

Milho: Redução do Espaçamento Entre Linhas: Uma Adoção Tecnológica



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

Documentos 163

Milho: Redução do Espaçamento Entre Linhas: Uma Adoção Tecnológica

Israel Alexandre Pereira Filho
José Carlos Cruz
Décio Karam

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

Home page: www.cnpms.embrapa.br

E-mail: cnpms.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Dagma Dionísia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro, Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa:

1ª edição

1ª impressão (2013): on line

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 Milho e Sorgo**

Pereira Filho, Israel Alexandre.

Milho: redução do espaçamento entre linhas: uma adoção tecnológica / Israel Alexandre Pereira Filho, José Carlos Cruz, Décio Karam. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

126 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 163).

1. *Zea mays*. 2. Plantio. 3. Densidade de semeadura. I. Cruz, José Carlos. II. Karam, Décio. III. Título. IV. Série.

CDD 633.15 (21. ed.)

© Embrapa 2013

Autores

Israel Alexandre Pereira Filho

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, israel.pereira@embrapa.br

José Carlos Cruz

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Fitotecnia e Manejo de Solos, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, josecarlos.cruz@embrapa.br

Décio Karam

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Plantas Daninhas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, decio.karam@embrapa.br

Apresentação

Este trabalho de revisão sobre a redução do espaçamento entre linhas do milho reúne dados desde o ano de 1900, quando já se tinha em mente melhorias no arranjo de plantas, especialmente no que se referia às variações no espaçamento na linha de plantio, ou seja, o que atualmente se denomina de densidade populacional ou de semeadura.

O trabalho procurou reunir os resultados das variações do espaçamento entre linhas do milho e suas influências na produtividade, na densidade de semeadura, captação de luz, doenças, plantas daninhas, dentre outras variáveis, ao longo dos anos, mostrando a evolução do arranjo de planta em milho, por meio da redução do espaçamento, sem deixar de mencionar a evolução de outros segmentos da cadeia produtiva do milho, em especial o melhoramento genético, que desenvolveu cultivares mais adaptadas aos cultivos mais densos e em espaçamentos mais reduzidos, bem como a evolução do setor de máquinas e equipamentos agrícolas, que permite o plantio e a colheita do milho semeado em espaçamento reduzido.

Antonio Alvaro Corsetti Purcino
Chefe-Geral
Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Apresentação	4
Introdução	7
Histórico e Perspectivas	8
Influência da Redução do Espaçamento no Rendimento de Grãos.....	15
Influência do Espaçamento Reduzido na Interceptação da Luz pelas Plantas.....	31
Redução do Espaçamento e Densidade de Semeadura.....	38
Redução do Espaçamento no Manejo das Plantas Daninhas	55
Redução do Espaçamento e sua Influência nas Doenças do Milho ..	70
Influência da Redução do Espaçamento na Qualidade da Semente .	78
Redução do Espaçamento no Controle da Erosão Superficial do Solo.....	80
Redução do Espaçamento Influenciando a Produção de Milho Forragem	84
Influência do Espaçamento Reduzido no Milho Safrinha	92
Análise Sobre Aquisição de Plataformas para Adoção do Espaçamento Reduzido	101
Considerações Finais	105
Referências	108

Milho: Redução do Espaçamento Entre Linhas: Uma Adoção Tecnológica

Israel Alexandre Pereira Filho

José Carlos Cruz

Décio Karam

Introdução

O arranjo de plantas tem sofrido modificações ao longo do tempo, visando a melhoria da produtividade de grãos, especialmente da cultura do milho. O aprimoramento do arranjo ou do manejo cultural tem se mostrado cada vez mais eficiente com a tecnologia da redução do espaçamento entre linhas. É recomendável que o uso desta tecnologia só deva ser adotado quando todos os outros recursos para obtenção do aumento da produtividade estejam esgotados. A redução do espaçamento entre linhas para a cultura do milho só se tornou possível com a melhoria genética das cultivares de milho com alto potencial produtivo, arquitetura mais ereta, menor estatura, decréscimo do tamanho do pendão, menor índice de plantas estéreis sob condições de alta densidade de semeadura, menor taxa de senescência durante a fase de enchimento de grãos, dentre outros atributos melhorados.

A interação entre arranjo cultural e melhoramento genético, alterações climáticas podem responder por melhores

produtividades de grãos. A redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho interage com a densidade e as época de semeadura, cultivar, controle de pragas e doenças, manejo de plantas daninhas, e também no cultivo para forragem e do milho safrinha semeado extemporaneamente. O espaçamento reduzido entre linha melhora a distribuição espacial das plantas de milho, aumenta a eficiência da captação da luz, melhora o aproveitamento de nutrientes e água, ajuda no controle de plantas daninhas, impede o processo erosivo do solo, proporciona menor perda de água pela evaporação da superfície do solo e permite a exploração das densidades de plantios mais elevadas. Contudo, em função das circunstâncias dos fatores que constroem a produtividade do milho, o agricultor pode ou não obter benesses com a tecnologia da redução do espaçamento.

Histórico e Perspectivas

No início do ano de 1900, a Universidade de Illinois, nos EUA, já se preocupava com o arranjo de plantas, especialmente no que se refere à variação do espaçamento entre plantas, ou seja, o que atualmente se chama densidade populacional. Os trabalhos iniciais foram desenvolvidos em campos experimentais da própria Universidade. Eles foram iniciados com experimentos variando os espaçamentos entre covas de 86 a 112 cm, e variando o número de sementes por cova com duas ou três sementes. O Boletim 126, editado pela Universidade, reuniu resultados de 1903 a 1906, provenientes das estações experimentais de Myrtle, Sycamore, Dekalb, Urbana, Sibly e Mottoon. Foram encontrados também outros resultados de pesquisas, oriundos de estações experimentais do Canadá onde foram estudados diferentes arranjos de plantas, variando

o espaçamento entre plantas e entre linhas. Nos trabalhos de Illinois, conduzidos na região norte do Estado, em solos arenosos, foram obtidos altos rendimentos de grãos, com três sementes por cova, espaçadas 112 cm. Na região central, em solo franco siltoso, a produção atingiu mais de 3.000 kg ha⁻¹, também com três sementes por cova no espaçamento de 112 cm. Nesta mesma região, em solo de média fertilidade, o rendimento de grãos foi abaixo de 3.000 kg ha⁻¹, utilizando-se duas sementes por cova espaçada 86 cm. Os autores Hume et al. (1908) verificaram claramente que o espaçamento de 86 cm por 86 cm entre covas permitiu maiores rendimentos com duas ou três sementes por cova em relação ao de 112 cm por 112 cm. Os benefícios da redução do espaçamento foram reconhecidos após 40 anos, por Bryan et al. (1940).

Na década dos anos 1940, o espaçamento do milho era literalmente determinado pela largura do corpo de um animal de tração. Neste período, os espaçamentos utilizados variavam entre 102 e 112 cm. A partir de 1960, muitas mudanças ocorreram na maneira de cultivar o milho, não só pela mudança do espaçamento como também na utilização mais efetiva de fertilizantes que se tornaram mais econômicos devido aos menores preços, à introdução do uso de herbicidas e aos desenvolvimentos de novos híbridos de milho com melhor arquitetura foliar que suportavam altas densidades de semeadura, o que conseqüentemente poderia resultar em maiores rendimentos de grãos. A partir deste marco, os espaçamentos de 76 e 91 cm foram extensivamente utilizados. Com o desenvolvimento da indústria de máquinas agrícolas, os produtores americanos, juntamente com os extensionistas, iniciaram um trabalho de redução do espaçamento entre linhas do milho até a espessura do pneu de um trator, ou seja, o

espaçamento entre linhas foi reduzido de 102 e 112 cm para 76 cm. Como se vê, o fato de reduzir o espaçamento entre as linhas para o milho não é um conceito novo. Nos EUA, as pesquisas iniciaram-se na década de 1960, em que Paszkiewicz (1996) concluiu que o espaçamento reduzido proporcionou ganhos de rendimentos na ordem de 3,2 a 4,2% em relação ao espaçamento mais largo, nas regiões do Corn Belt e nordeste do Estado de Iowa. Outros trabalhos também mostraram que a redução do espaçamento de 102 cm para 76 cm entre linhas proporcionou aumentos no rendimento de grãos, que variaram de 5 a 7% (NIELSEN, 1997). Outros pesquisadores, como Sprague e Dudley (1988), verificaram que a redução do espaçamento entre linhas proporcionou ganhos ainda maiores do que os relatados anteriormente, por volta de 15 a 20%. O espaçamento reduzido proporciona também redução da energia disponível na superfície do solo, em função do maior sombreamento, diminuindo a evaporação da água e disponibilizando mais energia luminosa para a realização da fotossíntese, o que resulta, juntamente com outras variáveis, em maiores rendimentos de grãos. Por outro lado, em condições de estresse hídrico, a redução do espaçamento aumenta a energia disponível na superfície da folha, elevando a taxa de transpiração e o consumo de água, podendo ser um fator limitante para a planta.

Inicialmente, os produtores americanos tiveram problemas operacionais com o plantio em espaçamentos menores, por causa da não adequação de equipamentos, em função da indústria de máquinas agrícolas não ter acompanhado a evolução da pesquisa em relação à redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho (NIELSEN, 1997). Vendo o interesse do produtor pelos benefícios proporcionados pela

redução do espaçamento, as indústrias de máquinas agrícolas voltaram sua atenção para o desenvolvimento ou a adaptação de plantadeiras e colheitadeiras, objetivando atender a demanda do agricultor quanto à redução do espaçamento. No início, os próprios produtores tentaram adaptar suas antigas plantadeiras para realizar o semeio em espaçamento reduzido, mas não conseguiram uma boa eficiência de plantio em função da largura da plantadeira, da distância entre cada módulo de plantio e do sistema de distribuição das sementes. Mais tarde, a introdução do sistema de distribuição de sementes via fluxo de ar e a mobilidade de movimentação dos módulos de plantio facilitaram o semeio em espaços mais reduzidos. Isto aconteceu porque o sistema orienta as sementes corretamente no sulco, sem levar em consideração a facilidade de manuseio dos módulos de plantio (sistema de distribuição de sementes e adubos) na barra que os suportam (LACINA, 2000).

Com relação à colheita, houve também grandes problemas com as plataformas que eram projetadas para os espaçamentos mais largos. A indústria americana de máquinas agrícolas começou a trabalhar no desenvolvimento de novas plataformas adequadas a espaçamentos menores, em função da demanda dos produtores. Fazer trocas de plataformas de uma colheitadeira para outra era uma operação muitas vezes difícil por causa da configuração diferenciada de cada máquina ou marca. A John Deere, com uma plataforma para colher doze linhas, tentou adaptar uma plataforma de uma CaseIH 2188 combinada e não obteve sucesso, devido à diferença na largura nas bocas de colheita das plataformas, que excedia o espaçamento de 50,8 cm. A indústria John Deere foi a primeira a preocupar-se em apresentar uma solução no mercado para atender a demanda dos produtores que estavam plantando

com o espaçamento de 50,8 cm. (LACINA, 2000). Houve um consenso geral por parte de produtores, extensionistas e da indústria de máquinas agrícolas americana sobre a redução do espaçamento entre linhas sempre aumentar o rendimento de grãos do milho.

Os produtores americanos fizeram adoção pelo espaçamento reduzido por varias razões:

- Rápido fechamento das entre linhas, retardando a germinação e/ou o desenvolvimento das plantas daninhas, além de proporcionar menor perda de água pela evaporação da superfície do solo.
- Interceptação mais rápida da luz solar pelas plantas, tornando-as mais eficientes quanto ao uso da luz disponível. Por outro lado, em condições de estresse hídrico, poderá haver alta perda de água, via evaporação da superfície foliar.
- O menor espaçamento entre linhas permite maior espaço entre plantas, o que minimiza a competição delas por água, luz e nutrientes e ainda permite a exploração de densidades mais elevadas.
- Permite ao produtor maior espaço de tempo para a escolha do herbicida adequado para o controle das espécies de plantas daninhas ocorrentes na área. Em muitos casos, pode não ser necessária a aplicação do produto, devido à condição do espaçamento, o que proporciona menor custo de produção.

- Maior disponibilidade de equipamentos para o cultivo do milho em espaçamentos reduzidos.
- Maior proteção da superfície do solo, impedindo o processo erosivo.

No Brasil, a cultura do milho tem sido tradicionalmente implantada com espaçamentos entre linhas compreendidos entre 80 e 100 cm. Essa distância entre fileiras permite o adequado funcionamento dos equipamentos necessários à sementeira, tratamentos culturais e colheita, independentemente do sistema de produção e do tipo de tração utilizados (SANGOI et al., 2004). A redução na distância entre os sulcos de sementeira é uma forma de modificar o arranjo de plantas e interferir na eficácia de utilização dos recursos do meio. O interesse em cultivar o milho utilizando espaçamentos entre linhas reduzidos tem crescido nos últimos anos. O desenvolvimento de híbridos tolerantes a altas densidades, o aumento no número de herbicidas para o controle seletivo de plantas daninhas em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas são fatores que favorecem o incremento na adoção desta prática cultural (SILVA, 2005).

A redução do espaçamento entre linhas apresenta “três vantagens potenciais” no que se refere à mecanização agrícola: A) maior operacionalidade que espaçamentos de 45 a 50 cm proporcionam para produtores que trabalham com milho e soja, pois as semeadoras não necessitam ser substancialmente alteradas na mudança de um cultivo para o outro; B) melhor distribuição das plântulas na linha de plantio, por causa da

menor velocidade de trabalho dos sistemas distribuidores de sementes; C) melhor distribuição dos fertilizantes em maior quantidade de metros lineares por hectare, o que aumenta o aproveitamento dos nutrientes e reduz a possibilidade de efeitos salinos fitotóxicos à semente (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005).

No cerrado brasileiro, os benefícios reportados pela redução do espaçamento entre linhas são percentualmente maiores do que no Sul do país, oscilando entre 9% e 41%, dependendo da densidade, da cultivar e do ano agrícola (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2002). Essa região produz milho em duas épocas: safra (outubro-dezembro) e safrinha (fevereiro-março). Na safra, normalmente não há limitações hídricas e a quantidade de nutrientes fornecida é maior do que na safrinha. Essas regiões de baixa latitude têm dias mais curtos na primavera e verão, em comparação com as áreas produtoras do sul do Brasil. O milho é uma planta C4, altamente eficiente na conversão da energia luminosa em energia química. Assim, os incrementos no rendimento de grãos propiciados pela redução do espaçamento entre linhas na safra têm sido atribuídos ao maior aproveitamento da energia radiante disponível, decorrente da distribuição mais equidistante das plantas. Na safrinha, existem maiores restrições hídricas e edáficas ao desenvolvimento do milho na região, por causa da redução na precipitação pluvial registrada a partir de abril e do menor investimento em fertilizantes. Nessa época de semeadura, a redução do espaçamento entre linhas pode propiciar aumentos na produtividade, principalmente devido à distribuição mais homogênea do sistema radicular, ocupando maior volume de solo, favorecendo o aproveitamento de água e nutrientes e reduzindo o acamamento (WEISMANN et al., 2007).

A redução do espaçamento do milho nas entrelinhas influencia diretamente em alguns fatores, como: rendimento de grãos (cultivares), densidade de semeadura, interceptação da energia solar, manejo de plantas daninhas, doenças, produção de milho para forragem, de milho safrinha, dentre outros quando num processo de interação.

Influência da Redução do Espaçamento no Rendimento de Grãos

Os efeitos da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos do milho são bastante heterogêneos. O efeito positivo da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos se manifesta mais claramente quando são utilizadas altas densidades populacionais. Nesses casos, os espaçamentos convencionais (80 a 100 cm) fazem com que as plantas fiquem muito próximas entre si no sulco de semeadura (10 a 20 cm), aumentando a competição por água, luz e nutrientes e limitando a disponibilidade de carboidratos à produção de grãos.

