

## Cultivo do Milho Adensado: alternativa para maximizar o rendimento de grãos



ISSN 1517-5111

Novembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## *Documentos 189*

# **Cultivo do Milho Adensado: alternativa para maximizar o rendimento de grãos**

*Robélio Leandro Marchão  
Edward Madureira Brasil*

Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF  
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Tratamento de ilustração: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto(s) da capa: *Robélio Leandro Marchão*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*  
*Jaime Arbués Carneiro*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2007): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Embrapa Cerrados**

---

M315c Marchão, Robélio Leandro.

Cultivo do milho adensado: alternativa para maximizar o rendimento de grãos / Robélio Leandro Marchão, Edward Madureira Brasil. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

35 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 189)

1. Milho. 2. Densidade de plantio. 3. Produtividade. I. Brasil, Edward Madureira. II. Título. III. Série.

633.15 - CDD 21

---

© Embrapa 2007

# **Autores**

## **Robélio Leandro Marchão**

Eng. Agrôn., D.Sc.

Pesquisador, Embrapa Cerrados

robelio.leandro@cpac.embrapa.br

## **Edward Madureira Brasil**

Eng. Agrôn., D.Sc.,

Professor Adjunto, Universidade Federal de Goiás

Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos

Caixa Postal 131

CEP 74001-970, Goiânia, GO

ebrasil@agro.ufg.br

# Apresentação

Nos sistemas de produção de grãos do Cerrado, a cultura do milho está entre as de maior representatividade. Atualmente, busca-se cada vez mais uma verticalização da produção por área, incrementando a produtividade para aumentar a eficiência do sistema produtivo e minimizar a abertura de novas áreas do Cerrado. Nesse sentido, estratégias que viabilizem maior rendimento dessa cultura e que sejam de fácil adoção pelos agricultores são prioridades de pesquisa da Embrapa Cerrados. A modificação no arranjo de plantas visando maior adensamento é uma prática de manejo de relativa facilidade de adoção e tem grande aplicabilidade.

O presente documento aborda questões relacionadas ao incremento na densidade de plantas por meio da redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade de semeadura. Ao longo do texto, é discutido, em detalhes, como as modificações no arranjo de plantas influenciam no rendimento de grãos, na absorção da radiação fotossintética e na estrutura da comunidade de plantas na lavoura. Também são apresentados os principais fatores que devem ser considerados pelo produtor na escolha do arranjo de plantas ideal para sua propriedade. Finalmente, discute-se sobre os benefícios indiretos do aumento da densidade de plantas.

*Roberto Teixeira Alves*

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# Sumário

Introdução .....	9
Revisão bibliográfica .....	11
Ecofisiologia e densidade populacional .....	11
Evolução das práticas de manejo e dos híbridos comerciais .....	14
Aumento da população como forma de potencializar o rendimento de grãos .....	17
Fatores que influenciam na escolha do arranjo de plantas .....	22
Alterações no sistema produtivo e benefícios indiretos das modificações .....	24
Considerações finais .....	27
Referências .....	28
Abstract .....	35

# Cultivo do Milho Adensado: alternativa para maximizar o rendimento de grãos

---

*Robélio Leandro Marchão*

*Edward Madureira Brasil*

## Introdução

O milho (*Zea mays L.*) é uma das culturas que participa em maior volume na produção mundial de grãos. A produção nacional, na safra 2006/2007, atingiu o volume de mais de 51 milhões de toneladas, das quais 36,3 foram produzidas na primeira safra, e 14,7 na safrinha ([COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2007](#)). Após a produção recorde na safra 2000/2001, houve grande mudança no mercado brasileiro de milho: de importador líquido do produto passou a exportador. Ainda segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), as exportações de milho brasileiro nos primeiros sete meses de 2007 foram de 4,2 milhões de toneladas, com crescimento de aproximadamente 130 % em relação ao mesmo período de 2006.

Em virtude de condições edafoclimáticas específicas da região do Cerrado e do investimento crescente em tecnologias de produção, essa região tem demonstrado grande potencial para produção de milho. Alia-se a esse fato a instalação, nos últimos anos, de indústrias frigoríficas, que fomentaram a avicultura e a suinocultura e provocaram aumento na demanda por esse cereal ([CARMO et al., 2002](#)).

A cultura, além de sua importância econômica no sistema produtivo, quando utilizada em rotação (no verão) ou em sucessão (na safrinha)

com outras culturas, como a soja, constitui-se num fator de sustentabilidade do sistema de produção. Várias são as vantagens técnicas dessa rotação-sucessão, entre elas, os resíduos da cultura da soja, que podem fornecer boa parte do nitrogênio e do potássio exigida pelo milho. A rotação-sucessão também favorece o controle de plantas daninhas e pragas que prejudicam as duas culturas.

A agricultura em algumas regiões do Cerrado é caracterizada pela obtenção de duas safras dentro de um mesmo ano agrícola: a safra de verão e uma segunda safra conhecida como "safrinha", que representa mais de 60 % da produção total de milho da Região Centro-Oeste ([COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2007](#)). O cultivo de milho safrinha começou a ter expressão na década de 1980, ocupando áreas onde as culturas de verão eram colhidas em janeiro e fevereiro. Isso ocorreu principalmente na região centro-sul do País, sobretudo nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, onde a redução na área cultivada com trigo favoreceu o cultivo de variedades precoces de soja e, conseqüentemente, o cultivo de milho na mesma área.

Em Goiás, a ocorrência da safrinha, assim como em outros estados, deve-se principalmente a condições climáticas intrínsecas de microrregiões específicas, aliadas a técnicas de cultivo como o uso de variedades precoces e a adoção do sistema de plantio direto. Nessa região, os produtores têm aumentado o nível de investimento nas lavouras de milho, principalmente no cultivo de verão onde a resposta é maior quando comparada à safrinha.

A utilização de híbridos mais produtivos faz com que alguns fatores do manejo limitem a expressão do potencial da planta. O espaçamento tradicionalmente utilizado tem variado entre 0,7 e 0,9 m, fazendo com que a competição dentro da linha limite o uso de densidades mais elevadas. Isso também tem provocado grande interferência de plantas daninhas que são favorecidas pela distância das entrelinhas, aumentando a competição por água, luz e nutrientes, forçando a utilização de herbicidas que, em muitos casos, tem baixa eficiência e são altamente fitotóxicos. Esse conjunto de fatores aliado à possibilidade de utilização da semeadora com a regulagem

do espaçamento entre linhas para várias culturas, notadamente para soja e milho, têm induzido os produtores à utilização de menores espaçamentos e maiores densidades.

