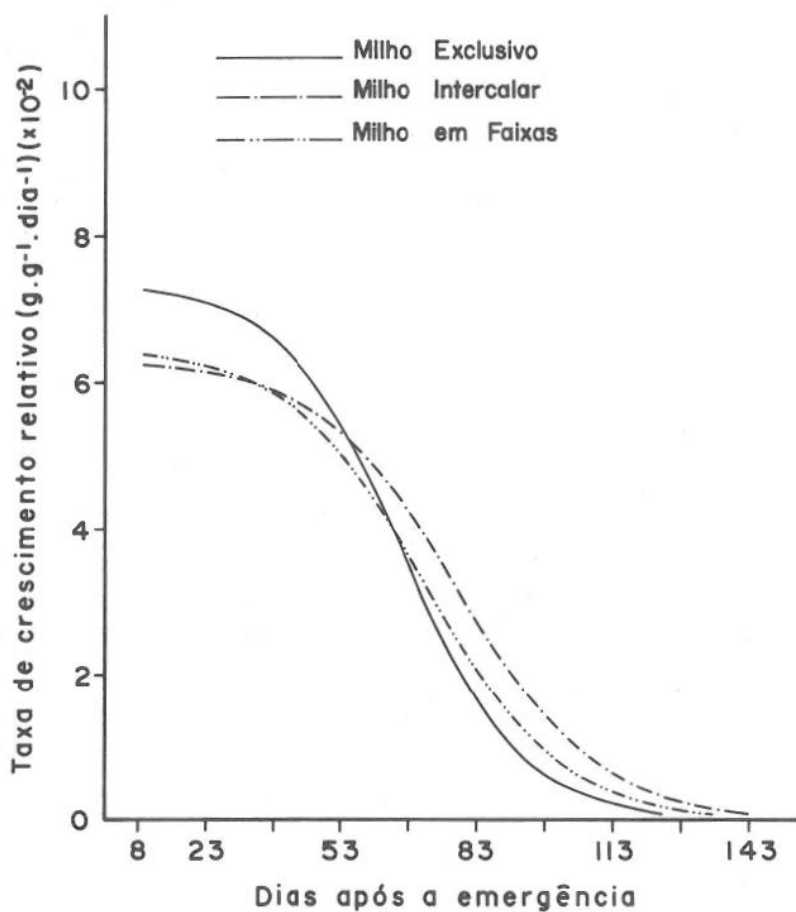


FIGURA 10 - Taxa de crescimento relativo do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