Grande parte dos produtores americanos visualizou perspectivas futuras na redução do espaçamento entre linhas em detrimento de ganho no rendimento de grãos. Esses produtores perceberam que poderiam aumentar a produção de grãos com o espaçamento sendo reduzido até 38 cm. Entretanto, trabalhos conduzidos nas décadas de 1980 e 1990 nas regiões central e norte do Corn Belt, nos EUA, sugeriram que o espaçamento fosse de 57 cm, ou menos, o que proporcionaria um incremento na ordem de 10% no rendimento de grãos quando comparado com o espaçamento de 76 cm. Segundo (NIELSEN, 1997), a magnitude do aumento sofre grande influência da cultivar a ser utilizada e das condições

ambientais de cada ano. Outros trabalhos conduzidos por Nielsen (1988) no período de 1984 a 1986, em três localidades das regiões centro-oeste e nordeste do Estado de Indiana, utilizando os espaçamentos de 38 e 76 cm associados a quatro densidades de semeadura: 44.460; 59.280; 74.100 e 88.920 plantas por hectare e dois híbridos do mesmo ciclo de maturação, verificaram que houve um aumento médio de 2,7% no rendimento, para o espaçamento de 38 cm, em relação ao de 76 cm (Figura 1). Verificaram também que as altas densidades de plantas foram mais responsivas nos espaçamentos mais reduzidos. Nafziger (1994) verificou que o espaçamento de 50 cm em densidades acima de 55.000 plantas tem a desvantagem de apresentar um grande número de plantas quebradas. Nielsen (1997) verificou também um aumento muito grande de plantas quebradas ou acamadas no espaçamento reduzido do que quando se utilizava cultivares de porte alto. Vendo essa deficiência, os melhoristas de milho trabalharam não só com o objetivo de aumentar o potencial do rendimento de grãos, mas também para obter plantas com colmos mais resistentes ao acamamento e quebraimento.

Trabalhos conduzidos em Illinois, Michigan, Indiana, Minnesota e nos campos da Pioneer Sementes também verificaram aumentos no rendimento do milho especialmente nos experimentos de Michigan nos anos de 1989 a 91, onde se verificou um aumento de 8,8% no espaçamento de 57 cm comparado com o de 76 cm, conforme mostra a Figura 1 (PASZKIEWICZ et al., 1994 citado por NIELSEN, 1997).

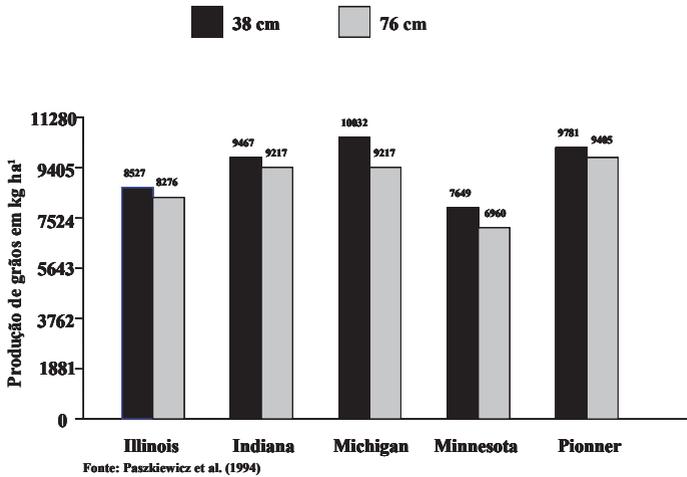
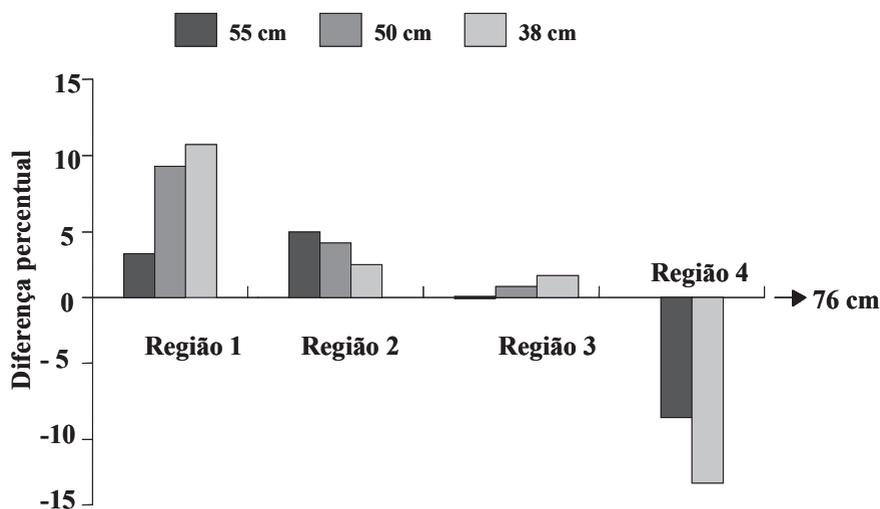


Figura 1. Rendimento de grãos em kg ha⁻¹ em dois espaçamentos entre linhas em diversas regiões produtoras de milho dos EUA.

Vários outros trabalhos foram realizados na região do Corn Belt americano, onde se avaliaram os resultados da redução do espaçamento no rendimento do milho, nos espaçamentos de 76 cm, 55 cm, 50 cm e 38 cm. O espaçamento de 76 cm serviu como referência padrão. O Corn Belt foi dividido em quatro regiões por Gray (1996), o qual verificou que dependendo das condições de solo e clima a redução do espaçamento nas entre linhas do milho pode apresentar respostas diferenciadas. Tomando o espaçamento de 76 cm como padrão, verificou-se que o espaçamento de 38 cm foi o que sobressaiu com maior percentual de rendimento na Zona 1 (Minnesota, Norte Dakota, South Dakota e Ontario), Zona 2 (Iowa), Zona 3 (Iowa, Illinois, Indiana, Ohio e Pensilvânia) sendo que na Zona 4 (Illinois e Tennessee) o percentual de rendimento foi negativo, como mostra a Figura 2.



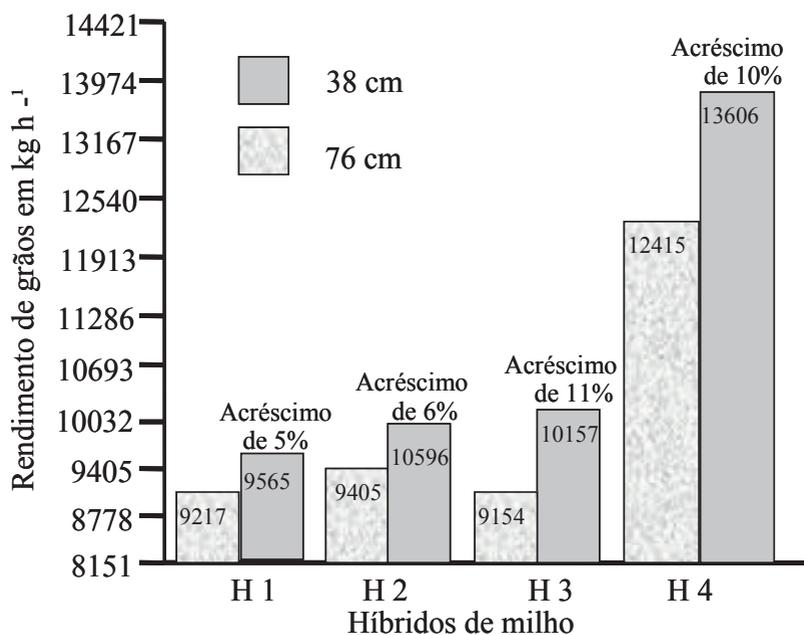
Fonte : Gray, (1997)

Figura 2. Diferenças percentuais de rendimento de grãos verificadas em diferentes regiões produtoras de milho do Corn Belt americano, 1997.

No estado de Iowa (EUA) empresas de sementes juntamente com produtores cooperados plantaram milho utilizando espaçamentos de 38 e 76 cm, envolvendo diferentes híbridos e densidades de semeadura, e observaram ganhos quando reduziram os espaçamentos, que variaram de 5 a 11%, conforme mostra a Figura 3.

Trabalhos com o espaçamento de 50,8 cm proporcionaram ganhos de 4 a 5% no rendimento de grãos e ainda contribuíram para reduzir a densidade de plantas daninhas (DALE et al., 1991 citados por RICH, 1995). Outros produtores de Illinois e Wisconsin também trabalhando com o espaçamento de 50 cm verificaram aumentos de rendimento grãos na ordem de 7%,

e atribuem também este fato à menor incidência de plantas daninhas em função da pouca incidência luminosa na superfície do solo.



Fonte: www.empirecasem.com/pages/atsapr9/html

Figura 3. Rendimento de grãos de diferentes híbridos em dois espaçamentos entre linhas, mostrando vantagem para o espaçamento reduzido.

Na Pensilvânia e em estados vizinhos, os produtores tradicionalmente usavam o espaçamento entre linhas de 78 cm ou até acima deste valor. Atualmente, estão usando os espaçamentos variando entre 38,1 cm e 52,8 cm entre linhas, considerando-os como potenciais de ganho no rendimento de grãos de milho. Segundo os usuários desta tecnologia, existem várias vantagens em utilizar espaçamentos mais

reduzidos, como: aumentar o rendimento, melhorar o controle de plantas daninhas, diminuir o processo erosivo e melhorar o aproveitamento de nutrientes (GREG, 1997). Segundo os autores, o uso de espaçamento reduzido requer investimentos, como aquisição de novas plantadeiras e colheitadoras adaptadas a esta nova tecnologia.

Teorias antes do advento do uso do espaçamento reduzido eram de que algumas culturas poderiam ter seus rendimentos maximizados devido a uniformidade da distribuição das plantas na área. Isto significa que os espaçamentos entre e dentre as plantas sejam iguais. Desta forma para o espaçamento de 76 cm entre linhas e uma densidade de plantas de 74.100 plantas ha⁻¹ os espaçamentos entre plantas têm que ser igual a 17 cm. Considerando o espaçamento de entre linhas 38 cm para a mesma densidade de plantas, o espaçamento entre elas deveria ser de 34 cm. Veja que nesta última situação (Figuras 4a e 4b) as plantas estão mais bem distribuídas na área. Um esquema feito por Greg (1997) mostra como fica a distribuição das plantas na densidade de 74.100 plantas ha⁻¹ nos espaçamentos de 76 cm e 38 cm. No espaçamento de 38 cm as plantas ficam mais bem distribuídas, o que minimiza o efeito competitivo entre elas, por nutrientes, água e luz .

As respostas de ganho de rendimento de grãos em relação ao espaçamento reduzido têm a ver também com as condições ambientais. A Figura 2 ilustra bem este fato, em que as condições ambientais influenciam positivamente e/ou negativamente quando se faz o uso de espaçamentos reduzidos. Estudos comparativos entre espaçamento reduzido e convencional (76 cm), na maioria dos trabalhos, têm mostrado respostas positivas para os espaçamentos reduzidos, com

exceção de alguns que não mostram efeito algum e de uma minoria que mostrara efeito negativo.

e

X	X	X
X	X	X
X	X	X
X	X	X
X	X	X
X	X	X
X	X	X
X	X	X

e

X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X

Figuras 4a e 4b. Mostram o esquema de distribuição das plantas de milho na densidade de 74.100 por hectare nos espaçamentos de 76 cm e 38 cm entre linhas.

Em outras localidades dos EUA, vários trabalhos foram realizados, evidenciando que as respostas em termos percentuais foram diferenciadas em relação ao rendimento de grãos. Nestes locais o espaçamento padrão foi de 56 cm. Em algumas localidades os ganhos foram variados e apenas em um local, na Universidade do Tennessee, o resultado foi negativo. (Tabela 1).

Tabela 1. Respostas de rendimento de grãos de milho a redução do espaçamento em diferentes locais nos EUA.

Locais	Experimentos (Números)	Espaça-mentos (cm)	Aumento do rendimento (%)
Michigan	10	56	8.8
Minnesota	6	51	7.3
Purdue	9	38	2.7
Iowa State	5	51	4.5
Pioneer Hi-bred	14	56	4.0
Univ. de Kentucky	5	51	0.0
Univ. do Tennessee	3	51	-4.3

Fonte: Greg (1997)

Em Rock Springs (EUA), nos anos de 1993 e 1994, foram realizados trabalhos envolvendo espaçamentos reduzidos e densidades de semeadura, em que os espaçamentos foram de 76 cm e 38 cm, e duas densidades de 67.000 e de 84.000 plantas por hectare. Os resultados mostram maiores ganhos no espaçamento reduzido para as duas densidades de semeaduras utilizadas. Na densidade mais elevada o ganho foi maior (Tabela 2).

Tabela 2. Resposta do rendimento de milho em diferentes espaçamentos e densidades de semeadura. Rock Springs (EUA), 1993/94. Média de dois anos.

Espaçamentos (cm)	Densidade plantas (ha^{-1})	Rendimento (kg ha^{-1})	Diferença (%)
76 cm	67.000	9.959	100
38 cm	67.000	10.270	103
76 cm	84.000	10.519	100
38 cm	84.000	11.204	106

Fonte: modificado de Greg (1997)

As respostas do rendimento do milho em quaisquer circunstâncias dependem das condições ambientais. A Universidade do Kansas (Tabela 3) trabalhou com a cultura do milho em diversos locais com ambientes diferentes, para condição de altos rendimentos de grãos, acima de $10.893 \text{ kg ha}^{-1}$. Nestas condições, os espaçamentos reduzidos permitiram maiores rendimentos que o de 75 cm. O cultivo no espaçamento de 38 cm teve rendimento de 1.347 kg ha^{-1} de grãos a mais em relação ao espaçamento tradicional, e o rendimento de grãos no espaçamento de 50 cm rendeu 661 kg ha^{-1} a mais do que o obtido no espaçamento de 75 cm. Estes resultados foram obtidos sob condições de irrigação, o que corresponde a dizer que os resultados positivos da redução do espaçamento poderão ser mais consistentes em condições de umidade adequada (STAGGENBORG et al., 2001). Entretanto, alguns produtores questionam se há diferença na produtividade de grãos, entre áreas irrigadas e de sequeiro. A resposta é que, tanto em áreas irrigadas quanto de sequeiro, o espaçamento

reduzido aumenta a produtividade de grãos, em função da maior uniformidade da interceptação luminosa, redução da densidade de plantas daninhas, retenção da umidade no solo por causa do mais rápido fechamento do espaçamento entre plantas. Em média, 30% da umidade do solo são perdidas através da evaporação, antes mesmo que seja aproveitada pela planta. O espaçamento reduzido pode contribuir para a redução da taxa de evaporação em até 50%, elevando a disponibilidade de água no solo para as plantas, o que conseqüentemente pode aumentar a produtividade de grãos de milho (PIONNER, 2005 citado por GUARNIERI, 2006).

Tabela 3. Potencial médio de rendimento de grãos de milho em três espaçamentos, média de treze locais. Kansas (EUA), 2001.

Espaçamentos (cm)	Potencial de Rendimento		
	Alto	Médio	Baixo
	> 9960 kg ha ⁻¹	9960 kg ha ⁻¹ – 7470 kg ha ⁻¹	< 7470 kg ha ⁻¹
38	12573 a*	9025 a	2428 b
50	11887 ab	8963 a	2552 b
75	11226 b	8652 a	3610 a
Locais	4	7	2

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Fonte: Modificado de Staggenborg et al. (2001)

No Brasil, o interesse do produtor em cultivar o milho utilizando espaçamentos reduzidos entre linhas, de 45 a 60 cm, tem

sido visto como tecnologia de ponta nos últimos anos. O desenvolvimento de híbridos tolerantes a altas densidades, o aumento no número de herbicidas para o controle seletivo de plantas daninhas em pós-emergência e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas são fatores que favorecem o incremento da adoção desta prática cultural (SILVA, 2005).

A cultura do milho tem sido tradicionalmente implantada no Brasil com espaçamentos entre linhas mais largos, variando de 80 a 100 cm, permitindo assim o adequado funcionamento dos equipamentos necessários à semeadura, aos tratos culturais e à colheita, independentemente do sistema de produção e do tipo de tração utilizados (SANGOI et al., 2004).