A introdução de híbridos com alto potencial produtivo, o incremento na utilização de fertilizantes, o desenvolvimento de novos herbicidas, além de outros fatores, têm provocado constante busca, por parte dos órgãos de pesquisa e produtores, por práticas de manejo que potencializem o rendimento de grãos. A escolha do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos no milho, pois afeta diretamente a interceptação de radiação solar, um dos principais fatores determinantes da produtividade.

Considerando as modificações introduzidas nos genótipos de milho modernos, tais como menor estatura de planta e altura de inserção da espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do período pendendo-espigamento, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo, tornou-se necessário reavaliar as recomendações de arranjo de plantas para essa cultura.

Em virtude de todos esses fatores, objetiva-se neste trabalho fazer uma ampla discussão sobre os fatores determinantes do arranjo de plantas em milho e também mostrar os principais resultados obtidos nos últimos anos pela pesquisa.

## Revisão bibliográfica

### Ecofisiologia e densidade populacional

O efeito da densidade de plantas e do espaçamento entre linhas tem sido cada vez mais estudado para a cultura do milho, com o objetivo de se determinar a população ótima e arranjo entre plantas ([TEASDALE, 1998](#)).

O espaçamento tradicionalmente utilizado tem variado entre 0,7 e 0,9 metro, e isso provavelmente é originário da utilização de animais nas lavouras para realização de tratamentos culturais, pois, nessa distância, o animal e os implementos podem passar sem causar danos às plantas ([MUNDSTOCK, 1977a](#)).

[Sangoi \(2000\)](#) relata que, dentro da sua família, o milho é a espécie que apresenta maior potencial produtivo, e sua produtividade é afetada por três fatores básicos: população de plantas, disponibilidade de água e nutrientes no solo e potencial genético da planta ([FLESCH; VIEIRA, 1999](#)). Segundo esses autores, a produtividade pode alcançar melhores índices com o aumento da densidade populacional até um ponto ótimo, a partir do qual quaisquer acréscimos no número de plantas terão efeitos negativos sobre o rendimento de grãos. Com o aumento na densidade populacional, a exploração dos recursos atinge um limite no qual o rendimento é máximo.

Além do aumento da densidade de plantas, outra forma de se melhorar a interceptação da radiação solar é por meio da redução no espaçamento entre linhas ([ARGENTA et al., 2001b](#)). O espaçamento entre linhas é um fator determinante na cultura do milho e, segundo [Andrade et al. \(2002\)](#), a resposta à redução do espaçamento entre linhas depende da interceptação da luz durante o período de enchimento dos grãos. Nessa fase, o ideal é que as plantas estejam distribuídas de forma equidistante para que a competição intra-específica por água, luz e nutrientes seja mínima ([LAUER, 1994](#)).

Segundo [Ottman e Welch \(1989\)](#), a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa exerce grande influência na produtividade do milho quando outros fatores ambientais são favoráveis.

A equação da lei de Beer estima a interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura como:

$$IPAR = PAR \times [1 - \exp(-k \times LAI)]$$

Onde: *PAR* é a radiação fotossinteticamente ativa, *k* é coeficiente de extinção da luz, e *LAI* é o índice de área foliar.

Para muitas culturas, pode-se calcular a interceptação da luz utilizando essa equação, sem ajustar o coeficiente *k* para os efeitos do espaçamento entre linhas (SPITTERS; AERTS, 1983; JONES; KINIRY, 1986; WILLIAMS et al., 1989; CHAPMAN et al., 1993) citados por [Flénet et al. \(1996\)](#),

porém, quando se utiliza o modelo de equação empírica de SORKAM, pode-se prever aumento da interceptação da luz quando se decresce o espaçamento entre linhas ([ROSENTHAL et al., 1989](#)). Muitas vezes, isso reflete em rendimento de grãos ([KARLEN; CAMP, 1985](#)). Esse incremento no rendimento de grãos resultante da utilização de menores espaçamentos é em razão da melhor distribuição de plantas na área, o que evita a excessiva competição por luz dentro da fileira, a qual somente ocorre quando a densidade de plantas é alta ([MUNDSTOCK, 1977a](#)). [Marchão et al. \(2006\)](#), em estudo avaliando o efeito da densidade de plantas em espaçamento reduzido entre linhas, demonstraram que, sob adensamento, mais de 70 % da atenuação da radiação fotossinteticamente ativa ocorreu na parte superior da planta, até a inserção da espiga. Ainda segundo esses autores, o adensamento promovido pelo aumento da densidade de plantas em espaçamento reduzido aumenta a capacidade do dossel do milho em interceptar melhor a radiação solar disponível em determinada área do solo.

A produção de grãos pode ser afetada durante o processo de diferenciação da espiga, causada por alterações hormonais. A competição por fotoassimilados entre órgãos da planta é um mecanismo hormonal que sofre influência da população de plantas e afeta o desenvolvimento da espiga antes do florescimento ([WILLSON; ALLISON, 1978](#)) citados por [Sangoi \(2000\)](#). A luz em alta intensidade pode causar oxidação e inativação da auxina ([SALISBURY; ROSS, 1992](#)), no entanto, sob altas densidades de plantas, há uma diminuição da inativação da auxina e grande concentração desse hormônio na região do pendão da planta, promovendo desbalanço na concentração hormonal entre a espiga e o pendão, prejudicando a formação da espiga ([SANGOI; SALVADOR, 1998](#)).

Um fator importante que sofre influência tanto da densidade de plantas quanto do espaçamento entre linhas é o índice de colheita, que expressa a síntese, a translocação, a partição e o acúmulo de produtos fotoassimilados. [Argenta et al. \(2001a\)](#) não encontraram resposta no índice de colheita em relação à redução do espaçamento em dois experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul, somente obtiveram resposta ao aumento da densidade em um dos experimentos em que foi utilizado o híbrido Cargill

901, um híbrido super precoce. A menor exigência em unidades térmicas desse híbrido para florescer faz com que esse genótipo normalmente produza sob condições similares de manejo menor número de folhas por planta e menor área foliar.