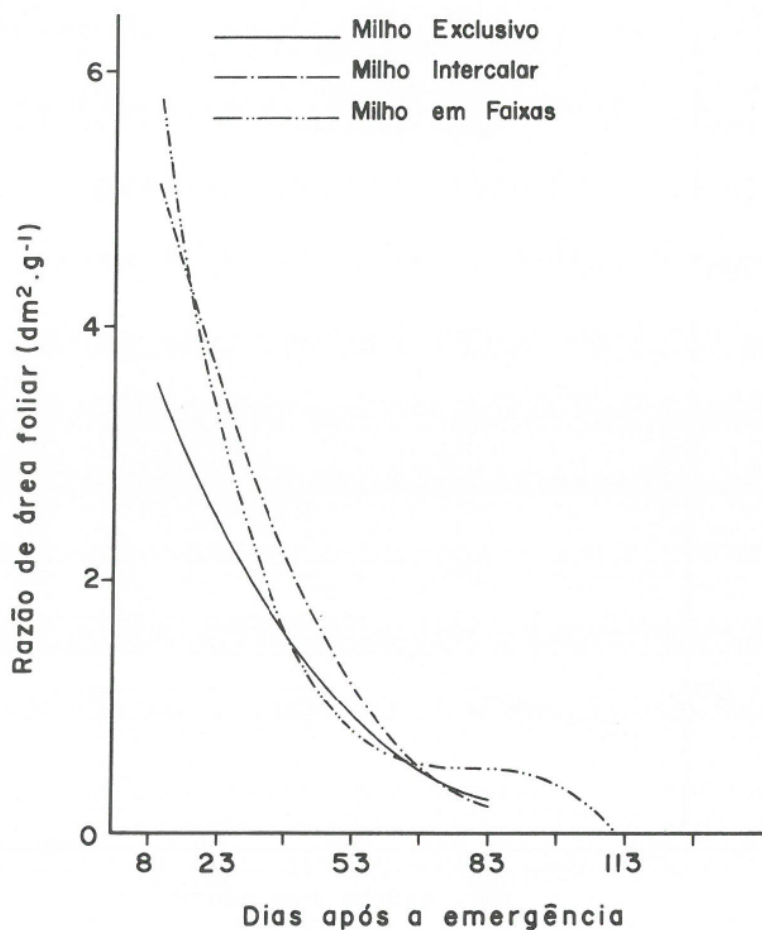


FIGURA 11 - Razão de área foliar do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (ME) ao feijoeiro.

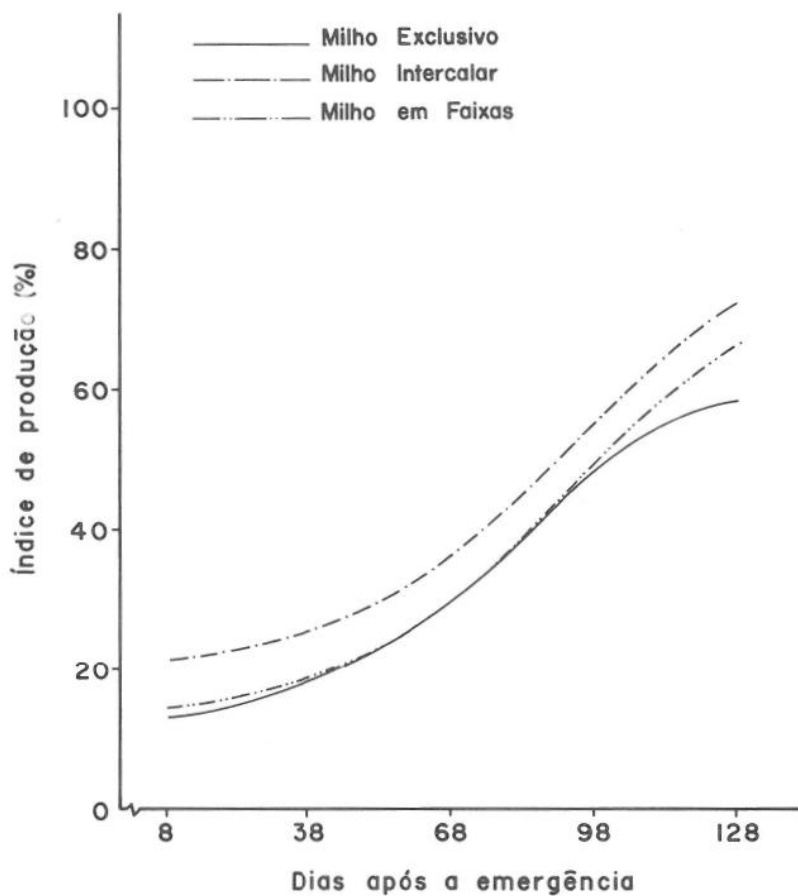


FIGURA 12 - Índice de produção do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