Trabalhos conduzidos pela Pioneer no Brasil, durante cinco anos, mostraram que o espaçamento reduzido proporcionou ganhos de até 14%. O ganho de rendimento de grãos nas condições de espaçamentos reduzidos depende de uma série de fatores, tais como: nível de tecnologia do produtor, qualidade da semeadura, manejo cultural empregado e nível médio de produtividade da propriedade, bem como as condições ambientais da região (PIONNER, 2005 citado por GUARNIERI, 2006).

Em relação a cultivares, independentemente do espaçamento adotado, deve-se observar a capacidade de adaptação regional, estabilidade, bem como outras características agronômicas importantes, tais como: maior resistência às doenças e finalidades do uso, como produção de forragem, milho-verde, minimilho, dentre outras. É importante salientar que o limite

máximo de densidade de sementeira seja adequado em relação à época de sementeira. Observando os pré-requisitos citados, todas as cultivares com salvo conduto podem ser semeadas em espaçamentos reduzidos.

A Tabela 4 mostra os diferentes cultivares de milhos híbridos da Pioneer em densidades de sementeira recomendadas para plantio em espaçamento convencional e reduzido.

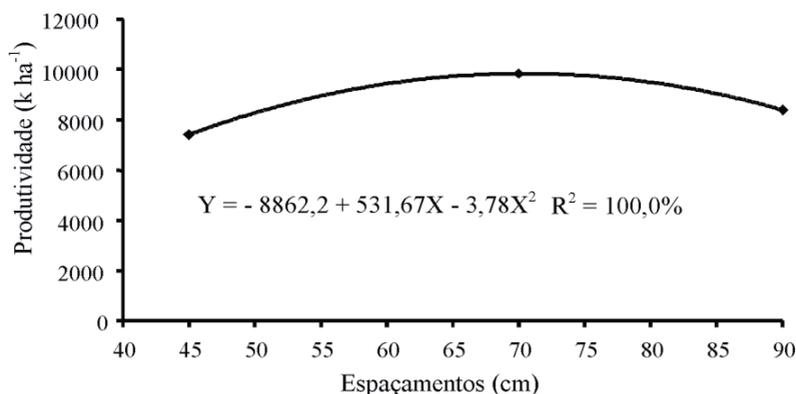
Antes de o produtor decidir sobre a densidade a ser utilizada, ou a redução do espaçamento, deve se informar sobre as cultivares a serem usadas, uma vez que cada uma tem uma indicação para a densidade de sementeira, bem como para o espaçamento. Além destas informações, deve-se considerar fertilidade do solo, nível de adubação praticado pelo produtor, nível tecnológico, histórico de chuvas da região, disponibilidade de irrigação, altitude local e época de plantio. Estes fatores em conjunto determinam o fator densidade de sementeira e se se deve reduzir ou não o espaçamento entre linhas.

Tabela 4. Cultivares de milhos híbridos semeados em diferentes densidades de sementeira nos espaçamentos convencionais e reduzidos.

Híbridos	Adaptação a diferentes Populações	Espaçamento normal (80 ou 90 cm)		Espaçamento reduzido (45 ou 50 cm)	
		Limites Mínimos	Limites Máximos	Limites Mínimos	Limites Máximos
32R21-3063-3041-3232	Baixas	50.000	60.000	55.000	65.000
3069-3081-30K75-3021-30F90-30F98-30F33-30P70-30F44	Médias	55.000	65.000	60.000	72.000
3071-3027-30F80-30F88-30F87-30R50-30F53	Altas	60.000	70.000	70.000	80.000

Fonte: Pioneer (2005)

Em outros trabalhos conduzidos na Universidade Federal de Lavras, os autores Resende et al. (2003) observaram que o comportamento médio das cultivares nas diferentes densidades (55 mil, 70 mil e 90 mil plantas ha^{-1}) e espaçamentos de 45, 70 e 90 cm entre linhas não são coincidentes ao longo dos anos, dependendo das condições climáticas prevalentes no ano agrícola. A Figura 5 mostra que na safra 2001/02, como as médias dos três espaçamentos não diferem entre si, não foi realizado o estudo de regressão. Entretanto em 2000/01 foi encontrada relação quadrática altamente significativa entre a produtividade de grãos e os espaçamentos utilizados. O espaçamento de 70 cm entre fileiras foi o que proporcionou a maior produtividade de grãos.



Fonte: Resende et al. (2003).

Figura 5. Representação gráfica da equação de regressão para a produtividade de grãos, em função dos espaçamentos, no ano agrícola de 2003, UFLA.

No ano de 2000/01, o espaçamento de 70 cm proporcionou maior produção de grãos, sendo, em média, 17% superior ao espaçamento de 90 cm e 33% superior ao de 45 cm (Tabela 5).

Não foram verificadas diferenças na produtividade de grãos entre os espaçamentos no ano agrícola de 2001/02.

Tabela 5. Resultados médios de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em função dos três espaçamentos e dos dois anos de experimentação. UFLA, 2003.

Espaçamentos	2000/01	2001/02	Média
45 cm	7.414 c	10.385 a	8.900
70 cm	9.846 a	10.093 a	9.970
90 cm	8.392 b	9.904 a	9.148

Médias com mesma letra minúscula, na vertical, pertencem ao mesmo agrupamento, de acordo com o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Resende et al. (2003).

Modolo et al. (2010), também trabalhando com os híbridos (DKB 240, PIONEER 30R50 e SG 6010) e três espaçamentos entre linhas (0,45; 0,70 e 0,90 m), verificaram que em nenhuma das avaliações houve interações entre híbridos e espaçamentos e que a redução no espaçamento entre linhas promoveu aumento no número de espigas por planta e incremento na produtividade de grãos na cultura do milho. A Tabela 6 evidencia os resultados encontrados pelos autores.

Tabela 6. Médias do número de espigas por planta, peso de mil grãos e rendimento de grãos obtidos da média de três cultivares em diferentes espaçamentos entre linhas. Fortaleza, CE, 2010.

Espaça- mentos (cm)	Número de espigas por planta	Peso de mil grãos (g)	Produ- tividade (kg ha ⁻¹)
45	1,06 a	332,89 a	7624,63 a
70	1,00 b	319,76 a	7743,89 a
90	1,00 b	332,87 a	6672,83 b
Média	1,02	328,06	7347,12

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Modolo et al. (2010)

Trabalhos semelhantes aos anteriores desenvolvidos pela Universidade Estadual de Michigan, nos Estados Unidos, na região do Corn Belt, por Widdicombe e Thelen (2002), verificaram acréscimo do rendimento à medida que o espaçamento foi reduzido, mas observaram também menor teor de umidade dos grãos na colheita e maior percentagem de acamamento, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Efeito da redução do espaçamento sobre o rendimento de grãos, umidade de grãos na colheita e percentagem de plantas acamadas. Média de vários híbridos, densidades de semeadura, locais e anos. Cada valor é resultado de 880 observações. East Lansing, MI. 2002.

Espaçamento (cm)	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Umidade na colheita (g ha ⁻¹)	Plantas acamadas (%)
76	11.130c	196a	1.60b
56	11.350b	192b	1.92a
38	11.551a	192b	1.65b

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Widdicombe e Thelen (2002)

Em trabalho com milho-doce, conduzido por Hemphill Jr. (1996), utilizando os espaçamentos entre linhas de 45, 68 e 86 cm, em solo com concentração residual de nitrato de amônio, não foi observada resposta para rendimento nos espaçamentos envolvidos (Tabela 8). Este resultado não suporta a hipótese de que o espaçamento reduzido pode resultar em maior eficiência de nitrogênio.

Tabela 8. Efeito de diferentes espaçamentos entre linhas no rendimento, peso médio e comprimento de espigas de milho-doce (HEMPHILL JR., 1996)

Espaçamento (cm)	Rendimento (t ha ⁻¹)	Peso médio de espiga (g)	Comp. médio de espigas (cm)
45	16.055	266	28.2
68	18.278	232	27.2
86	15.808	257	28.2
Significância	ns	ns	ns

Fonte: Hemphill Jr. (1996)

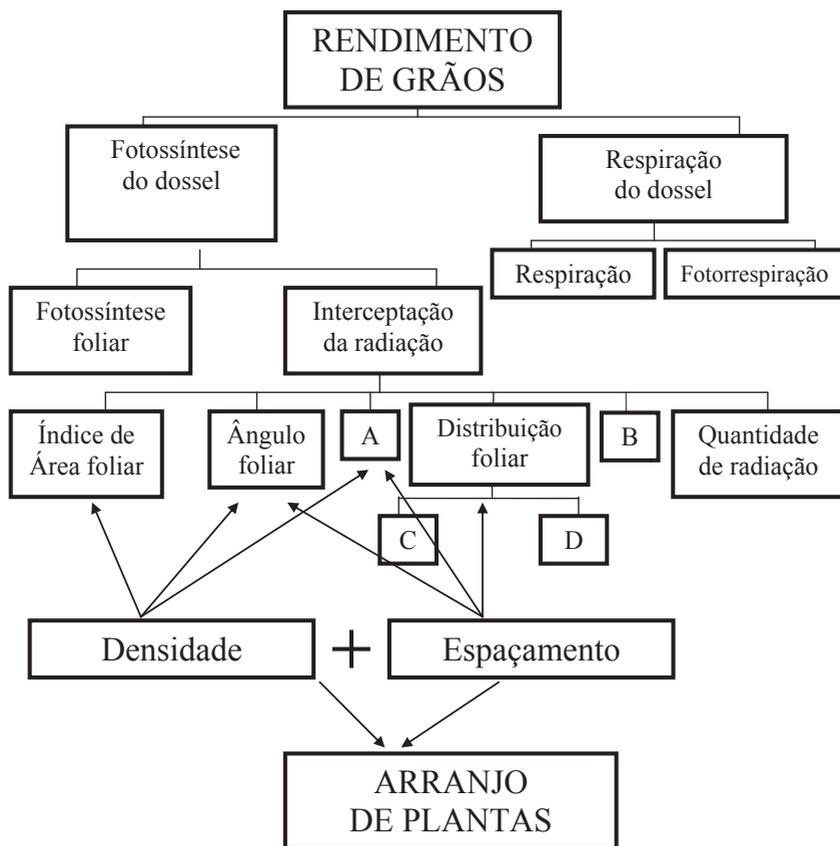
Influência do Espaçamento Reduzido na Intercepção da Luz pelas Plantas

A redução do espaçamento entre linhas, com a manutenção da densidade de plantas, permite uma distribuição mais uniforme de plantas por área, o que proporciona um aumento da eficiência da intercepção da radiação fotossinteticamente ativa (FLÉNET et al., 1996), e diminuição da intra-específica por luz, água e nutrientes (JOHNSON et al., 1998). A intercepção da radiação fotossinteticamente ativa exerce grande influência no rendimento de grãos do milho (Figura 6) quando outros fatores ambientais também estão favoráveis (OTTMAN; WELCH, 1989). Além da elevação da densidade de plantas, outra forma de aumentar a intercepção da radiação fotossintética é através da redução no espaçamento entre linha (ARGENTA et al., 2001a). Menor espaçamento entre linhas permite uma melhor distribuição de plantas de milho, o que possibilita melhorar a eficiência da intercepção da radiação solar, traduzindo quase

sempre em ganhos de rendimento de grãos, em decorrência do aumento da produção fotossintética líquida (FLÉNET et al., 1996; KARLEN; CAMP, 1985; PARVEZ et al., 1989; MURPHY et al., 1996; BULLOCK et al., 1988; FLESCHE; VIEIRA, 2004). Para Johnson et al. (1998), o aumento do rendimento de grãos em função da redução do espaçamento entre linhas é atribuído à melhor eficiência da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e ao decréscimo da competição entre plantas de milho por água, luz e nutrientes, em função de uma melhor distribuição espacial das plantas. A redução do espaçamento entre linhas está relacionada à melhor qualidade de luz recebida pela planta de milho. A disposição mais uniforme entre plantas de milho promove uma maior absorção da luz na faixa do Vermelho e maior reflexão de luz na faixa do Vermelho Extremo. Este fato é muito importante para o milho em densidade de semeadura elevada, pois, neste caso, as plantas recebem mais luz Vermelho Extremo refletida, o que aumenta a relação Vermelho Extremo/Vermelho. Esta variação na qualidade da luz, segundo Kasperbauer e Karlen (1994), determina algumas modificações no desenvolvimento das plantas, como: maior alongamento do colmo, folha mais alongada e fina, e elevada perda de massa radicular.

O melhoramento genético do milho tem conseguido melhorar a arquitetura da planta, diminuindo sua estatura e a altura e inserção da espiga, reduzindo esterilidade de plantas, duração do subperíodo pendocimento-espigamento, gerando plantas com melhor ângulo de inserção, mais eretas, e com potencial produtivo mais elevado. Este tipo de planta pode se enquadrar melhor na técnica de redução de espaçamento do que as cultivares mais antigas, que eram de portes mais elevados,

tinham folhas mais largas e menor inclinação do ângulo de inserção (ARGENTA et al., 2001a; GARDNER et al., 1985).



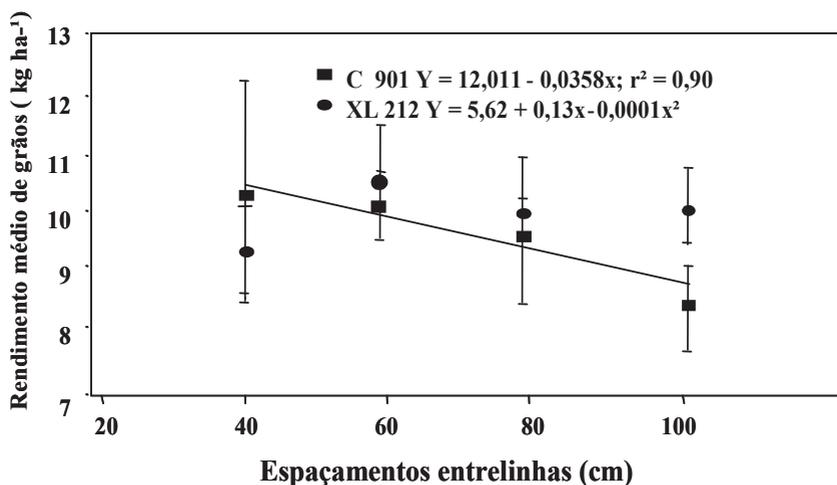
- A** Interceptação de luz por outras partes da planta
- B** Características de absorção de luz pela folha
- C** Arranjo de folhas na planta
- D** Arranjo de plantas no campo

Fonte: Adaptado de Gardner et al. (1985), citado por Argenta et al. (2001b).

Figura 6. Fluxograma dos fatores que afetam o rendimento de grãos do milho e outras culturas.

Na Universidade de Kansas, os geneticistas voltaram parte do programa de melhoramento de híbridos de milho para uso em espaçamentos reduzidos visando com isto altos rendimentos, mas estes materiais deveriam ser também resistentes a algumas das principais doenças foliares da cultura do milho, como é o caso da ferrugem e outras. Na concepção dos melhoristas, a redução do espaçamento reduz a quantidade de luz no interior da cultura, que por sua vez aumenta a umidade, por causa da não solarização direta na superfície do solo. Esta condição condiciona o aparecimento de diversos tipos de doenças, tanto foliares quanto do sistema radicular. Segundo os pesquisadores, a rotação de cultura ameniza os efeitos da redução do espaçamento em relação às doenças beneficiadas pela redução da luminosidade. Entretanto, se o uso do espaçamento reduzido for contínuo, mesmo fazendo-se a rotação, é aconselhável o uso de híbridos resistentes às doenças favorecidas pela condição do ambiente causada pela menor luminosidade no dossel da planta.