A densidade de plantas é uma das práticas culturais mais importantes para determinar a produção de grãos. Considerando que o milho é a espécie mais sensível a variações na densidade de plantas na família das gramíneas ([ALMEIDA; SANGOI, 1996](#)), o estande afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e o desenvolvimento e influencia na produção e partição de fotoassimilados ([CASAL et al., 1985](#)). Trabalhos realizados por [Johnson et al. \(1987\)](#) identificaram maior atividade fotossintética em folhas menores, quando comparadas com folhas maiores. Esse incremento deveu-se ao aumento da densidade estomatal, do conteúdo de proteínas e de clorofila e, conseqüentemente, da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>.

## **Evolução das práticas de manejo e dos híbridos comerciais**

A recomendação de arranjo de plantas em milho foi alterada ao longo do tempo, junto com as modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica, introduzidas na planta, e a evolução do manejo cultural ([ARGENTA et al., 2001b](#)). Incrementos lineares no rendimento de grãos ocorreram no cinturão do milho norte americano, nos últimos 70 anos, em razão do início de comercialização de híbridos duplos na década de 1930 e dos híbridos simples em meados da década de 1960 ([RUSSEL, 1991](#)). No Brasil, as grandes alterações no arranjo de plantas de milho ocorreram a partir da década de 1940, com a utilização de híbridos duplos ([PATERNIANI, 1993](#)). A utilização de híbridos permitiu maior uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas, avanços no manejo da cultura e aumento da densidade de plantas.

Os efeitos do aumento da população de plantas sobre o rendimento de grãos estão condicionados ao suprimento de outros fatores de produção ([SILVA, 2002a](#)). Os resultados pouco promissores com relação ao aumento da população de plantas caracterizam-se por terem sido obtidos sob baixos

níveis de rendimento de grãos, em que outros fatores de produção foram limitantes ao aumento do rendimento de grãos. Dentre os fatores apontados como causa desses baixos rendimentos e limitantes ao uso de altas populações de plantas, destaca-se o suprimento de nutrientes ([RUSSELL, 1991](#); [SANGOI, 1990](#)), temperatura e principalmente água ([MUNDSTOCK, 1978](#); [SILVA, 2002b](#)).

A cultura do milho está entre aquelas que apresentaram maiores incrementos no seu rendimento de grãos nas últimas décadas, entretanto não se verificou aumento significativo na eficiência de acumulação de matéria seca nos grãos ([SINCLAIR, 1998](#)). A pequena alteração do índice de colheita (IC) indica que o ganho genético foi consequência do aumento da acumulação de matéria seca (MS) pelo dossel da cultura ([TOLLENAAR; WU, 1991](#); [SINCLAIR, 1998](#)). Esse aumento na capacidade de acúmulo de matéria seca pela comunidade de plantas só foi possível porque elas suportam densidades elevadas, sem diminuir drasticamente a emissão e a manutenção das espigas ([TOLLENAAR; WU, 1991](#)).

De acordo com [Donald \(1968\)](#), ideotipo é um termo que não pode ser considerado fixo, ou seja, não há um ideotipo para todos os ambientes, mas sim um para cada ambiente e para cada objetivo de cultivo. Um aspecto polêmico da proposta desse autor é o que se refere à capacidade competitiva. Sua definição diz que o melhor tipo de planta seria aquela que fosse um competidor fraco, mas isso não implica que se tenha que selecionar plantas inviáveis ou com baixa capacidade produtiva. Conforme [Donald \(1968\)](#), as plantas que apresentassem menor competição intra-específica poderiam formar comunidades de plantas mais produtivas. O conceito de competidor fraco é chave na utilização do seu modelo analítico. Assim, a obtenção de plantas com elevada fitomassa e alto índice de colheita, que possibilitem elevado rendimento de grãos, só é possível com materiais de menor competição intra-específica.

Segundo essa teoria, as características de um competidor fraco são: (i) tolerância a plantas da mesma espécie em alta densidade; (ii) mínimo investimento em estruturas morfológicas; (iii) capacidade de resposta às melhorias do ambiente.

Existem algumas características que são favoráveis para o desenvolvimento de plantas em comunidade ([ALMEIDA et al., 1998](#)), e essas características irão determinar o rendimento potencial da cultura no ambiente em que ela se encontra. Para Loomis e Willians (1963), essa definição de rendimento potencial considera valores de radiação global, e por essa razão os resultados calculados para rendimento são elevados e ainda distantes da atual realidade.

O crescimento inicial é uma característica que está diretamente ligada ao aproveitamento da radiação solar disponível no início do ciclo das culturas, pois é o subperíodo de desenvolvimento que apresenta menor absorção da radiação pela comunidade. Para a cultura do milho, esse é um fator determinante, pois o crescimento inicial lento é uma característica das plantas de milho, sobretudo nos espaçamentos entre linhas tradicionalmente utilizados. Isso mostra que, no início do ciclo do cultivo, o desperdício de energia luminosa é muito grande. Nesse sentido, plantas com maior crescimento inicial, que cobrem mais rapidamente o solo, se beneficiam com maior captação de energia.

Outra característica importante para plantas em uma comunidade é a produção de fitomassa. A obtenção de maior ganho de fitomassa na comunidade nem sempre significa selecionar plantas mais vigorosas, mas sim plantas que, em densidade adequada, manifestem o seu crescimento máximo. Ao mesmo tempo, elas devem permitir que as plantas vizinhas também possam manifestar essa característica.

O rendimento de grãos pode ser incrementado maximizando a eficiência fotossintética da comunidade. Esta pode ser conseguida pela melhoria da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela comunidade, pela eficiente conversão da radiação interceptada em matéria seca e pela partição de fotoassimilados nos órgãos reprodutivos. A manipulação do tamanho da folha é uma forma alternativa de aumentar a fixação de  $\text{CO}_2$  por área. A folha de tamanho reduzido, uma característica de fácil manipulação pelos melhoristas, pode estar melhorando a qualidade da luz dentro da comunidade e aumentando a eficiência das folhas em converter  $\text{CO}_2$  em fitomassa.