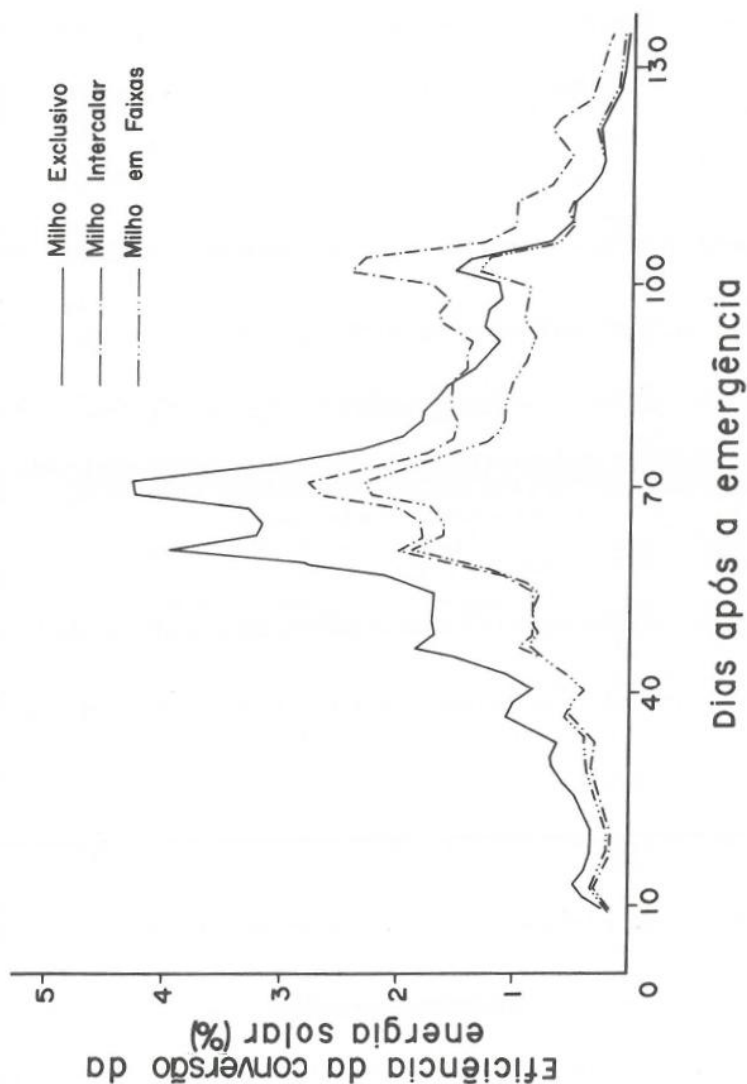


FIGURA 13 - Eficiência da conversão da energia solar do milho, nos sistemas de plantio exclusivo (ME), intercalar (MI) e em faixas alternadas (MF) ao feijoeiro.

sistema intercalar, principalmente nos primeiros dias após a emergência das culturas.

Os valores máximos da taxa de produção de matéria seca total dos sistemas de plantio intercalar e em faixas alternadas foram inferiores ao do sistema exclusivo e a taxa assimilatória líquida mostrou tendência pouco visível. Os valores de E_A , durante a fase de enchimento de grãos, foram maiores nos sistemas associados.

O incremento da matéria seca total a partir do momento em que os valores do índice de área foliar se tornaram máximos diferiu entre os três sistemas.

A distribuição de matéria seca entre as partes vegetativa e reprodutiva das plantas variou entre os sistemas. O milho, tanto no sistema intercalar quanto no sistema de faixas alternadas, apresentou maior índice de produção, principalmente no intercalar.

O período de rápido crescimento da espiga foi de 35 a 37 dias.

A conversão máxima de energia solar foi maior no sistema exclusivo (4,3%) e menor no sistema de faixas alternadas (2,3%). O máximo de eficiência de conversão de energia solar do sistema intercalar foi de 2,8%. A eficiência média da conversão de energia solar do sistema exclusivo (1,2%) foi superior à do intercalar (1%) e à do sistema de plantio em faixas alternadas (0,7%).

5. SUMMARY

(PLANT GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION IN SOLE CROP AND ASSOCIATED PRODUCTION SYSTEMS OF MAIZE AND BEANS. I. ANALYSIS OF MAIZE)

Growth analysis and efficiency of solar energy conversion of corn were determined in monoculture and in association with common bean.

Maximum corn biomass was obtained in monoculture and the minimum was obtained in the strip-intercropping system. Maximum dry matter production rates in the strip-intercropping ($13.2 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and row-intercropping ($17.6 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) systems were less than in the monoculture system ($24.2 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$). Leaf area index showed a similar trend. Net assimilation rate showed an unusual tendency. In the grain filling phase, the values of net assimilation rate were greater in the associated system than in the monoculture.

The fast growth phase of the ears was approximately 35 to 37 days. The production indices in the associated systems were greater than in monoculture.

Maximum efficiencies of solar energy conversions were 4.3, 2.8 and 2.3% in exclusive, row-intercropping and strip-intercropping systems, respectively. Efficiencies for the entire cycle were 1.2, 1.0 and 0.7% in exclusive, row-intercropping and strip-intercropping.