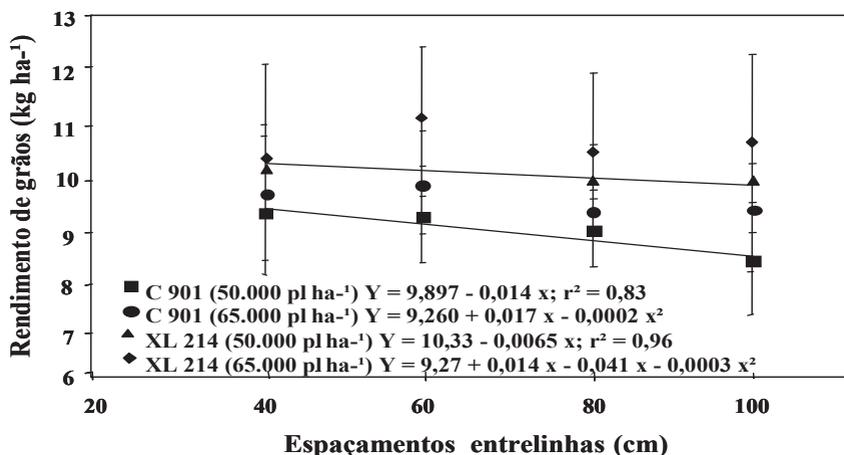
Algumas culturas mostram que a redução do espaçamento de 100 cm para 70 cm com densidade de quatro plantas por metro, ou mais, dependendo da cultura, resulta em um retângulo padrão (isto é, o espaçamento entre plantas é menor que o espaçamento entre linhas). Plantas mais bem distribuídas, quando semeadas em espaçamentos menores, aproveitam melhor a interceptação da luz solar. As cultivares podem responder de forma diferente aos espaçamentos entre linhas. Trabalho conduzido por Argenta et al. (2001a) mostra que das cultivares utilizadas (C 901 e XL 212) somente a C 901 aumentou linearmente o rendimento de grãos com a redução do espaçamento (Figura 7).



Fonte: Argenta et al. (2001)

Figura 7. Rendimento médio de grãos em kg ha^{-1} obtido em diferentes espaçamentos e cultivares na densidade de 50.000 plantas ha^{-1} . Eldorado do Sul, RS. 1997/98. (Barras verticais representam desvio padrão da média)

Os autores observaram que a cultivar C 901, a cada 20 cm de redução no espaçamento entre linhas, teve um incremento de 716 kg ha^{-1} no rendimento de grãos de milho. A cultivar XL 212 não respondeu à variação do espaçamento entre linhas. Em outro trabalho conduzido pelos mesmos autores utilizando os híbridos C 901 e XL 214, eles verificaram aumentos lineares para as duas cultivares, sendo que para cada 20 cm de redução no espaçamento entre linhas os híbridos elevaram seus rendimentos de grãos em 280 e 130 kg h^{-1} , respectivamente. (Figura 8).



Fonte: Argenta et al. (2001)

Figura 8. Rendimento médio de grãos em kg ha⁻¹ obtido em diferentes espaçamentos, densidades de semeadura e cultivares. Eldorado do Sul, RS. 1998/99. (Barras verticais representam desvio padrão da média).

A resposta do rendimento de grãos de milho ao espaçamento reduzido entre linhas sofre influência do híbrido e da densidade de semeadura. O aumento do rendimento de grãos em função da distribuição mais uniforme da luz para as plantas verifica-se principalmente em cultivares de ciclo superprecoce e de estatura mais baixa (ARGENTA et al., 2001a,b).

A otimização do potencial produtivo do milho depende da duração do período de interceptação da radiação solar incidente, da eficiência de uso da radiação interceptada na fotossíntese e da distribuição adequada dos fotoassimilados produzidos para as diferentes demandas da planta (ARGENTA et al., 2003). A densidade e o arranjo de plantas têm grande importância na interceptação e na eficiência de conversão da

radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel para a produção de grãos. Esse efeito é mais significativo no milho do que em outras gramíneas, em função de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da planta (SANGOI, 2001).

Em estudos conduzidos nos Estados Unidos, na Universidade de Illinois, em 2006, comparando os sistemas de plantio de fileiras duplas espaçadas em 20 cm e entre elas espaçadas em 76 cm e fileiras simples espaçadas em 76 e 38 cm, não foi verificado aumento da interceptação da luz no estágio de enchimento de grãos e no rendimento de grãos (Tabela 9). Segundo o autor, hipoteticamente os benefícios do plantio em fileira dupla são mais visíveis em áreas onde se tem resposta ao espaçamento reduzido. Entretanto, é necessário provar a hipótese (NAFZIGER, 2006).

Tabela 9. Interceptação luminosa na planta de milho nos estádios vegetativo (V10) e reprodutivo (R2), nos espaçamentos de 76 e 38 cm entre fileiras simples e de 20 cm entre fileiras duplas e densidade de plantio de 85.000 plantas ha⁻¹. Universidade de Illinois, EUA, 2006.

Sistema de Plantio	Interceptação de luz (%)		Rendimento em (kg ha ⁻¹)
	V10	R2	
F. duplas (20 cm)	79,5	98,9	11.665
F. Simples (76 cm)	70,3	98,8	13.043
F. Simples (38 cm)	83,3	98,5	12.405
D.M.S	6,2	0,8	8.5

Fonte: Nafziger (2006)

Pesquisa realizada pela Pioneer em 2010, comparando o sistema de fileiras duplas com o espaçamento de 76 cm, concluiu que os resultados obtidos com o uso da fileira dupla são inconsistentes e variáveis de ambiente para ambiente, tornando difícil a recomendação da tecnologia para os produtores. O mais provável sucesso do uso do sistema de fileira dupla é nas regiões onde o espaçamento reduzido proporcionou maiores rendimentos de grãos como no Nordeste do Corn Belt americano (JESCHKE, 2010).

Redução do Espaçamento e Densidade de Semeadura

No estado da Pensilvânia (EUA), foram realizados trabalhos com densidades de 70.000 plantas por hectare no espaçamento de 76 cm e com 84.000 plantas por hectare no espaçamento de 38 cm. Os resultados mostraram que o melhor rendimento de grãos foi obtido na densidade de semeadura mais elevada e no menor espaçamento entre linhas, exceto em solos com alto teor de fertilidade. Foi observado também pela curva de resposta que as densidades de semeaduras de 74.100 plantas por hectare e 79.000 plantas por hectare estão próximas do ótimo rendimento de grãos quando cultivados em espaçamentos reduzidos.

Segundo Pioneer (2005), a redução do espaçamento necessariamente não implica aumento na densidade de semeadura. Entretanto, os resultados da pesquisa e de lavouras têm mostrado que o aumento da densidade de semeadura, juntamente com a redução de espaçamento, tem sido fator importante para o aumento da produtividade de grãos, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10. Efeito da redução do espaçamento entrelinhas e da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos de milho.

Espaçamento entrelinhas (cm)	Densidade semeadura (planta ha ⁻¹)	Produtividade em (kg h ⁻¹)	Varição percentual em relação ao padrão
40	80.000	9.392	114
40	100.000	9.017	110
40	60.000	8.881	108
60	80.000	8.788	107
60	60.000	8.615	105
60	100.000	8.541	104
80	80.000	8.539	104
80*	60.000*	8.220*	100*
80	100.000	8.100	99
40	40.000	7.832	95
60	40.000	7.572	92
80	40.000	7.384	90

Fonte: Pioneer (2005) *Espaçamento e densidade de semeadura padrão.

Para uma mesma população de plantas (60.000) foram avaliados vários híbridos pela Pioneer Sementes, que encontrou ganhos de até 8% no rendimento de grãos quando reduziu o espaçamento entre linhas de 80 cm (padrão) para 40 cm, e com a elevação da densidade de semeadura de 60.000 plantas por hectare para 80.000 foi observado um ganho de até 14%, quando o espaçamento foi reduzido também para 40 cm entre linhas (Tabela 5).

No Brasil, o espaçamento entre linhas de milho saiu de 120 cm nos cultivos consorciados passando por 100, 90, 80 a 70 cm em cultivos isolados, chegando atualmente, a 50 cm entre linhas. A redução do espaçamento tem mostrado ganhos de rendimento de grãos na ordem de 10 a 15%, devido a melhor distribuição das plantas na área, aumentando a eficiência na utilização da “Radiação Fotossinteticamente Ativa”, da água e de nutrientes; do melhor controle de plantas daninhas, em função do fechamento mais rápido dos espaços entre e dentro plantas em função da menor entrada de luz no dossel, além de proporcionar também redução da erosão, pela cobertura antecipada da superfície do solo (PENDLETON, 1965).

Entretanto, o processo de redução de espaçamento requer também um acompanhamento das indústrias de máquinas agrícolas, que devem ter colheitadoras com plataforma capaz de colher o milho em espaçamentos menores do que 70 cm. A redução do espaçamento implica alguns cuidados, como: a escolha da cultivar mais apropriada (menor porte e arquitetura mais ereta); ambiente de plantio (maior disponibilidade de água e nutrientes, e temperaturas mais amenas) e equipamentos de plantio e colheita. Antes de tomar a decisão de reduzir o espaçamento, o produtor deve fazer uma análise prévia se de fato é o espaçamento o causador da baixa produtividade de sua lavoura.

A ocorrência de densidade de semeadura aquém da desejada é comum em plantio direto, em que as condições de solo e da plantadeira não são favoráveis. O excesso de palha, a má distribuição dela e o microrrelevo irregular, normalmente associado a solo com maior teor de umidade do que o adequado, pode causar uma redução na densidade de plantio, além de causar emergência desuniforme e atraso no

desenvolvimento inicial. Esses problemas podem ser agravados se a plantadeira não for bem regulada. Sugere-se, nesses casos, como é recomendado para o plantio convencional, aumentar em 20% a quantidade de sementes no plantio com o objetivo de compensar os problemas do sistema de semeadura bem como os ataques de pragas e doenças do solo. O estabelecimento da densidade de semeadura recomendada é também favorecido pelo uso de sementes de melhor qualidade e de cultivares mais adaptadas ao ambiente de plantio e que apresentem bom enraizamento e bom vigor inicial.

As Figuras 9a e 9b mostram o milho cultivado nos espaçamentos de 50 e 80 cm entre linhas. Observa-se que no espaçamento de 80 cm parte da luz se perde no solo, enquanto no espaçamento de 50 cm se vê menos luz na superfície do solo, o que equivale a dizer que a planta aproveitou melhor a radiação solar. A redução do espaçamento induz as plantas a aproveitarem melhor a “Radiação Fotossinteticamente Ativa”, o que se traduz em ganhos no rendimento de grãos. As fotos abaixo foram registradas em um trabalho de treinamento para técnicos de entidades de pesquisa da América Latina e África de Língua Portuguesa (dados não publicados).

A Figura 10 mostra maior resposta de aumento no rendimento de grãos à medida que se eleva a densidade de semeadura. Alguns componentes da produção, como o peso médio de espiga, têm comportamento inverso ao do rendimento de grãos, como mostra a Tabela 11.

Foto: Israel A.P. Filho



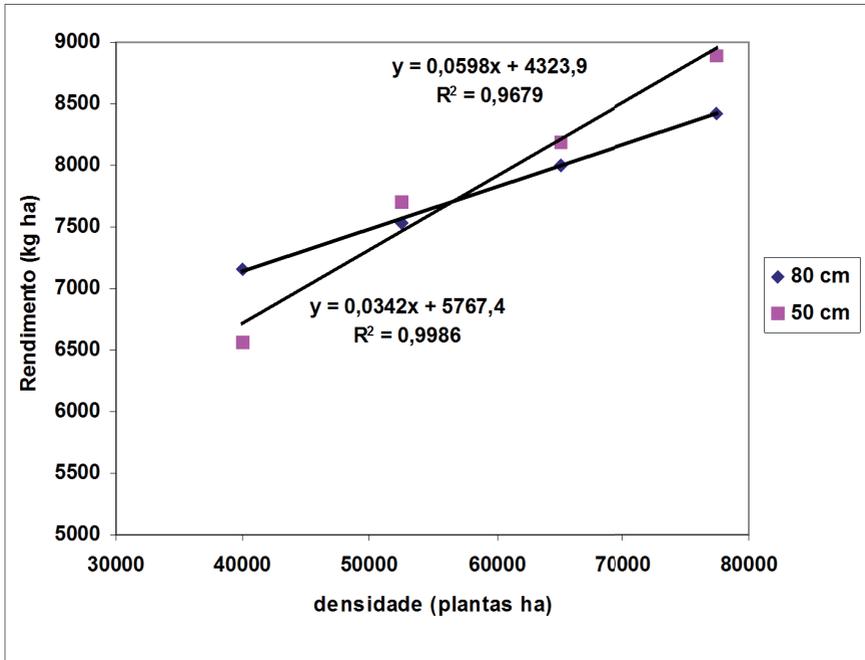
*Espaçamento entre linha
50 cm*

Foto: Israel A.P. Filho



*Espaçamento entre linha
80 cm*

Figuras 9a e 9b. Figura 9a milho semeado no espaçamento de 50 cm e Figura 9b milho semeado no espaçamento de 80 cm. Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (PEREIRA FILHO et al., 2002, dados não publicados).



Fonte: Cruz et al. (2007)

Figura 10. Interação entre espaçamentos e densidades de semeadura influenciando o rendimento de grãos de milho.

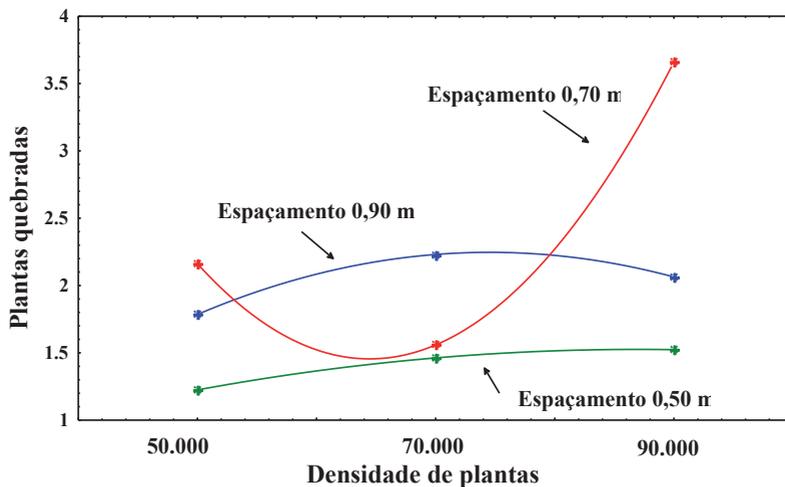
Tabela 11. Peso médio de espigas e rendimento de grãos em dois espaçamentos entre linhas e quatro densidades de semeadura. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2003.

Densidade (Plantas ha ⁻¹)	Peso médio de espigas (g)			Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)		
	50 cm	80 cm	Média	50 cm	80 cm	Média
40.000	13,5 a	16,0 a	14,8 a	6.555 c	7.149 c	6.852 d
52.500	13,1 ab	14,0 b	13,5 b	7.710 b	7.532 bc	7.621 c
65.000	12,0 bc	12,7 c	12,4 c	8.191 b	8.002 bc	8.097 b
77.500	11,5 c	12,1 c	11,8 c	8.885 a	8.416 a	8.650 a
C. V. (%)	12,70			12,49		

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Cruz et al. (2007)

A Figura 11 mostra também que a redução do espaçamento para o milho-pipoca foi benéfica para o número de plantas quebradas no espaçamento de 50 cm, mesmo nas densidades mais elevadas. É comum, em altas densidades, o milho apresentar número elevado de plantas quebradas e acamadas.



Fonte: Pereira Filho et al. (2002).

Figura 11. Interação espaçamento x densidade de semeadura sobre a característica plantas quebradas. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 2002.

Tabela 12. Valores médios das características estudadas da cultivar de milho-pipoca BRS Ângela em diferentes espaçamentos e densidades de sementeiras. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 2002.