A introdução de híbridos com alto potencial produtivo, o incremento na utilização de fertilizantes, o desenvolvimento de novos herbicidas para controle de plantas invasoras, além de outros fatores, estimularam o uso de altas densidades de plantas no milho ([RUSSELL, 1991](#)). Com a utilização de altas densidades de plantas, ficou claro que a distribuição das plantas dentro da linha prejudicava a expressão do potencial produtivo das novas cultivares ([SANGOI, 2000](#)). A redução do espaçamento das linhas é uma maneira possível de se obter um espaçamento equidistante entre as plantas de milho ([LAUER, 1994](#)), e essa redução pode ser uma maneira eficiente de se utilizar a luz disponível e de se manter o solo úmido por mais tempo ([BULLOCK et al., 1998](#)).

Os híbridos de milho modernos não são cultivados sob baixas densidades, pois produzem somente uma espiga por planta, contudo o uso de altas populações de plantas aumenta a competição intra-específica por luz, água e nutrientes. De acordo com [Flesch e Vieira \(1999\)](#), há mais de uma década, houve a preocupação de se obter plantas de milho com diferentes arquiteturas, de menor porte e folhas mais eretas, as quais tornariam possíveis uma semeadura mais densa e aumentos na produtividade.

## **Aumento da população como forma de potencializar o rendimento de grãos**

Os fatores limitantes da produtividade de determinada cultura podem ser melhor compreendidos se o potencial máximo de rendimento for conhecido. No entanto, o ambiente impõe uma série de limitações para que o genótipo expresse o seu potencial, fazendo com que o rendimento obtido, freqüentemente, seja menor que o potencial esperado. O potencial de rendimento pode ser definido como o rendimento obtido quando a planta é cultivada em ambiente ao qual está adaptada, com nutrientes e água não limitantes, e com insetos, doenças, plantas invasoras, excessos hídricos e outros estresses efetivamente controlados.

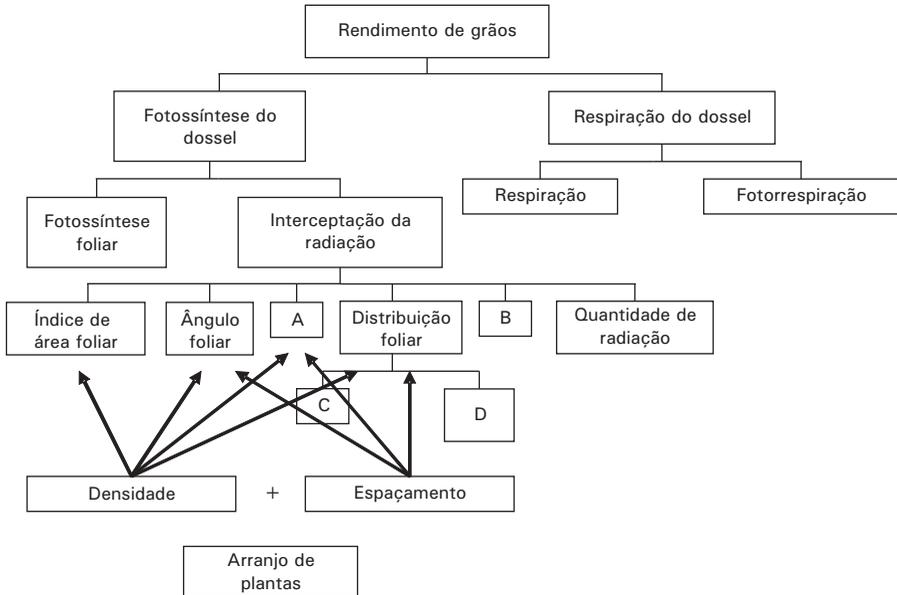
Além de fatores genéticos, a produtividade depende das condições de solo e de clima, particularmente da radiação solar. A utilização da luz é o processo mais importante para a produtividade, porque é pela fotossíntese

que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos. A quantidade de energia convertida e, portanto, a quantidade de massa seca produzida, depende da porcentagem de absorção e da eficiência de utilização da energia absorvida.

A eficiência de utilização da radiação solar pelas culturas é baixa. Em milho, o arranjo de plantas constitui-se em prática de manejo importante para potencializar o rendimento de grãos. A [Fig. 1](#) ilustra a interação entre diferentes fatores que afetam a produtividade final da cultura. Observa-se que o rendimento de grãos é dependente da fotossíntese e da respiração do dossel. Por sua vez, a fotossíntese do dossel é função da fotossíntese da folha e da interceptação da radiação solar. Já, a interceptação da radiação solar é influenciada pelo índice de área foliar, ângulo da folha, interceptação de luz por outras partes da planta, distribuição de folhas, características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente.

Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação de radiação solar, que é um dos principais fatores determinantes da produtividade ([OTTOMAN; WELCH, 1989](#); [LOOMIS; AMTHOR, 1999](#)). Alguns pesquisadores observaram produtividades superiores com o aumento da população de plantas e com a diminuição do espaçamento entre fileiras.

Em trabalhos realizados na Região Sul do Brasil, para determinar a densidade ótima de plantas em híbridos de milho com elevado potencial de rendimento de grãos ([MUNDSTOCK, 1977b](#); [SILVA et al., 1999](#); [FLESCHE; VIEIRA, 1999](#); [ALMEIDA et al., 2000](#)), os máximos rendimentos foram obtidos com densidades iguais ou superiores a 8 plantas  $m^{-2}$ , evidenciando que a recomendação de densidade de até 7 plantas  $m^{-2}$  pode ser ampliada para 8 plantas  $m^{-2}$ , em ambientes favoráveis para obtenção de altos tetos de rendimento de grãos e com híbridos tolerantes ao acamamento ([ALMEIDA et al., 2000](#)).



- A - Intercepção de luz por outras partes da planta
- B - Características de absorção de luz pela folha
- C - Arranjo de folhas na planta
- D - Arranjo de plantas no espaço

Fig. 1. Fluxograma dos fatores que afetam o rendimento de grãos. Adaptado de [Gardner et al. \(1985\)](#).

Os incrementos potenciais no rendimento de grãos de milho obtidos com o uso de espaçamentos menores (0,7 m a 0,5 m) do que os convencionalmente utilizados variam de 5 % a 10% ([MUNDSTOCK, 1977a](#)). [Argenta et al. \(2001a\)](#) verificaram que o efeito da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos dependeu do híbrido utilizado e da densidade de plantas. Em um dos experimentos, o rendimento de grãos aumentou linearmente com redução do espaçamento de 1,0 para 0,4 metro para o híbrido Cargill 901 (incremento de 716 kg ha<sup>-1</sup> para cada 20 cm de redução no espaçamento, para os híbridos C 901 e XL 214), na densidade de 5 plantas m<sup>-2</sup>.