6. LITERATURA CITADA

1. ALLISON, J.C.S. *Physiological studies of the post-flowering period in Zea mays*. University of London, 1964. 115 p. (Tese PhD).
2. ALVIM, P. de T. Los factores de la productividad agrícola. In: CURSO INTERNACIONAL DE BASES FISIOLÓGICAS DE LA PRODUCCIÓN. Lima, Peru, IICA-OEA, Zona Andina, 1962. 20 p. (mimeografado).
3. ALVIM, R. & ALVIM, F. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveita-

- mento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba*, 19:389-393. 1969.
4. BIRCH, H.F. & DOUGAL, H.W. Effect of a legume on soil nitrogen, mineralization, and percent N in grasses. *Plant and Soil*, 27:269-292. 1967.
 5. BLACK, J.N. The interrelationship of solar radiation and leaf area index determining the rate of dry matter production of swards of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) *Aust. J. Agric. Res.*, 14:20-38. 1963.
 6. BLACKMAN, V.H. The compound interest law plant growth. *Ann. Bot.*, 33:353-360. 1919.
 7. BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agr. Sci.*, 10: 361-375. 1962.
 8. BUTTERY, B.R. Effects of variation in leaf area index growth of maize and soybeans. *Crop. Sci.*, 10:9-13. 1970.
 9. CROOKSTON, R.K. & HILL, D.S. Grain yields and land equivalent ratios from intercropping corn and soybeans in Minnesota. *Agron. J.* 71:41-44. 1979.
 10. DUBBS, A.L. Competition between grasses and legume species on dryland. *Agron. J.*, 63:359-362. 1971.
 11. FISHER, K.S. & PALMER, A.F.E. Maize. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS, 1.º, Los Baños, 1980. Los Baños, Philippines, IRRI, 1980. p. 22-26.
 12. HANWAY, J.J. *How a corn plant develops*. Iowa, Cooperative Extension Services, 1971. 17 p. (Special Report n.º 48).
 13. HESLOP-HARRISON, J. Development, differentiation and yield. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAM BAVEL, C.H.M. & DINAUER, R.C. (eds.). *Physiological aspects of crop yield*. Madison, Amer. Soc. of Agron., 1970. p. 291-321.
 14. KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NEGAS, J.P. & 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. Publishers, 1971. p. 343-391.
 15. 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. 55-77.
 16. LOPES, N.F. & MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em população de milho (*Zea mays*) em Viçosa, Minas Gerais. *Rev. Ceres*, 20:189-201, 1973.
 17. LOPES, N.F. & MAESTRI, M. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do milho (*Zea mays* L.) cultivado em três densidades populacionais. *Rev. Ceres*, 28:268-288. 1981.

18. MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHI, J.E.; ARRUDA, H.V.; SILVA, W.J. da & TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio através de funções matemáticas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:825-833. 1982.
19. MOSS, D.N. Photosynthesis and barrenness. *Crop. Sci.*, 2:366-367. 1982.
20. NEALES, T.F. & INCOLL, L.D. The control of leaf photosynthesis: a review of the hypothesis. *Bot. Rev.*, 34:107-125. 1964.
21. NUNES, R. & KAMPRATH, E. Relationship between N response, plant population and row width on the growth and yield of corn. *Agron. J.*, 61:279-282. 1969.
22. PINCHINAT, A.M., SORIA, J. & BAZAN, R. Multiple cropping in tropical America. In *Multiple cropping*. Madison, American Society of Agronomy, 1976. p. 51-61. (ASA Special Publication n.º 27).
23. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop. Sci.*, 7:171-175. 1967.
24. 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.
25. SILVA, W.J. da. MONTIJOS, J.C. & PEREIRA, A.R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliados em duas densidades de população. *Ci. e Cult.* 26:360-365. 1974.
26. STERN, W.R. & DONALD, C.M. The influence of leaf area and radiation on the growth of clover in swards. *Aust. J. Agric. Res.*, 13:615-623. 1962.
27. TRENBATH, B.R. Plant interactions in mixed crop communities. In *Multiple Cropping*. Madison, American Society of Agronomy, 1976. p. 129-169.
28. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.*, 4:101-145. 1952.
29. WATSON, D.J. Leaf growth in relation to crop yield. In: MILTHORPE, F.L. (ed.). *The growth of leaves*. London, Butterworths Scientific Publication, 1956. p. 140-150.
30. WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. *Ann. Bot.*, 10:41-72. 1946.
31. 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.
32. WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; DUNCAN, W.G.; DOVRAT, A. & NUNES, A.F. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop. Sci.*, 8:303-308. 1968.