Espaçamento (cm)	Densidade	Altura Planta (cm)	Altura Espiga (cm)	Plantas Sobrev. (%)	Plantas *Acam.	Plantas *Queb.	Índice Espigas	Produção Grãos (kg h a ⁻¹)
50	50.000	231	140	100	2,3	1,2	1,6	3.141
	70.000	231	140	100	2,2	2,1	1,1	3.403
	90.000	235	152	100	2,2	1,8	1,2	3.881
Média		232	144	100	2,2	1,7	1,3	3.475
70	50.000	238	133	100	2,6	1,5	1,2	2.443
	70.000	237	143	99	3,2	1,5	0,8	2.693
	90.000	242	141	100	3,2	2,2	0,8	3.022
Média		239	139	99	3,0	1,7	0,9	2.719
90	50.000	230	113	100	3,2	1,5	1,0	2.314
	70.000	234	137	93	3,0	3,7	0,8	2.373
	90.000	237	133	91	4,5	2,1	0,8	2.533
Média		233	127	94	3,5	2,4	0,9	2.407
50		233a	129a	100a	2,5a	1,4b	1,3 a	3.475a
70		234a	140a	100a	2,8a	2,5a	0,9b	2.719b
90		238a	142a	99a	3,3a	2,0ab	0,9b	2.407b
Média		234	137	99	2,7	1,9	1,0	2.874
Média	50.000	233a	144a	100a	2,2b	1,7b	1,3a	2.633a
	70.000	237a	139a	100a	3,0ab	1,8b	1,0b	2.823a
	90.000	234a	128a	95b	3,4a	2,4a	0,9b	3.146a
Média		234	137	98	2,8	1,9	1,0	2.867
Media Geral		234	137	98	2,8	1,9	1,0	2.870

* Dados de plantas acamadas e quebradas foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$
 Fonte: Pereira Filho et al. (2002)

Em relação à produtividade de grãos de milho do tipo pipoca (Tabela 12), a redução do espaçamento de 50 cm proporcionou ganhos de 30 e 21% no rendimento de grãos em relação aos espaçamentos de 70 e 90 cm, respectivamente. Os resultados mostram também maior rendimento na densidade mais elevada de 90.000 plantas por hectare (PEREIRA FILHO et al., 2002). Trabalho realizado em Nebraska, nos EUA, com milho-pipoca não mostrou ganhos de produtividade quando da redução do espaçamento de 76 para 38 cm (Tabela 13). Entretanto, verificaram menor infestação de plantas daninhas no espaçamento reduzido.

Tabela 13. Dados médios de algumas características da planta de milho-pipoca obtidos nos espaçamentos de 76 e 38 cm. Nebraska, EUA, 2007.

Características	76 centímetros	38 centímetros
Altura da planta (cm)	257,30	260,60
Diâmetro do colmo (cm)	2,38	2,59
Tamanho da espiga (cm)	19,81	19,05
Índice de espigas	1,31	1,46
Peso de 1.000 grãos (g)	166,20	168,00
Rendimento (kg ha ⁻¹)	7.204,66	7.522,43

Fonte: Grosbach (2008)

Trabalhos conduzidos em Coxilha, no Rio Grande do Sul, por Teixeira et al. (2009), envolvendo híbridos, o simples comercial BRS 1002 e os simples em fase de pré-lançamento HS 3919 e HS 3516 e os híbridos triplos em fase de pré-lançamento HT 1635x19 e HT 3516x08, testados nos espaçamentos entre linhas de 40 e 80 cm e em cinco densidades de sementeiras: 40, 60, 70,

80 e 90 mil plantas ha. O autores verificaram que nas condições de condução do experimento, a redução do espaçamento entre linhas de 80 para 40 cm não proporcionou aumento significativo do rendimento de grãos e que a variação da densidade de semeadura teve efeito no rendimento de grãos de forma diferenciada para os híbridos e os espaçamentos utilizados. As densidades de semeaduras que resultaram no máximo rendimento de grãos, para cada híbrido nos dois espaçamentos entre linhas, são mostradas na Tabela 14. Os pontos de máximo rendimento de grãos variaram de 40 a 90 mil plantas, nos espaçamento entre linhas de 40 a 80 cm, para as cultivares de milho em fase de pré-lançamento. Para o HT 1635x19, foram 68.188 plantas ha (40 cm) e 65.034 plantas ha (80 cm); para o HS3516, foram 90.000 plantas ha (40 cm) e 69.771 plantas ha (80 cm). Já para os demais híbridos, houve aumento de rendimento até 90.000 por hectare independentemente do espaçamento. Foi observado que o híbrido triplo HT 1635x19, embora bastante produtivo, é também muito sensível ao adensamento de plantas.

Em condições irrigadas, Silva et al. (2008), trabalhando com dois espaçamentos entre linhas (40 cm e 80 cm), duas densidades de plantas (7,0 pl m² e 9,0 pl m²) e quatro híbridos simples de milho (AS 1565, da Agroeste Sementes, P 30R50, da Pioneer Sementes, D 2B707, da Dow Agrosience, e NB 7502, da Syngenta Seeds), verificaram sob condições de alto nível de manejo, inclusive com uso de irrigação complementar, que não houve resposta do rendimento de grãos dos híbridos de milho testados à redução do espaçamento entre linhas de 80 para 40 cm.

Tabela 14. Densidades de sementes por hectare que resultaram em máximo rendimento de grãos dos híbridos utilizados em dois espaçamentos entre linhas. Coxilha, RS, 2009.

Híbridos	Espaçamento 40 cm	Espaçamento 80 cm
HS 3919	90.000	90.000
BRS 1002	90.000	90.000
HT 1635 X 19	68.188	65.034
HT 3516 X 08	90.000	90.000
HS 3516	90.000	69.771

Fonte: Teixeira et al. (2009)

Baseado no percentual de perdas, a Tabela 15 indica o número de sementes por 10 metros lineares a ser obtido na regulagem da plantadeira. Em plantios manuais, as fileiras poderão ser espaçadas de 80 cm, 90 cm a 1 m e as covas, espaçadas de 40 a 50 cm, deixando de duas a três sementes por cova.

Tabela 15. Número de sementes por metro linear de sulco para diferentes densidades de semeadura na colheita e no espaçamentos entre linhas.

População na Colheita	Nº Semente plantio (*)	Espaçamentos (cm)			
		Nº Sementes por metro linear			
		50	65	80	90
40.000	44.000	2,2	2,9	3,5	4,0
45.000	49.500	2,5	3,2	4,0	4,5
50.000	55.000	2,8	3,6	4,4	5,0
55.000	60.500	3,0	3,9	4,8	5,4
60.000	66.000	3,3	4,3	5,3	5,9
65.000	71.500	3,6	4,6	5,7	6,4
70.000	77.000	3,9	5,0	5,2	6,9
75.000	82.500	4,1	5,4	6,6	7,4
80.000	88.000	4,4	5,7	7,0	7,9

Fonte: Sementes Agroceres (2011)

(*) Número de sementes no plantio, com acréscimo de 15%, para compensar perdas durante o ciclo da cultura.

Para determinar o espaçamento entre as linhas de semeadura a ser estabelecido, visando obter a razão de distribuição (sementes por hectare) pretendida, Sattler e Faganello (2007) utilizaram as seguintes equações:

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de } ^*S/ \text{ m da regulagem} \times \text{espaçamento planejado}}{\text{N}^\circ \text{ de } S/ \text{ m que se quer distribuir}}$$

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de } S/ \text{ ha da regulagem} \times \text{espaçamento planejado}}{\text{N}^\circ \text{ de } S/ \text{ ha que se quer distribuir}}$$

Como exemplo, para uma regulagem de **3,5 S/m**, utilizando a fórmula proposta, tem-se:

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{S / \text{ha } 70.000 \text{ ha} \times 50 \text{ cm}}{74.712 \text{ S} / \text{ha}} = \mathbf{47 \text{ cm}}$$

ou

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{3,5 \text{ S} / \text{m} \times 50 \text{ cm}}{3,75 / \text{m}} = \mathbf{47 \text{ cm}}$$

Outro exemplo é para regulagem de 4 sementes por metro:

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{80.000 \text{ S} / \text{ha} \times 50 \text{ cm}}{74.712 / \text{ha}} = \mathbf{53 \text{ cm}}$$

ou

$$\text{Espaçamento entre as linhas} = \frac{S / \text{m } 4,0 / \times 50 \text{ cm}}{3,75 / \text{m}} = \mathbf{53 \text{ cm}}$$

*S = semente

Trabalhos de Ottman e Welch (1989) não encontram vantagens na redução do espaçamento de 76 para 38 cm, salvo nos tratamentos em que as parcelas foram irrigadas e as densidades de semeadura foram elevadas. Segundo os autores, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelas plantas de milho exerce um importante papel na produtividade de grãos quando outros fatores ambientais estiverem favoráveis. Uma maneira de aumentar a interceptação da radiação é reduzindo o espaçamento ou aumentando a densidade de semeadura ou ainda as duas variáveis em interação. Entretanto, Westgate et al. (1997) observaram o uso eficiente da radiação pela planta de milho, no espaçamento reduzido e, na alta densidade de semeadura, e chegando a conclusão

que a redução do espaçamento causou menos impacto no rendimento de grãos do que a elevação da densidade de semeadura.

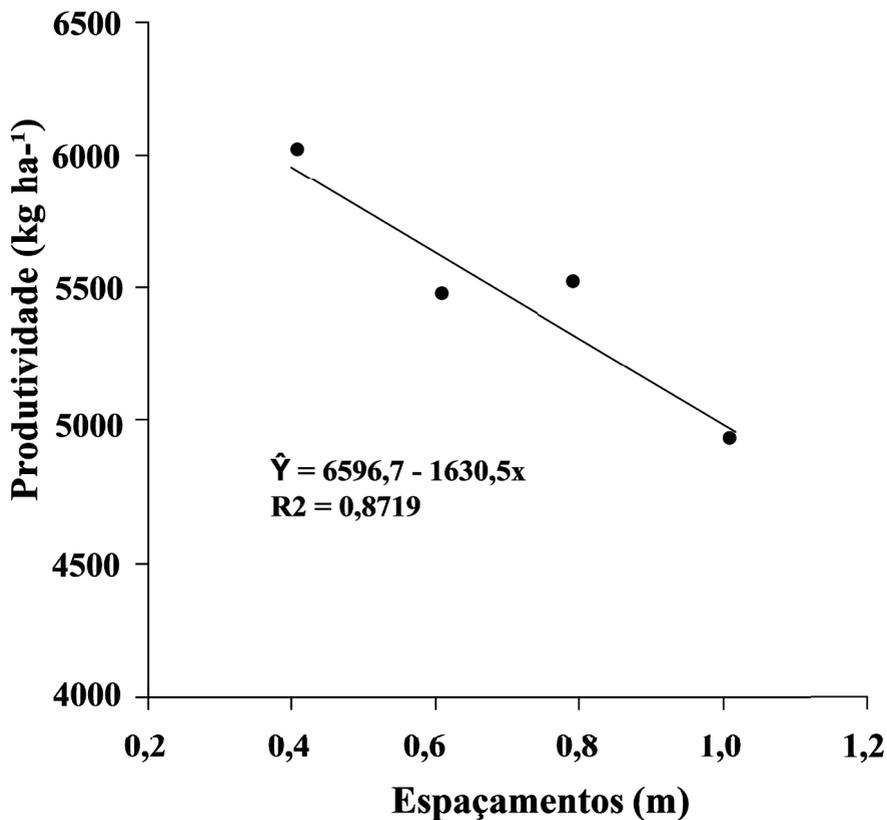
Trabalho conduzido por Strieder et al. (2007) verificou que a redução do espaçamento de 100 cm para 40 cm entre linhas e a elevação da densidade de 4,5 para 9,0 plantas m² proporcionou maior rendimento de grãos nos híbridos de folhas eretas. O rendimento de grãos dos híbridos de folhas decumbentes não foi alterado pelas variações nas densidades de semeadura e no espaçamento entre linhas. Os efeitos da redução do espaçamento entre linhas nas características agrônomicas foram de menor magnitude em relação aos obtidos com as variações nas densidades de semeadura. No geral, os resultados de pesquisas têm mostrado aumentos significativos quando da redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho associada a densidades mais elevadas. Marchão et al. (2005) verificaram em seus estudos que o rendimento de grãos foi afetado pela interação entre híbridos e densidades de plantas, nos dois experimentos, demonstrando influência diferencial das densidades populacionais nos híbridos avaliados. Isso permite concluir que, dependendo do híbrido, é possível aumentar o rendimento de grãos com o incremento da densidade de plantas, utilizando o espaçamento reduzido de 45 cm.

Trabalhando com três variedades (AL Bandeirante, BR 106 e Arapuim), quatro espaçamentos (40 cm, 60 cm, 80 cm e 1,0 m) entre fileiras e três repetições, com população de 50.000 plantas ha⁻¹, Porto et al. (2011) avaliaram as seguintes características agrônomicas: dias para o florescimento, número de plantas, número de espigas, altura de plantas, altura de espiga, diâmetro

do colmo, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, índice de espiga e produtividade, e observaram que as variedades promoveram variações significativas sobre grande parte das características agrônômicas da cultura do milho. As variedades Arapuim e Al Bandeirante produziram um maior número de espigas comparadas à BR 106, sendo que a Arapuim foi mais prolífica. A redução no espaçamento promoveu aumento no número de espigas.

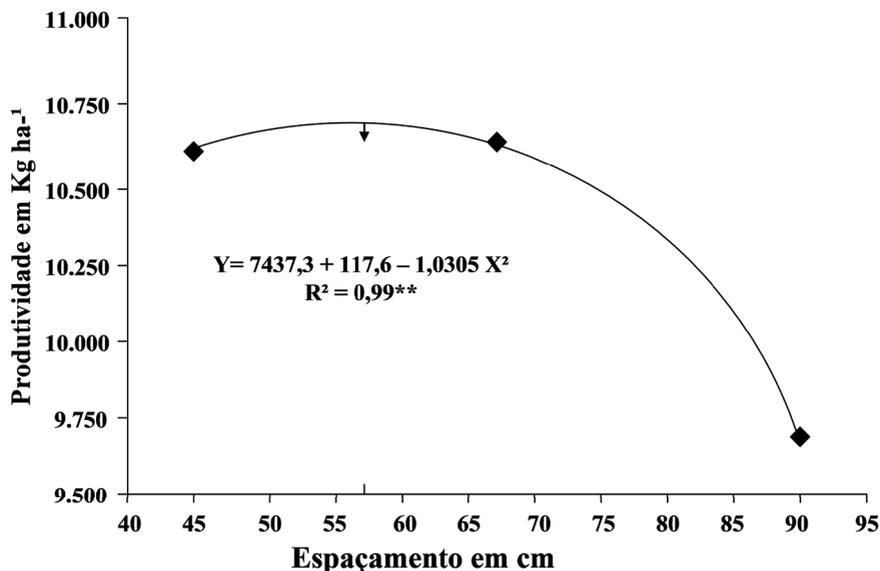
As três variedades apresentaram comportamento semelhante, verificando relação linear significativa e negativa entre os valores de produtividade de grãos e os espaçamentos (Figura 12), sendo o coeficiente de determinação de 87,19%. Verificou-se que houve redução na produtividade de grãos à medida que se aumentou o espaçamento entre linhas. A maior produtividade foi de 6.026,65 kg ha⁻¹, obtida no espaçamento de 0,4 m, sendo superior aos espaçamentos 60 cm, 80 cm e 1,0 m em 10,2, 10,42 e 22,38%, respectivamente.

Nos municípios de Goioêre, Toledo e Cascavel, na região Oeste do Paraná, foram instalados experimentos por Gonçalves (2008), um em cada local, onde foram utilizados os espaçamentos de 45, 68, 90 cm entre linhas, quatro densidades populacionais de 50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare e três cultivares de milho (AS 1570, AS 1565 e AS 1575). O autor verificou que houve efeito do espaçamento no rendimento de grãos, com a máxima produtividade obtida pelo ajustamento da equação da função quadrática, no espaçamento de 57 cm, independentemente de local (Figura 13). Para a população de plantas foi verificada interação entre locais com resposta positiva ao aumento da mesma, em Toledo, onde o nível de fertilidade era mais elevado.