[Mundstock \(1978\)](#), analisando os efeitos dos espaçamentos entre linhas (50 cm, 80 cm e 110 cm) combinados a quatro populações de plantas em um híbrido de milho precoce, concluiu que os espaçamentos não afetaram a produção de grãos no primeiro experimento em virtude da deficiência hídrica que ocorreu no período de polinização. Em um segundo experimento, o espaçamento de 50 cm foi superior em rendimento de grãos nas populações de 7 e 9 plantas/m<sup>2</sup>. Concluiu também que os efeitos benéficos pelos menores espaçamentos foram ocasionados possivelmente pelo melhor aproveitamento da luz no período de enchimento de grãos, o que concorreu para o maior peso individual de espigas e que, aparentemente, a pressão de competição imposta pelas diferentes distâncias entre linhas não é muito forte até a época de polinização.

[Westgate et al. \(1997\)](#) conduziram um experimento no Norte dos Estados Unidos (*northern US corn belt*) para avaliar se a interceptação da luz limitava o potencial produtivo das plantas de milho de acordo com o arranjo e testaram dois híbridos em dois espaçamentos entre linhas (0,76 m e 0,38 m) e quatro populações (4,9; 7,4; 9,9 e 12,4 plantas m<sup>2</sup>). Não houve diferença para espaçamentos entre linhas utilizados quando se aumentou a população, tanto para a produtividade quanto para o índice de colheita. A produção de grãos do híbrido de menor porte (Cargill P.A.G. SX 123) foi sempre menor que o de maior porte (Pioneer 3790), ocasionada pela menor eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, em fitomassa. Esses resultados indicaram que, para o nordeste do *corn belt* americano, o acréscimo na densidade populacional de plantas foi o principal fator de aumento de rendimento de grãos, provavelmente pelo fechamento mais rápido do dossel da cultura, o que explica o maior aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura.

[Merotto Júnior et al. \(1997a\)](#), avaliando a resposta do aumento de população de plantas em diferentes densidades e redução do espaçamento (75 cm e 100 cm), concluíram que o espaçamento entre linhas não afetou o rendimento de grãos e os componentes de rendimento e que a variação de população de plantas de 3,7 a 8,1 plantas m<sup>-2</sup> aumentou linearmente o

rendimento de grãos de 7.500 para 10.000 kg ha<sup>-1</sup>. Segundo esses autores, esse aumento ocorreu em virtude do maior número de espigas por área, o que compensou a redução do peso do grão e do número de espigas por planta; o uso de altas populações demonstrou-se viável para aumentar o rendimento de grãos de milho.

[Argenta et al. \(2001a\)](#) analisaram dois híbridos de milho semeados em quatro espaçamentos entre linhas (40 cm; 60 cm; 80 cm e 100 cm) e duas populações (5 e 6 plantas m<sup>-2</sup>) e concluíram que a produtividade de grãos é influenciada pela redução do espaçamento entre linhas e pela densidade de plantas. O aumento do rendimento de grãos é decorrente da melhor distribuição de plantas na linha com redução do espaçamento entre linhas, verificado principalmente em híbridos de ciclo super precoce.

[Brustolin et al. \(2001\)](#) analisaram em condições de safrinha os efeitos de espaçamentos entre linhas (50 cm; 60 cm; 70 cm e 90 cm) sobre os componentes de produção e rendimento de grãos, e concluíram que o espaçamento entre linhas não influenciou no desenvolvimento e produtividade de grãos.

[Gonçalves \(2003\)](#), em estudo conduzido sob solo de Cerrado, avaliou o efeito de quatro espaçamentos entre linhas (36 cm; 45 cm; 60 cm e 90 cm), em três épocas de semeadura (verão, safrinha e entressafra irrigado), utilizando cinco híbridos comerciais (Fort; P 30K75; PL 6880; PL 6410 e DKB 333B) e concluiu que os componentes de produção não sofreram influência significativa do espaçamento e somente houve diferença entre as épocas. Concluiu também que o espaçamento de 60 cm entre linhas apresentou vantagens de ordem prática e agrônômica para o cultivo de milho.

[Marchão et al. \(2005\)](#) demonstraram que, sob espaçamento reduzido entre linhas (45 cm), os valores médios de altura de inserção da espiga, altura da planta, acamamento, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, diâmetro do sabugo, número de grãos por fileira, massa de cem grãos e produtividade sofrem influência significativa da densidade de plantas.

Ainda, segundo os autores, em dois experimentos conduzidos em diferentes locais, as maiores produtividades foram alcançadas com densidades acima de 70 mil plantas por hectare.

Dessa forma, os estudos conduzidos para identificar a densidade ideal de plantas objetivam determinar o número de plantas que é capaz de explorar de maneira mais eficiente e completa uma determinada área do solo ([MUNDSTOCK, 1977a](#); [SILVA et al., 1995](#); [ALMEIDA](#); [SANGOI, 1996](#)).

## **Fatores que influenciam na escolha do arranjo de plantas**

A população de milho para máxima produção econômica varia entre 40.000 e 90.000 plantas por hectare ([ARGENTA et al., 2001b](#)). A recomendação da população ótima varia dependendo dos fatores ambientais bem como de outros fatores controláveis, como fertilidade do solo, híbrido escolhido, época de plantio e arquitetura de planta, entre outros. A disponibilidade de água é, provavelmente, o principal fator que afeta a escolha da densidade ótima de plantas ([LOOMIS](#); [CONNORS, 1992](#)).

Dentre as principais características que afetam a escolha de uma densidade populacional ótima, podemos destacar: (i) ciclo da cultivar e sistema de cultivo; (ii) época de plantio; (iii) disponibilidade de água; (iv) espaçamento entre linhas.

Geralmente, híbridos precoces requerem altas densidades para produção máxima, quando comparados com híbridos tardios ([TOLLENAAR, 1992](#)). Isso ocorre porque híbridos precoces são normalmente mais baixos, produzem menos folhas e têm menor área foliar por planta que as cultivares tardias. Contudo, para híbridos precoces é necessário elevado número de plantas por área para aumentar o índice de área foliar e promover o máximo de interceptação da radiação solar, um recurso essencial para maximizar o rendimento de grãos ([SANGOI et al., 2001](#)).