Fonte: Porto et al. (2011).

Figura 12. Efeito de quatro espaçamentos entre linhas sobre o rendimento de grãos em kg ha⁻¹ em Vitória da Conquista, BA, 2011.



Fonte: Gonçalves (2008)

Figura 13. Produção de grãos de milho em kg ha⁻¹ obtida da média de três cultivares, quatro densidades de semeadura e três espaçamento entre linhas.

Redução do Espaçamento no Manejo das Plantas Daninhas

A diversidade de espécies de plantas daninhas e suas infestações aumentaram no último século em função do alto uso efetivo de herbicidas (COUSENS; MORTIMER, 1995; GHERSA; ROUSH, 1993; WYSE, 1994). O controle somente com métodos químicos pode proporcionar mudanças na composição das espécies das plantas daninhas e promover aumento na densidade delas com o tempo. Este fato negativo aumenta o interesse pelo controle através do manejo integrado, para prevenir o estabelecimento de espécies, já que elas estão

altamente adaptadas a um determinado ambiente e são de difíceis controles (COUSENS; MORTIMER, 1995).

O método de Manejo Integrado de Pragas (MIP) pode ser definido de maneiras diferentes como métodos de manejos múltiplos, que são a manutenção da população de pragas em baixos níveis, afim de não causar danos econômicos à cultura do milho, enfatizando principalmente a qualidade ambiental. Cate and Hinkle (1993) sugerem que o conceito de manejo integrado de pragas envolva uma seleção de manejos combinados específicos de pragas, baseando-se na economia, ecologia e em consequências sociais que unam metas agrônômicas e ambientais. O Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) pode ser desenvolvido através das metas e dos objetivos similares aos do MIP (THILL et al., 1991). O desenvolvimento e uso do manejo integrado de plantas daninhas, estrategicamente, tem se tornado importante, face aos danos reais causados ao meio ambiente e à sociedade, quando correlacionando com os sistemas tradicionais de produção. As estratégias do manejo integrado de plantas daninhas e manejo integrado de pragas dão aos produtores ferramentas conceituais e tecnológicas necessárias para desenvolver métodos de não deixar evoluir espécies de plantas resistentes a um determinado controle específico.

Mais estudos são necessários na área de desenvolvimento e manejo de plantas, particularmente na área de interferência das culturas (ELMORE, 1996; JORDON, 1993) juntamente com desenvolvimento de plantas daninhas, e vice-versa (JORDON, 1993). O uso de densidades mais elevadas e a redução do espaçamento contribuem para que a planta de milho aumente

a sua competitividade com as plantas daninhas (SWANTON; WEISE, 1991; SWANTON; MURPHY, 1996; TEASDALE, 1995).

O arranjo espacial das plantas de milho proporcionado pela redução do espaçamento entre linhas e densidades de semeadura reduz o potencial de interferência das plantas daninhas pelo aumento da interceptação de luz pela cultura principal (GUNSOLUS, 1990; TEASDALE, 1995). A luz que consegue chegar até a superfície do solo é insuficiente para a germinação e o crescimento das plantas daninhas, permitindo assim que a planta principal se desenvolva mesmo na presença das plantas invasoras que consigam germinar e crescer em tais circunstâncias, sem prejuízo para o rendimento de grãos. Entretanto, Bullock et al. (1988) notaram que o crescimento da planta de milho na fase de desenvolvimento é muito mais rápido em espaçamento reduzido do que a observada em espaçamentos mais amplos. A maior capacidade competitiva da cultura permite redução no uso de herbicida. Forcella et al. (1992) verificaram que o milho cultivado em espaçamento reduzido sofreu menores danos competitivos proporcionados pelas plantas daninhas, com o uso apenas de um terço de herbicida. Segundo Teasdale (1995), espaçamento reduzido entre linhas em relação aos convencionais (80 e 90 cm), além de proporcionar maiores rendimentos de grãos, pode simultaneamente suprimir o crescimento das plantas daninhas. Mesmo que a redução do espaçamento em algumas circunstâncias não propicie aumento de rendimento de grãos em milho, sua adoção pode justificar-se pelo aumento da competitividade da planta de milho com as plantas daninhas, devido a maior interceptação da luz pela cultura, reduzindo assim a dependência pelo controle químico.

O sistema de cultivo em espaçamento reduzido tem as vantagens de proporcionar melhor aproveitamento da luz pelas plantas economicamente cultivadas e de reduzir a densidade das plantas daninhas que crescem no período de desenvolvimento da cultura do milho. Pesquisas realizadas pela Universidade do Kansas nos EUA mostraram que o desenvolvimento das plantas daninhas foi reduzido de 25% para 45% nos espaçamentos menores que o de 75 cm, convencionalmente usado (STAGGENBORG et al., 2001). Utilizando espaçamentos de 50 e 75 cm e duas densidades de sementes (69.160 e 98.800 plantas por hectare) em três anos, objetivando reduzir a supressão de plantas daninhas sobre a cultura do milho, Murphy et al. (1996) verificaram que o menor espaçamento e a maior densidade de sementeira proporcionaram aumento de rendimento de grãos na ordem de 16 a 21%. Segundo os autores, o fato se deve principalmente ao espaçamento reduzido, que suprimiu em maior quantidade as plantas daninhas, refletindo numa menor quantidade de biomassa, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16. Biomassa de plantas daninhas obtidas nos estágios de 12 a 14 folhas da planta de milho e percentagem de interceptação da luz no estágio de pendramento. Dados observados em três anos.

Anos	Biomassa (g m ²)		Interceptação da luz (%)	
	50 cm	75 cm	50 cm	75 cm
1990	39	49	74	65
1991	47	57	72	61
1992	229	272	70	83

Fonte: Murphy et al. (1996)

Vários trabalhos têm mostrado claramente um aumento moderado no rendimento de grãos de milho quando cultivado em espaçamento reduzido, isto é, abaixo de 76 cm, quando comparado ao cultivado em espaçamentos acima de 76 cm (BULLOCK et al., 1988; MURPHY et al., 1996; PORTER et al., 1997). Porter et al. (1997) investigaram a relação entre espaçamento, densidade de semeadura e híbridos sobre o rendimento de grãos de milho em três locais no estado de Minnesota nos anos de 1992 e 1994. Em duas das três localidades, o rendimento de grãos na média das densidades de semeadura e, híbridos aumentou em 7,2% nos espaçamentos de 25 e 51 cm entre linhas quando comparado com os resultados obtidos no espaçamento de 76 cm. A principal razão para o aumento do rendimento do milho cultivado em espaçamento reduzido é a menor competição entre plantas de milho por luz, água e nutrientes devido ao melhor arranjo espacial das plantas. Acciares e Zuluaga (2006), utilizando três híbridos de milho nos espaçamentos de 70 e 35 cm entre linhas, observaram maior interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, com menor produção de biomassa aérea das plantas daninhas no menor espaçamento. Os autores concluíram que a maior interceptação da luz no dossel da cultura proporcionou diminuição da competição das plantas daninhas, o que proporcionou aumento na produção de grãos de milho. A redução do espaçamento surge como uma alternativa para incremento da produção de grãos e aumento da capacidade da planta de milho suportar mais a competição com as plantas daninhas (OLSON; SANDER, 1988). Fulton (1970) verificou melhor rendimento de grãos de milho no espaçamento de 51 cm quando comparado com o de 102 cm devido a maior umidade do solo e densidade de plantas no espaçamento mais estreito.

Segundo Greg (1997), ao longo do tempo, os benefícios da redução do espaçamento sobre o controle de plantas daninhas pode levar à redução da quantidade e do número de aplicação de herbicidas por área, menor interferência da planta daninha sobre a cultura principal, principalmente quando do uso de cultivares mais precoces, e densidade de semeaduras mais elevadas. Entretanto, o autor ressalta que milho cultivado em espaçamento reduzido pode dificultar a aplicação de herbicidas pós-emergentes. Mas várias opções estão disponíveis para amenizar o problema. A forma que alguns produtores encontraram para solucionar a dificuldade é fazer a aplicação dos pós-emergentes quando as plantas estiverem no estágio de 2 a 3 folhas.

O espaçamento reduzido promove uma maior interceptação da luz solar pelas plantas, oferecendo vantagens para o manejo das plantas daninhas na cultura do milho, quando se compara com o espaçamento convencional. Este fato é devido ao fechamento mais rápido da lavoura, permitindo assim um sombreamento mais acelerado. Segundo Pioneer (2005) as pesquisas indicam que as plantas daninhas podem ser reduzidas entre 25 e 45% em espaçamentos mais estreitos utilizados na cultura do milho, quando comparados com os espaçamentos convencionais (90 a 80 cm entre linhas). Entretanto, este fato depende de alguns fatores, como a rotação de culturas, espécies de plantas daninhas existentes no local e condições de clima.

A redução do espaçamento aumenta a capacidade competitiva da planta de milho com as ervas daninhas, fato este de suma importância na manutenção da produtividade de grãos do cereal. Segundo Gregg et al. (1998), a simples redução do

espaçamento não foi eficaz para o aumento do rendimento de grãos de milho. Os autores relatam que o aumento do rendimento de grãos e o controle das plantas daninhas verificados em outros trabalhos levam em consideração fatores importantes, como a escolha do híbrido, densidade de semeadura, bem como as espécies de plantas daninhas existentes no local de cultivo. A utilização de práticas de manejo que proporcionem vantagens competitivas à cultura do milho, como a redução do espaçamento entre linhas, tem permitido a diminuição de doses e de aplicação de herbicidas, o que propicia a redução do custo de produção da lavoura e conseqüentemente menor contaminação ambiental (BUHLER et al., 1992).

A redução do espaçamento associada à aplicação de herbicidas reduz a infestação de plantas daninhas, resultado encontrado por Balbinot et al. (2010), que confirma a prática. Neste trabalho, o autor utiliza o tratamento S1: cultivo de consórcio de espécies para cobertura do solo no inverno, uso de sementes de milho com elevada massa (espessa massa de cobertura do solo) e espaçamento entre fileiras de 0,45 m, e o tratamento S2, de pousio no inverno, uso de sementes de milho com baixa (pouca massa na cobertura do solo) massa, espaçamento entre fileiras de 0,90 m. Associadas a estes tratamentos, foram avaliadas quatro estratégias de controle de plantas daninhas no milho: sem controle, atrazine, atrazine+mesotrione e capina. Os autores verificaram que em S1 os tratamentos atrazine, atrazine+mesotrione e capina não diferiram entre si para massa seca da parte aérea de plantas daninhas (Tabela 17). Já no tratamento S2, a aplicação isolada de atrazine proporcionou maior acúmulo de massa seca pelas plantas daninhas em relação à aplicação de atrazine + mesotrione e capina. Portanto,

na ausência de práticas culturais de manejo de plantas daninhas, a aplicação isolada de atrazine não foi eficiente no controle delas. Por outro lado, em S1 – adoção integrada de práticas culturais de manejo de plantas daninhas proporcionou adequado controle, mesmo em situação de uso isolado de atrazine. Adicionalmente, na situação sem controle, houve maior massa acumulada pelas plantas daninhas no tratamento S2 em relação ao S1, o que demonstra os efeitos das práticas culturais na redução da infestação de plantas daninhas na cultura do milho.

Tabela 17. Massa seca da parte aérea de plantas daninhas aos 130 dias após a semeadura do milho (DAS) (g m⁻²), em diferentes sistemas de manejo e estratégias de controle no verão. Epagri/Canoinhas, SC, 2010.

Estratégia de controle no verão	Sistemas de manejo de plantas daninhas	
	S1	S2
Sem controle	89,0 a ¹ B ¹	146,4 a A
Atrazine	17,3 b A	50,5 b A
Atrazine + mesotrione	3,7 b A	2,9 c A
Capina	0,7 b A	0,9 c A
Coeficiente variação (%)	48,0	

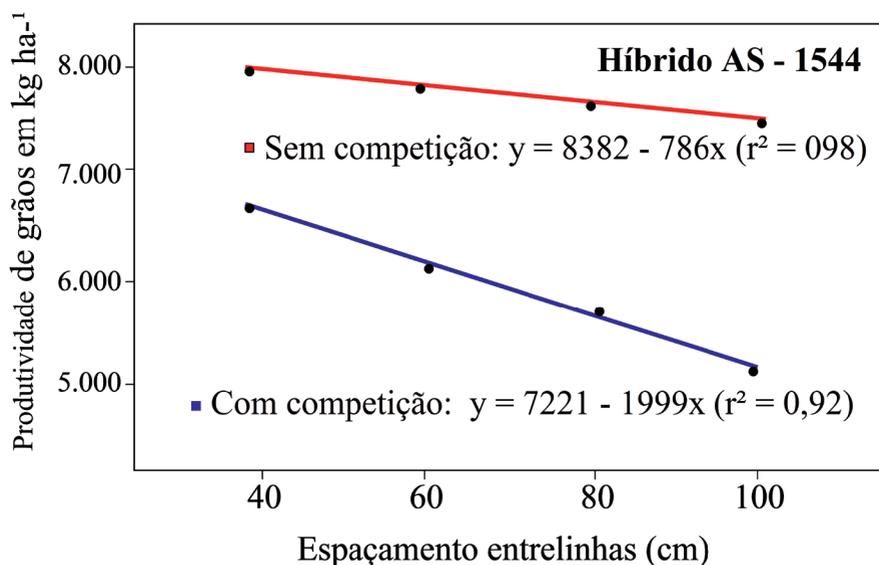
¹Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade do erro.

*S1 cultivo de consórcio para cobertura do solo no inverno, espaçamento entre fileiras do milho em 0,45 m e sementes de elevada massa.

*S2 pousio no inverno, espaçamento entre fileiras do milho em 0,90 m e sementes de baixa massa.

Fonte: Balbinot et al. (2010).

Balbinot Júnior e Fleck (2005), em estudos envolvendo duas cultivares de milho, sendo um híbrido moderno (AS-1544) e uma variedade antiga (Cateto), em quatro espaçamentos entre linhas (40; 60; 80 e 100 cm), e mais os tratamentos ausência e presença de plantas daninhas, verificaram que houve redução na massa produzida pelas plantas daninhas, porém, com efeito mais acentuado para o híbrido do que para a variedade. Verificaram também que à medida que o espaçamento foi reduzido houve aumento na produtividade de grãos do híbrido,

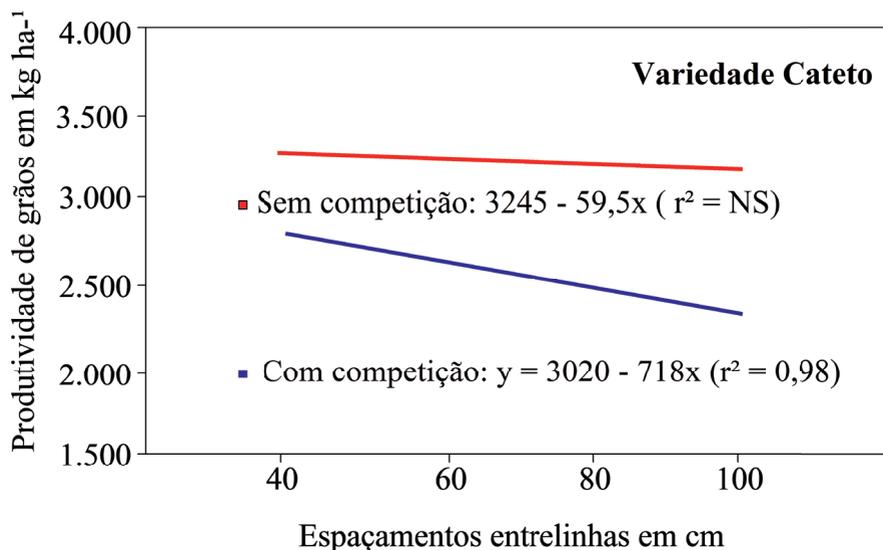


Fonte: Modificado de Balbinot Júnior e Fleck (2005)

tanto na presença quanto na ausência de plantas daninhas (Figura 14).