Considerando todos os outros fatores ambientais constantes, sementeiras mais cedo usualmente requerem altas populações para maximizar o

rendimento de grãos, particularmente em regiões temperadas e subtropicais. O período entre a emergência e a antese de um híbrido semeado em agosto pode se prolongar por duas semanas, se comparado com a mesma cultivar plantada em dezembro na Região Sul do Brasil ([SANGOI, 1993](#)).

A disponibilidade de água é provavelmente o mais importante fator incontrolável que afeta a escolha da população ótima de plantas no milho cultivado em sistemas convencionais. A precipitação, a umidade do solo e a população de plantas interagem, principalmente, nos primeiros estádios de desenvolvimento das plantas, quando o crescimento é rápido. O efeito final dessa interação sobre a produtividade é determinado pelo nível de disponibilidade de água no solo nos períodos críticos, onde a demanda é maior, e pela quantidade e distribuição da precipitação durante esse período e também pela quantidade de água transpirada pelo dossel.

Incrementos na densidade de plantas aumentam o índice de área foliar e, conseqüentemente, o consumo de água. No entanto, a utilização de altas densidades sob limitação de água submete as plantas a estresse hídrico e reduz significativamente a produção de grãos, especialmente quando esse estresse coincide com o período de duas a três semanas antes do florescimento ([WESTGATE, 1994](#)). Conseqüentemente, é extremamente importante considerar o suprimento de água para definir a população ótima para cada região e sistema de cultivo.

Outro fator que afeta a escolha do arranjo de plantas é a forma de uso do milho, bem como o nível tecnológico da propriedade. Para a produção de grãos, o arranjo de plantas recomendado depende do tipo de cultivar e das condições de manejo. Com relação à redução do espaçamento entre linhas, os maiores benefícios em termos de rendimento de grãos são obtidos quando o teto de produtividade é superior a  $6 \text{ t ha}^{-1}$  e a densidade utilizada é maior que  $4 \text{ plantas m}^{-2}$ . Ademais, a redução do espaçamento entre linhas é mais efetiva, quando utilizados híbridos de menor porte, pois eles demoram a fechar o espaço entre linhas e, muitas vezes, nem conseguem sombrear toda a área ([ARGENTA et al., 2001a](#); [GONÇALVES, 2003](#)).

Alguns trabalhos mostram que densidades mais elevadas só devem ser recomendadas sob condições de alta precipitação pluvial ou sobre irrigação e com alto nível de manejo. Entretanto, a redução do espaçamento entre linhas é uma prática que pode ser adotada, quando existe grande probabilidade de deficiência hídrica, mantendo-se constante a densidade de plantas. Essa medida pode diminuir a competição entre plantas por água, em razão da sua distribuição mais equidistante ([JOHNSON et al., 1998](#)), podendo ser de grande importância para o milho cultivado na “safrinha”, sobretudo na região do Cerrado, onde o déficit hídrico é o principal fator limitante de produtividade.

[Penariol et al. \(2003\)](#), em trabalho conduzido na “safrinha”, para avaliar o desempenho agrônômico de duas cultivares de milho com características contrastantes, um híbrido simples modificado e uma variedade, concluíram que o espaçamento entre linhas de 40 cm apresentou maior produtividade para as duas cultivares, e que a população de 80 mil plantas por hectare proporcionou maior produtividade para o híbrido, enquanto, para a variedade, a maior produtividade foi utilizando 70 mil plantas por hectare.

A necessidade nutricional das plantas é outro aspecto a ser considerado na escolha do arranjo de plantas em milho, pois a cultura é muito exigente em fertilidade de solo. Trabalhos com genótipos, densidades de plantas e níveis de nitrogênio evidenciam que à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessárias maiores doses de nitrogênio ([AMARAL FILHO et al., 2005](#); [GROSS et al., 2006](#); [SHAPIRO; WORTMANN, 2006](#)). Todavia, com baixa disponibilidade desse nutriente, na qual se espera menor rendimento de grãos, a densidade recomendada deve ser reduzida ([MUNSDSTOCK, 1977b](#); [PEIXOTO et al., 1996](#)).

## **Alterações no sistema produtivo e benefícios indiretos das modificações**

Além dos efeitos observados na cultura do milho, maiores populações de plantas com melhor distribuição na área podem aumentar sua competitividade com as plantas invasoras, a partir da maior quantidade de luz que é interceptada pelo dossel da cultura ([TEASDALE, 1995](#)).

O manejo integrado de plantas invasoras na cultura do milho é caracterizado pela adoção de técnicas que visam à racionalização do uso de herbicidas. Dentre as técnicas utilizadas, podem ser destacadas cultivares mais competitivas, irrigação e menores espaçamentos ([MEROTTO JÚNIOR et al., 1997b](#)).

Com a ampliação do uso de herbicidas pós-emergentes no controle de plantas invasoras no sistema de plantio direto, a utilização dos espaçamentos convencionais tem sido questionada, uma vez que espaçamentos menores, teoricamente, favorecem o fechamento da cultura e, conseqüentemente, a eficiência da planta na competição com plantas invasoras. O uso constante de herbicidas pós-emergentes tem provocado um aumento na resistência das plantas, pois tradicionalmente os herbicidas utilizados na cultura do milho nessas condições são de baixa eficiência. Diversos trabalhos têm relatado resistência de espécies do gênero *Bidens* spp. a herbicidas de diferentes grupos químicos ([GAZZIERO et al., 2003](#); [DUARTE et al., 2007](#)).

A interferência de plantas invasoras sobre o rendimento de grãos é variável durante o ciclo da cultura. Essa variação é atribuída às diferentes condições de fertilidade e umidade do solo, à época de cultivo, à cultivar, ao arranjo e à população de plantas ([MEROTTO JÚNIOR et al., 1997a](#)). A adoção de elevadas populações de plantas pode possibilitar o uso mais eficiente de água, luz e nutrientes pelas plantas de milho e, assim, atuar como mais um método a ser utilizado no manejo integrado de plantas invasoras ([TEASDALE, 1995](#); [BALBINOT JÚNIOR](#); [FLECK, 2005](#)).