Figura 14. Produtividade de grãos do híbrido AS – 1544 em diferentes espaçamentos, com e sem competição com plantas daninhas. Canoinhas, SC.

Os autores verificaram ainda que a variedade Cateto somente teve aumento de produtividade na presença de plantas



Fonte: Modificado de Balbinot Júnior e Fleck (2005)

daninhas (com competição), com a redução de espaçamento. (Figura 15).

Figura 15 - Produtividade de grãos da variedade Cateto em diferentes espaçamentos, com e sem competição com plantas daninhas. Canoinhas, SC.

Trabalhando com milho-doce, Barbieri et al. (2005) verificaram que os híbridos MD2001 e MD2002 se comportaram de maneira diferente em relação aos diferentes espaçamentos e densidades de semeadura utilizados no trabalho. O primeiro híbrido (MD2001) mostrou, independentemente dos espaçamentos, maior produtividade de espiga e grãos em relação ao aumento da densidade de semeadura, conforme evidencia a Figura 16, e o segundo híbrido (MD2002) mostrou maior rendimento industrial em relação a redução do espaçamento,

independentemente da densidade de semeadura, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18. Rendimento industrial (%) de híbridos de milho-doce em função da densidade de semeadura e espaçamentos entre linhas.

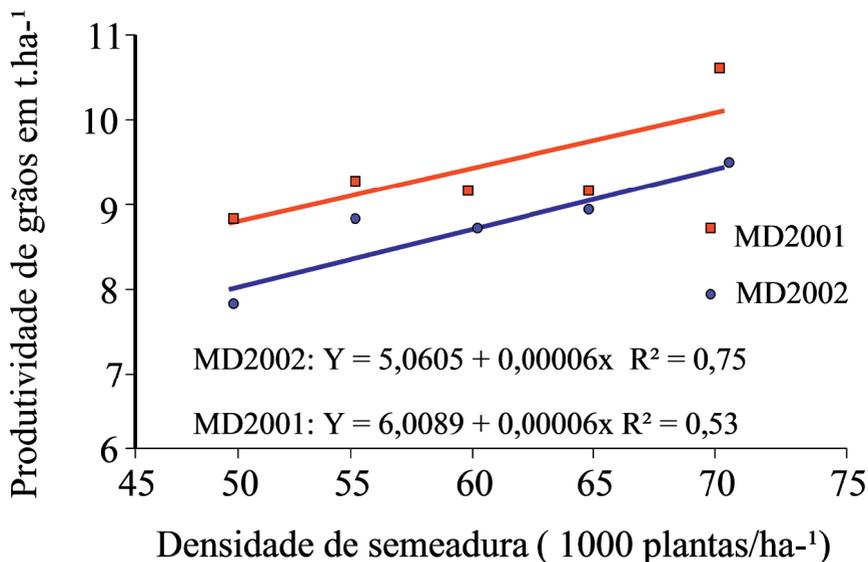
Híbrido	Densidade de semeadura				
	50.000	55.0000	60.0000	50.000	70.000
MD2001	43,62	46,22	43,60	44,54	43,67
MD2002	47,35	48,58	48,01	49,12	48,18

Híbrido	Espaçamentos entre linhas (cm)			
	60	70	80	90
MD2001	44,98	44,37	43,78	44,20
MD2002	48,25	47,65	49,01	48,08

Fonte: Barbieri et al. (2005)

O híbrido simples MD2001 apresentou produtividade de espigas ($20,81 \text{ t ha}^{-1}$) superior ao híbrido triplo MD2002 ($17,55 \text{ t ha}^{-1}$). Em boas condições ambientais, os híbridos simples podem apresentar maior potencial produtivo que os híbridos duplos, triplos e variedades, resultado de seu maior potencial genético (BELASQUE JÚNIOR et al., 2000).

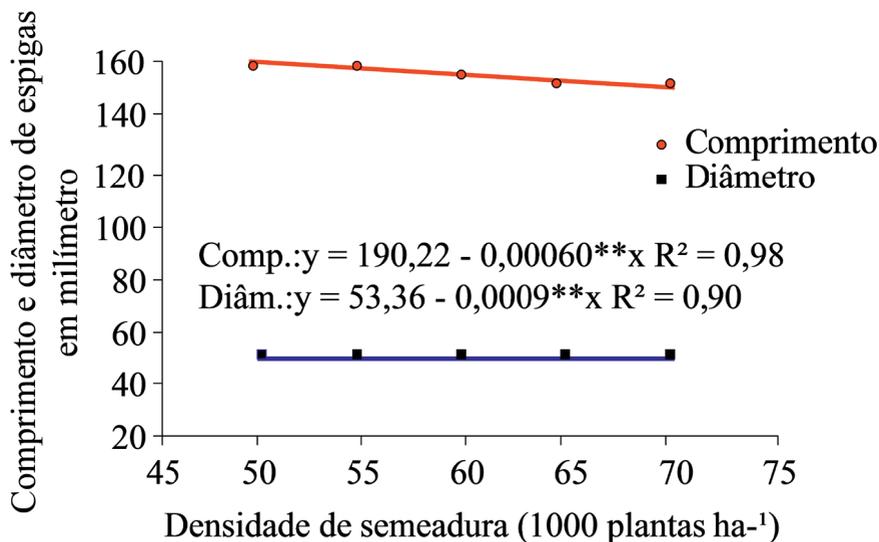
A produtividade de espigas (PE) diminuiu linearmente quando se elevou espaçamento entre linhas (E), independentemente do híbrido e da densidade de semeadura utilizados. A cada centímetro aumentado no espaçamento entre linha espera-se uma redução de $52,30 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade de espigas de acordo com a equação de regressão: $(PE) = 23,10 - 0,0523^{**}E$, $R^2 = 0,92$.



Fonte: Barbieri et al. (2005)

Figura 16. Produtividade média de grãos do milho MD2002 e MD2001 com 60 e 70 cm de espaçamento entre linhas, respectivamente, em função de densidades de semeadura.

Com relação ao comprimento e diâmetro de espigas, as duas características se comportaram de maneira diferente diante das densidades de semeadura utilizadas. O comprimento de espigas decresceu com a elevação do número de plantas por área, ao passo que o diâmetro de espigas não foi influenciado por esta variável, conforme mostra a Figura 17. Os autores chegaram à conclusão que o híbrido doce MD2001 é melhor para produção de espigas e grãos enquanto o MD2002 é de melhor rendimento industrial.



Fonte: Barbieri et al. (2005)

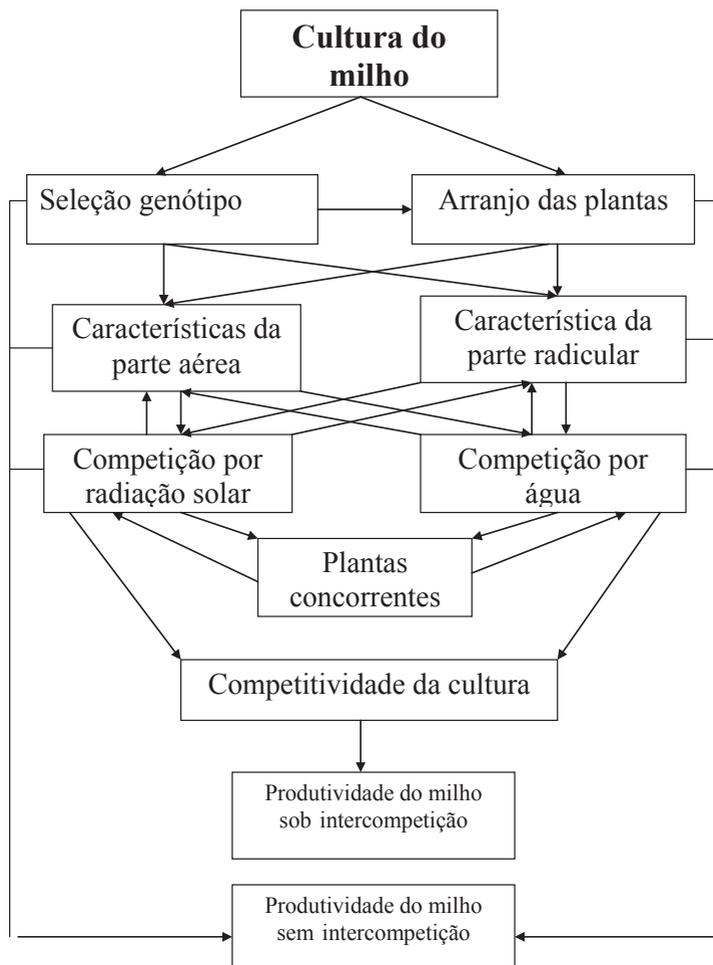
Figura 17. Comprimento e diâmetro de espigas de milho-doce em função da densidade de plantas.

Estudo conduzido por Johnson et al. (1998), sobre manejo integrado no controle de plantas daninhas na cultura do milho, mostrou pouco benefício da redução do espaçamento no controle das plantas daninhas da cultura, como forma de reduzir o uso de herbicida ou aumentar o rendimento de grãos do milho. Os autores afirmam que a redução do espaçamento teve pouco impacto sobre densidade, desenvolvimento e biomassa das plantas daninhas. Este resultado discorda de vários outros estudos sobre o assunto conduzidos por Forcella et al. (1992), Murphy et al. (1996), Porter et al. (1997) e Teasdale (1995). A diferença dos resultados positivos em relação à redução do espaçamento dos trabalhos conduzidos pelos autores citados pode ser por causa da escolha dos híbridos, da densidade de sementeira e das espécies das plantas daninhas existentes na área.

No Canadá, vários trabalhos foram conduzidos por Begna et al. (2001), em diferentes locais e anos, para estudar o impacto de híbridos de diferentes arquiteturas e ciclos (ciclo precoce e porte baixo e ciclo longo e porte alto), em dois espaçamentos (38 e 76 cm) e em duas densidades de plantio (densidade local e uma outra proposta com mais plantas por área), sobre a produção de biomassa de plantas daninhas transplantadas e de ocorrência natural na cultura do milho. Os autores verificaram que em todos os locais e anos houve um decréscimo na produção de biomassa de plantas daninhas, tanto transplantadas como as de ocorrência natural, no espaçamento reduzido (38 cm) e na densidade de semeadura mais elevada. A combinação do espaçamento reduzido com a densidade mais elevada permitiu uma melhor interceptação da luz pela cultura, na ordem de 3 a 5%. A produção de biomassa das plantas daninhas transplantadas e de ocorrência natural da cultura do milho foi de cinco a oito vezes menor do que no tratamento somente com planta daninha exclusiva. Os autores observaram também que o híbrido influenciou na produção da biomassa das plantas daninhas, ou seja, na presença do milho mais precoce, houve menor índice de plantas invasoras, quando comparado ao híbrido de ciclo tardio e porte alto. Desta forma, eles concluíram que a escolha do híbrido é muito importante no componente do manejo integrado para controle das plantas daninhas num sistema de agricultura sustentável.

A escolha da cultivar e do arranjo espacial das plantas de milho pode influenciar em vários fatores que determinam a produtividade de grãos na presença ou ausência de competição interespecífica. A Figura 18 é um esquema proposto por Balbinot Júnior e Fleck (2005), e mostra as relações que determinam a produtividade de grãos de milho na presença ou

ausência de competição interespecífica em função do arranjo de plantas.



Fonte: Balbinot Júnior e Fleck (2005)

Figura 18. Possíveis relações entre eventos que determinam a produtividade de grãos de milho na presença ou ausência de competição interespecífica.

A presença de plantas daninhas desde a fase inicial do plantio do milho pode causar até a perda total da cultura, segundo relatos de Rajcan e Swanton (2001). Trabalhos realizados por Ford e Pleasant (1994) verificaram redução média de produtividade de grãos em seis genótipos de milho, sob interferência de plantas daninhas na ordem de 70% em relação à testemunha capinada.

O melhoramento de milho até então só se preocupou em obter cultivares em que predominassem a melhoria da produtividade e qualidade de grãos. Entretanto, mais recentemente, pesquisas relacionadas à habilidade competitiva de genótipos de culturas com plantas daninhas ganharam importância, principalmente porque a adoção de genótipos competitivos constitui-se em cultura que promove reduções de custo e impacto ambiental. Neste caso, a utilização de cultivares de milho de elevada capacidade competitiva representa ferramenta importante para o manejo de plantas daninhas (RAJCAN; SWANTON, 2001).

A redução do espaçamento no manejo combinado envolvendo cultivares de elevada capacidade competitiva e altas densidades de semeadura pode reduzir a interferência das plantas daninhas na cultura do milho, facilitando assim o controle delas, diminuindo em grande parte a utilização de herbicidas, contribuindo para melhoria das condições ambientais e preservando o potencial genético produtivo do milho.

Redução do Espaçamento e sua Influência nas Doenças do Milho

O espaçamento entre linhas no cultivo do milho interfere diretamente no arranjo de plantas, que exerce efeito na

interceptação e na eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel para a produção de grãos. Esse efeito é mais significativo no milho do que em outras gramíneas, em função de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da planta. Algumas mudanças no manejo estão se mostrando eficientes e cada vez mais utilizadas na cultura do milho, a exemplo da redução do espaçamento entre linha (SILVA et al., 2006).

A produtividade da cultura do milho está relacionada com o potencial produtivo do híbrido ou da variedade utilizado, somando-se a isto o ambiente e o manejo. A elevação do rendimento de grãos é atribuída às mudanças nas práticas culturais, ao melhoramento genético, às alterações climáticas, e à interação entre esses três fatores (PRANDO et al., 2010).

A redução do espaçamento proporciona uma melhor distribuição das plantas, permitindo a utilização de uma maior população de plantas por hectare, o que pode induzir a uma maior produtividade. Em contrapartida, o espaçamento reduzido favorece a incidência de doenças na cultura (CASA; REIS, 2003), pois diminui a aeração e a luminosidade no interior do dossel, propiciando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento de doenças (SANGOI et al., 2000), principalmente quando, paralelamente, aumenta-se a população de plantas. Essa manipulação do ambiente requer muitas vezes a intervenção do produtor por meio de aplicações de defensivos recomendados para o controle de doenças na cultura. Essa prática, que no passado não era comum, nos dias de hoje tornou-se uma grande aliada do manejo da cultura do milho. Os programas de melhoramento genético de milho, conduzidos nos centros de pesquisas, têm priorizado a seleção

de híbridos cada vez mais produtivos. Assim, a adoção de práticas de manejo que melhoram as condições do ambiente, tais como rotação de culturas, fertilização do solo, tratamento de sementes, controle de plantas invasoras e insetos, e a correta identificação e tomada de decisão quanto ao controle químico de doenças são ferramentas importantes que viabilizam a obtenção de altas produtividades (SANGOI; SILVA, 2005).

Tabela 19. Resumo da análise da variância (Prob. F) para as características avaliadas no milho híbrido DKD 234, em função do espaçamento entre linha, aplicação de fungicida e a interação do espaçamento com a aplicação de fungicida. Londrina, PR. 2007.

*Fontes de variação	Ph	He	M 100	NFE	NGF	Sacos ha ⁻¹
Espaçamento	0,3599 ^{ns}	0,7138 ^{ns}	0,1509 ^{ns}	0,0943 ^{ns}	0,0018 ^{**}	0,0037 ^{**}
Fungicida	0,0026 ^{**}	0,0001 ^{**}	0,0003 ^{**}	0,1165 ^{ns}	0,0564 ^{ns}	0,0005 ^{**}
Esp. X Fungicida	0,3419 ^{ns}	0,7755 ^{ns}	0,6559 ^{ns}	0,7427 ^{ns}	0,3683 ^{ns}	0,2855 ^{ns}
Coef. Variação	51,78	41,71	4,23	6,96	1,92	8,12

*Ph: Phaeosphaeria; He: helmintosporiose; M 100: massa de 100 grãos; NFE: número de fileiras por espiga; NGF: número de grãos por fileira; Sc ha⁻¹: produtividade sacas por hectare.