Merotto Júnior et al. (1997b), em trabalho realizado para avaliar a capacidade de controle de plantas invasoras, efetuada pelo aumento da população de plantas de milho em associação com diferentes métodos de controle, concluíram que o aumento da população de plantas foi mais efetivo na diminuição da matéria seca de plantas daninhas nos tratamentos sem controle e com herbicida em pré-emergência. Concluíram também que o uso de altas populações de plantas diminui a competição com plantas invasoras, mas deve ser complementado com outros métodos de controle no início do desenvolvimento da cultura.

[Teasdale \(1998\)](#) avaliou a influência de três populações de plantas (6,4; 9,6 e 12,8 plantas m<sup>-2</sup>) e dois espaçamentos entre linhas (38 cm e 76 cm) no estabelecimento de plantas invasoras e concluiu que a produção de sementes de *Abutilon theophrasti* foi reduzida em 99 % na população de 12,8 plantas m<sup>-2</sup>.

[Johnson et al. \(1998\)](#), em trabalho realizado para avaliar o potencial de redução do uso de herbicidas utilizando menores espaçamentos entre linhas, observaram que o espaçamento entre linhas apresentou pouco efeito no controle de *Setaria faberi* Herrm. e *Ambrosia artemisiifolia* L.. Concluíram também que incrementos em produtividade e o controle efetivo de plantas invasoras utilizando menores espaçamentos entre linhas são dependentes da escolha correta do híbrido, da população de plantas e do espectro de plantas invasoras presente.

[Argenta et al. \(2000\)](#) avaliaram os efeitos da utilização de menores espaçamentos entre linhas (40 cm e 80 cm) e de menores doses de herbicidas sobre o controle de papuã (*Brachiaria plantaginea* L.) e não encontraram diferença entre os dois espaçamentos testados, no entanto, ao avaliarem a evolução no controle das plantas de papuã, verificaram maior supressão no seu desenvolvimento no espaçamento reduzido.

A economia de água em espaçamentos menores também pode contribuir para aumentos na produção de grãos ([MUNDSTOCK, 1978](#)), quando a disponibilidade hídrica é limitada. A distribuição mais equidistante das plantas provoca o sombreamento do solo em menor espaço de tempo, diminuindo a evaporação e, com isso, haverá maior disponibilidade de água para a comunidade, e a eficiência de utilização é incrementada.

[Mannering e Johnson \(1969\)](#), em trabalho realizado para avaliar o efeito do espaçamento entre linhas sobre a erosão e a infiltração de água no solo, concluíram que, para a cultura do milho, a redução do espaçamento entre linhas apresentou pouco efeito de cobertura do solo e sobre a erosão nas primeiras cinco semanas após a semeadura, porém, após a sétima e a oitava semana, a cobertura do solo foi incrementada significativamente, e a erosão foi reduzida em 24 % quando foi utilizado o espaçamento de 51 cm.

[Karlen e Camp \(1985\)](#) avaliaram o efeito de dois espaçamentos e duas populações de plantas no comportamento do potencial de água no solo durante 3 anos e concluíram que a disponibilidade de água e a população de plantas interagem significativamente sobre a produção de grãos, quando ocorre um déficit hídrico.

## Considerações finais

Os principais resultados de pesquisas com arranjo de plantas revelam que as maiores produtividades são obtidas com densidades acima de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os resultados demonstram que em lavouras tecnificadas, que atualmente utilizam populações entre 40 e 70 mil plantas ha<sup>-1</sup>, o ambiente e o potencial dos genótipos de milho modernos podem estar sendo subutilizados. Isso permite inferir que a utilização de cultivares de milho de menor porte, associada à utilização de menores espaçamentos entre linhas, deve ser acompanhada de incrementos na densidade de plantas, especialmente em lavouras de alto nível tecnológico e em regiões com características climáticas favoráveis.

Resultados de pesquisa também têm demonstrado que híbridos de ciclo precoce e porte baixo têm conseguido alcançar altos níveis de produtividade quando cultivados em espaçamento reduzido e com altas densidades de plantas. Esses resultados corroboram as afirmações de que genótipos de milho de menor porte, menor número de folhas e de folhas eretas apresentam maior capacidade de acúmulo de matéria seca no dossel, sem com isso reduzirem drasticamente a emissão e a manutenção das espigas pelas plantas.

A determinação de populações ótimas de planta para os híbridos modernos mostra que, sob populações ideais, há uma diminuição do percentual de plantas estéreis, encurtamento do subperíodo pendramento-espigamento, maior produção de espigas por área e maior resistência ao acamamento e quebraimento de plantas. Contudo, o pendão com tamanho reduzido, folhas eretas, baixa estatura, baixa altura de inserção da espiga e uniformidade são características agrônômicas desejáveis para se conhecer o grau de adaptabilidade de um híbrido a altas densidades.

## Referências

ALMEIDA, M. L. de; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.

ALMEIDA, M. L. de; MUNDSTOCK, C. M.; SANGOI, L. Conceito de ideotipo e seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 325-332, 1998.

ALMEIDA, M. L. de; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, 1996.

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 467-473, 2005.

ANDRADE, F. H.; CALVIÑO, P.; CIRILO, A.; BARBIERI, P. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 975-980, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001a.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001b.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Redução da dose de herbicida utilizada na cultura do milho através da adoção de menor espaçamento entre linhas. In: REUNIÃO ANUAL DO MILHO, 45.; REUNIÃO ANUAL DO SORGO, 28., 2000, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 702-710. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 70).

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 415-421, 2005.

BRUSTOLIN, R.; FEY, E.; GABRIEL FILHO, A.; CONTIERO, R. Desenvolvimento e rendimento de milho safrinha cultivados em diferentes espaçamentos entre linhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 3., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean responses to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 4, p. 1011-1016, 1998.

CARMO, R. L. do; GUIMARÃES, E.; AZEVEDO, A. M. M. de. Agroindústria, população e ambiente no sudoeste de Goiás. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: [s.n.], 2002.

CASAL, J. J.; DEREGIBUS, V. A.; SÁNCHEZ, R. A. Variations in tiller dynamics and morphology in *Lolium multiflorum* Lam. Vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far-red irradiation. **Annals of Botany**, London, v. 56, p. 533-559, 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **12º levantamento de grãos 2006/2007**. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/boletim12\\_safra.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/boletim12_safra.pdf) > . Acesso em: 29 set. 2007.

DONALD, C. M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 17, p. 385-403, 1968.

DUARTE, A. P.; SILVA, A. C.; DEUBER, R. Plantas infestantes em lavouras de milho safrinha, sob diferentes manejos, no médio Paranapanema. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 285-291, 2007.

FLÉNET, F.; KINIRY, J. R.; BOARD, J. E.; WESTGATE, M. E.; REICOSKY, D. C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 2, p. 185-190, 1996.

FLESCH, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamento e população de plantas na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 28-31, 1999.

GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University, 1985. 327 p.

GAZZIERO, D. L. P.; PRETE, C. E. C.; SUMIYA, M. Manejo de *Bidens subalternans* resistente aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.283-291, 2003.

GONÇALVES, S. L. S. **Efeitos de espaçamentos e épocas de plantio sobre caracteres agrônômicos de híbridos de milho**. 2003. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

JONHSON, G. A.; HOVERTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

JONHSON, R. C.; KEBEDE, H.; MORNHINWEG, D. W.; CARVER, B. F.; RAYBURN, A. L.; NGUYEN, H. T. Photosynthetic differences among *Triticum* accessions at tillering. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 5, p.1046-1050, 1987.

KARLEN, D. L.; CAMP, C. R. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 393-398, 1985.

LAUER, J. Should I be planting my corn at 30-inch row spacing? **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v. 1, n. 6, p. 311-314, 1994.

LOOMIS, R. S.; AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1584-1596, 1999.

LOOMIS, R. S.; CONNORS, D. J. **Crop ecology**: productivity and management in agricultural systems. Cambridge: Cambridge University, 1992. 550 p.

LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v. 3, n.1, p. 67-72, 1963.

MANNERING, J. V.; JOHNSON, C. B. Effect of crop row spacing on erosion and infiltration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 902-905, 1969.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MEROTTO JÚNIOR, A.; ALMEIDA, M. L. de; FUCHS, O. Aumento do rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.17, n.4, p. 549-554, 1997a.

MEROTTO JÚNIOR, A.; GUIDOLIN, A. F.; ALMEIDA, M. L. de. Aumento da população de plantas e uso de herbicida no controle de plantas daninhas em milho. **Planta daninha**, Londrina, v.15, n.2, p.141-151, 1997b.

MUNDSTOCK, C. M. Efeito do espaçamento entre linhas e da população de plantas de milho (*Zea Mays* L.) do tipo precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 13, n.1, p. 13-18, 1978.

MUNDSTOCK, C. M. Milho: distribuição da distância entre linhas. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, n. 299, p. 28-29, 1977a.

MUNDSTOCK, C. M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1977b. 76 p. (Boletim Técnico).

OTTMAN, M. J.; WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p. 167-174, 1989.

PATERNIANI, E. Métodos tradicionais de melhoramento do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 23-44.

PEIXOTO, C. M.; SILVA, P. R. F. da; REZERA, F.; CARMONA, R. C. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo de água e de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 3, n.1, p. 63-71, 1996.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

ROSENTHAL, W. D.; VANDERLIP, R. L.; JACKSON, B. S.; ARKIN, G. F. **SORKAM**: A grain sorghum crop growth model. College Station: Texas Agricultural Experiment Station, 1989.

RUSSEL, W. A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Cambridge, v. 46, n. 1, p. 245-298, 1991.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth, 1992. 681 p.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. de; LECH, V. A.; GRACIETTI, L. C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, abr./jun. 2001.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2000.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Effect of maize detasseling on grain yield tolerance to high plant density and drought stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 677-684, 1998.

SANGOI, L. Aptidão dos campos de Lages (Santa Catarina) para produção de milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 51-63, 1993.

SANGOI, L. Arranjo de plantas e características agronômicas de genótipos de milho em dois níveis de fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 7, p. 943-945, 1990.

SHAPIRO, C. A.; WORTMANN, C. S. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in Eastern Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 529-535, 2006.

SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; STIPP, O. J.; SILVEIRA, J. C. M.; BAHLS, L. C.; FILHO, A. G. Produtividade de milho (*Zea mays* L.) em diferentes espaçamentos entre linhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **A engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável: água, energia e meio ambiente: [anais]**. Salvador: SBEA: UFBA, 2002a. 1 CD-ROM.

SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H.; GERMINO, R.; MAHL, D.; SILVA, P. R. A. Avaliação de cultivares de milho sob diferentes espaçamentos entre linhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **A engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável: água, energia e meio ambiente: [anais]**. Salvador: SBEA: UFBA, 2002b. 1 CD-ROM.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho à densidade de plantas, em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 585-595, 1999.

SILVA, P. F. R. da; RIZZARDI, M.; TREZZI, M. M.; ALMEIDA, M. L. de. Densidade e arranjo de plantas em girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 797-810, 1995.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 2, p. 638-643, 1998.

TEASDALE, J. R. Influence of corn (*Zea mays*) population and row spacing on corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) yield. **Weed Science**, Champaign, v. 46, n. 4, p. 447 – 453, 1998.

TEASDALE, J. R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 1, p. 113-118, 1995.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 305-311, 1992.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1597-1604, 1991.

WESTGATE, M. E. Seed formation in maize during drought. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G. M. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. cap. 15, p. 361-364.

WESTGATE, M. E.; FORCELLA, F.; REICOSKY, D. C.; SOMSEN, J. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, p. 249-258, 1997.

# Maize cultivation under high plant density: an alternative to maximize grain yield

---

## Abstract

*The increment on plant density in narrow row spacing resulted in a greater absorption of photosynthetic active radiation particularly in tropical environments as in the Cerrado Biome. This review aims to analyze the main factors that affect plant arrangement definition in maize, the changes in plant arrangement recommendation and, the modification in plant traits that favored such changes. The choice of plant arrangement in the field must take into account cultivar, grower objective, input availability, planting date and disponibile farmer structure. The association between better crop management and highly productive hybrids favored the increase in plant density and reduction in row spacing. Most of research results showed that grain yield was increased for plant densities higher than 70,000 plants per hectare, indicating that the use of narrow row spacing associated to the presence of shorter plant stature hybrids, favors enhancements in plant density. In general, the results also shows that the grain yield was significantly affected by the interaction between hybrid and plant density in different fields. This indicates that, depending of the hybrid, the reduction of row spacing to 0.45 m is a managing practice that allows an increment in the sowing density.*

*Index terms: Maize canopy, plant density, row spacing, light attenuation.*