Fonte: Prando et al. (2010)

Os autores Prando et al. (2010) verificaram que o espaçamento entre linha não influenciou significativamente a incidência de *Phaeosphaeria maydis* e *Helminthosporium turcicum* (Tabelas 19 e 20). Nos três espaçamentos, a nota de doença foi em média 2,3 para *Phaeosphaeria maydis* e 3,3 para *Helminthosporium turcicum*. A redução do espaçamento entre linha provavelmente não reduziu o fluxo de ar no interior do dossel. Segundo

Sangoi e Silva (2005), a redução do espaçamento favorece um período mais prolongado de deposição de orvalho nas folhas, estimulando a germinação de esporos de fungos que ocasionam doenças foliares, causadas pelo aumento de densidade. Prando et al. (2010) observaram também o efeito da redução do espaçamento na produtividade do híbrido utilizado e concluíram que a massa de 100 grãos não foi influenciada significativamente pela diferenciação dos espaçamentos, enquanto o número de grãos por fileira foi influenciado pelo espaçamento intermediário (67 cm), apresentando maior média, ou seja, de 30 grãos por fileira (Tabela 20).

Tabela 20. Valores médios para as características avaliadas no milho híbrido DKD 234, em função dos diferentes espaçamentos entre linhas. Londrina, PR, 2007

Espaçamentos	*Ph	He	M100	NFE	NGF	Sacos ha ⁻¹
90 cm	1,9	3,5	29,26	14	28 b	95 b
67 cm	2,8	3,5	30,57	15	30 a	111 a
45 cm	2,3	3,0	29,23	14	28 b	98 b
Média	2,3	3,3	29,92	14	28	102

Letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

*Ph: Phaeosphaeria; He: helmintosporiose; M 100: massa de 100 grãos; NFE: número de fileiras por espiga; NGF: número de grãos por fileira.

Fonte: Prando et al. (2010)

Trabalhando com dois espaçamentos entre linhas (40 cm e 60 cm), correspondentes a duas densidades de semeadura (62.500 e 90.000 plantas ha⁻¹) envolvendo sete híbridos comerciais e 21 genótipos obtidos do inter cruzamento entre eles, Faria et al. (2010) verificaram que os espaçamentos não interferiram na severidade da ferrugem-comum-do-milho

(*Puccinia sorghi*). Contudo, para consolidar os resultados, os autores recomendam que os estudos sejam repetidos em diferentes locais e anos.

Trabalhos de Silva et al. (2008) utilizando os espaçamentos de 50, 60 e 80 cm entre linhas e as densidades de semeaduras de 40.000, 50.000, 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ verificaram que espaçamentos de 50 e 60 cm proporcionaram maiores severidades de doenças foliares nas plantas de milho. As seguintes doenças foram encontradas no momento da avaliação: cercospora (*Cercospora zea-maydis*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), mancha-de-diplodia (*Diplodia macrospora*), mancha-de-faeosféria (*Phaeosphaeria maydis*) e ferrugem-polysora (*Puccinia polysora*). Verificou-se que o híbrido P30K75, quando cultivado com 50 cm entre linhas, apresentou maior índice de severidade, não diferindo do espaçamento de 60 cm (Tabela 21). A menor incidência foi constatada no espaçamento de 80 cm. Apesar de ter ocorrido aumento na severidade de doenças com a redução do espaçamento entre linhas, por causa das melhores condições de microclima para o desenvolvimento de patógenos, os valores obtidos são considerados baixos em razão da tolerância a doenças do híbrido em questão.

Tabela 21. Valores médios de severidade de doenças foliares do milho P30K75 em função do espaçamento entre linhas e da população de plantas por hectare, Rio Verde (GO).

Densidade de semeadura (1000 plantas ha ⁻¹)	Severidade de doenças (%)
40	4,72
50	5,25
60	6,17
70	3,92
80	5,00
*Espaçamento entre linhas (cm)	
50	6,75 a*
60	4,85 ab
80	3,45 b
Média	5,02
Coefficiente de variação (%)	*25,45

Fonte: Modificado de Silva et al. (2008)

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos Estados Unidos, Thomison et al. (1997) verificaram que as lavouras de milho na região leste do estado de Ohio, em 1995, sofreram forte queda no rendimento de grãos, em função do aparecimento da cercosporiose, causada pelo fungo *Cercospora zeaе maydis*. Nesta mesma década, a doença se espalhou para outras regiões do estado, causando danos severos no centro-oeste e no norte, onde nunca tinha sido registrado o aparecimento da doença. De acordo com os fitopatologistas da época, a doença foi responsável por cerca de 8 a 9% de queda

no rendimento em todo o estado, e em Indiana, a perda chegou a 11%. Como se não bastasse a cercosporiose, dois anos depois apareceram também outras doenças causadas pelos fungos da *Antracnose*, *Gibberella* e *Fusarium*, que provocam danos no colmo da planta, como podridão e acamamento. Diante de tal situação, despertou-se o interesse em verificar o impacto da redução do espaçamento e da elevação da densidade de sementes em relação às doenças citadas. Os experimentos foram instalados em áreas de produtores em Coshocton e Knox, Ohio, em sistema de plantio direto, onde principalmente a pressão da doença cercosporiose foi mais intensa. Na primeira localidade foram usados dois espaçamentos, de 80 cm e de 50 cm, associados às densidades de semeadura de 40.000, 54.000, 69.000 e 84.000 plantas por hectare e à cultivar de milho susceptível a cercosporiose, Pioneer 3394. Já em Knox, foram avaliados dois espaçamentos entre linhas, de 80 e 50 cm, com uma densidade de milho usada localmente de 74.000 plantas por hectare e uma cultivar de milho moderadamente resistente, Dekalb 618. Um terceiro experimento foi instalado em Coshocton em sistema convencional de plantio com densidades de semeaduras de 40.000, 54.000, 69.000 e 84.000 plantas por hectare no espaçamento de 80 cm, com o mesmo objetivo dos anteriores.

Os resultados mostraram que tanto a cercosporiose quanto as doenças de caule não foram influenciadas pela redução do espaçamento e pelas densidades de semeadura em Coshocton, apenas a produção de grãos teve uma leve tendência de aumento no espaçamento de 50 cm, como mostra a Tabela 22.

Tabela 22. Efeito do espaçamento e da densidade de plantas sobre algumas características agrônômicas e na percentagem de infestação de cercosporiose na folha do milho Pioneer Brand 3394. Coshocton, Ohio. 1997

Densidade de plantas (plantas ha ⁻¹)	Espaçamento (cm)	Produção de grãos (kg ha ⁻¹)	Acamamento (%)	Podridão do colmo (%)	Folhas infectadas (%)		
					8-27	9-15	9-26
40.000	100	5.204	4	20	5	21	43
54.000	100	6.332	5	30	3	22	38
69.000	100	6.583	3	40	2	17	31
84.000	100	6.709	4	30	2	18	37
84.000	50	7.085	6	40	3	20	34
LSD 0.05)	**	12	ns	ns	ns	ns	Ns

Fonte: Modificado de Thomison et al. (1997)

Em Knox, os espaçamentos de 80 e 50 cm na densidade de planta de 74.000 plantas por hectare não influenciaram nas características agrônômicas e na infestação de doenças na folha do híbrido Dekalb 618, como evidencia a Tabela 23.

Tabela 23. Efeito de diferentes espaçamentos sobre a infestação de cercosporiose e em algumas características agronômicas do milho Dekalb 618. Knox, Ohio, 1997.

Espaçamentos (cm)	Produção de grãos (kg ha ⁻¹)	Acamamento (%)	Podridão do colmo (%)		Folhas infectadas (%)	
			9-26	10-15	9-15	9-26
80	11.223	2	26	47	27	62
40	11.223	0	30	47	18	59
LSD (0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Fonte: Modificado de Thomison et al. (1997)

O terceiro experimento de Coshocton plantado em sistema convencional apresentou resultado diferenciado do semeado em plantio direto, com maior produtividade quando da elevação da densidade de semeadura. Os níveis de infestação de cercosporiose nas folhas foram diferentes nas avaliações realizadas nos períodos de 9 a 15 e de 9 a 26 dias, respectivamente.

Influência da Redução do Espaçamento na Qualidade da Semente

Além da produtividade de grãos, a semente do milho pode sofrer alterações em outras características, a exemplo do teor de proteína, fator importante no valor nutritivo do cereal.

O arranjo de plantas em milho foi alterado ao longo do tempo à medida que as modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram incorporadas pelos programas

de melhoramento, juntamente com modificações no manejo cultural (SANGOI et al., 2002).

Strieder (2006), trabalhando com os espaçamentos de 40 e 80 cm entre linhas em diferentes sistemas de manejo envolvendo duas cultivares, registrou aumento do percentual de proteína somente no sistema de manejo de baixo rendimento, abaixo de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$. Já nos rendimentos acima de $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ não houve alteração da característica (Tabela 24).

Tabela 24. Percentagem de proteína dos grãos de milho em função da variação no espaçamento entre linhas em dois híbridos. Eldorado do Sul, RG, 2003/2004.

Híbridos	Espaçamentos entre linhas em centímetros	
	40	80
Flach	B 9,2 a	A 10,3 a
Penta	A 11,6 a	B 9,1 b

Fonte: Strieder (2006)

No Paraná, trabalhando com diferentes espaçamentos, níveis de nitrogênio e potássio em cobertura, na cultura do milho, Deparis (2006) verificou na interação espaçamento x adubação (nitrogênio) maior valor de proteína no grão para o espaçamento de 90 cm, bem como a quantidade de nitrogênio em relação aos espaçamentos de 67 e 45 cm. O percentual de proteína nos espaçamentos mais estreitos não foi diferente, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25. Percentagem de proteína no grão, nitrogênio no grão e rendimento de grãos obtidos em diferentes espaçamentos, níveis de nitrogênio e potássio em cobertura. Cascavel, PR, 2006.

Espaçamento (cm)	Nitrogênio no grão (g kg ⁻¹)	Proteína (%)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
45	13,80 b	8,62 b	9.919,32 a
67	14,17 b	8,85 b	9.557,77 a
90	14,92 a	9,33 a	9.374,36 a

Fonte: Modificado de Deparis (2006)

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outro trabalho conduzido por Amaral Filho et al. (2005), utilizando espaçamentos de 60 e 80 cm entre linhas do milho, verificou que o percentual de proteína no grão foi pouco maior no espaçamento de 60 cm (9,1%) em relação ao espaçamento de 80 cm, em que o valor da taxa de proteína foi de 8,9%. Entretanto, a pequena diferença observada não foi significativa.

Redução do Espaçamento no Controle da Erosão Superficial do Solo

O processo erosivo é constituído basicamente de três eventos sequenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, o transporte e a deposição das partículas carregadas nas seções inferiores das paisagens. Esse destacamento e transporte são causados pela ação das gotas de chuvas e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo a fase inicial e mais importante da erosão hídrica (BASTOS et al., 2001). Este processo pode ser diminuído em

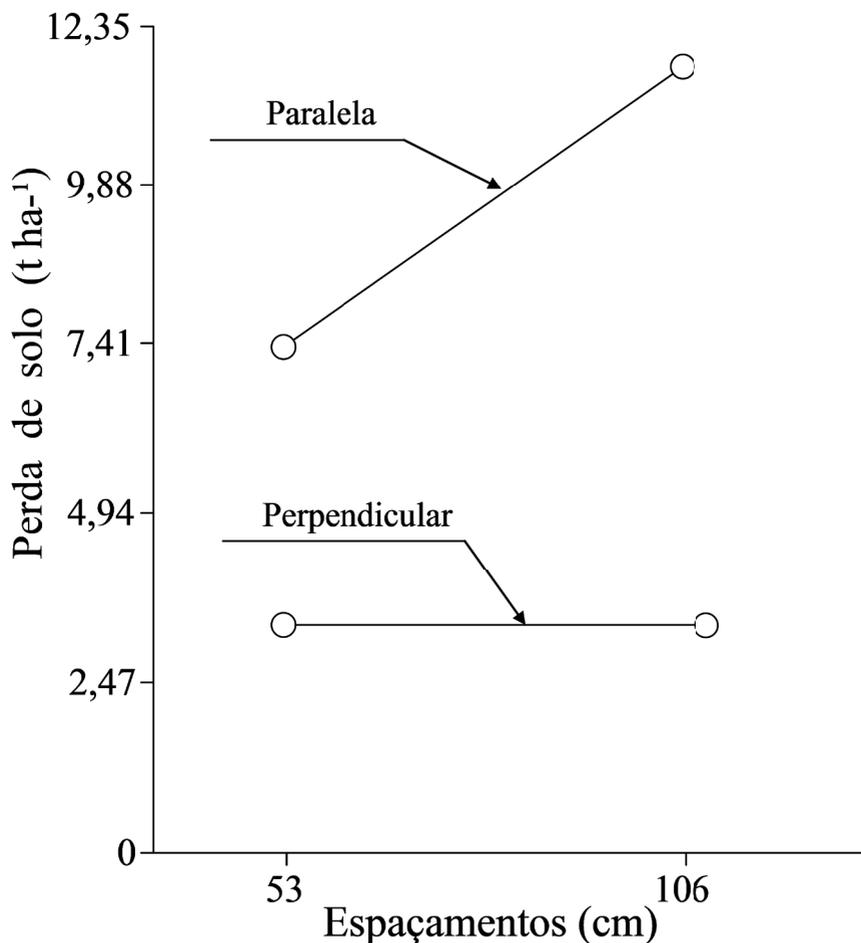
função de práticas de manejo cultural empregadas na cultura do milho. A redução do espaçamento entre linha contribui para redução da erosão promovida por escoamento superficial, proveniente da cobertura antecipada da superfície do solo (PENDLETON, 1965). Segundo Guarnieri (2006), o uso do espaçamento reduzido sobre a redução da erosão superficial é muito importante para regiões de solos agricultáveis onde a topografia é desuniforme e a ocorrência de chuvas na primavera é frequente, mesmo sendo empregada a prática do plantio em semeadura direta. Lauer (1994) verificou que a cobertura antecipada da superfície do solo também pode protegê-lo, diminuindo o escoamento superficial e a erosão decorrente de precipitações pluviométricas intensas nas primeiras fases do desenvolvimento da lavoura. Segundo Al-Kaisi (2008), o espaçamento entre linha quando associado a outras práticas de cultivo e de manejo do solo se torna um processo mais efetivo no controle da erosão em áreas declivosas. Salienta ainda que o espaçamento reduzido fecha mais rapidamente os espaços entre linhas, reduzindo substancialmente a erosão laminar do solo por causa do escoamento superficial de água e de impactos de ventos.

Trabalho foi realizado por Skidmore et al. (1966) utilizando dois espaçamentos (53 e 106 cm) entre linhas e três densidades de plantio (81.510, 41.990 e 19.760 plantas por hectare) simuladas para estudo de erosão eólica em túnel de vento portátil, onde se plantou o sorgo em espaçamentos em linhas paralelas a favor da direção do vento e em sentido cortante à direção dele. Os autores concluíram que o espaçamento reduzido em fileiras semeadas no sentido perpendicular à direção do vento permitiu uma redução de perda de solo na ordem de 29 a 55%. Verificaram maiores perda de solo no espaçamento de 106 cm,

comparado com o de 53 cm, quando o vento foi direcionado no sentido paralelo das linhas de plantio. Entretanto, quando o túnel de vento foi direcionado no sentido perpendicular às linhas de plantio, a perda foi igual para os dois espaçamentos (Figura 19). Em densidades de plantio maiores combinadas com o espaçamento reduzido os resultados de redução da perda de solo foram mais significativos.

Trabalho editado por Greg (1997) no boletim “Fatos Agronômicos 52”, publicado pela Universidade Estadual da Pennsylvania, nos Estados Unidos, relata que dentre as vantagens na redução do espaçamento entre linhas no cultivo do milho se destaca também a redução do potencial da erosão superficial do solo.

Pesquisadores da Calmer Corn Heads (2009) que trabalharam com a redução do espaçamento do milho verificaram que poderá ter em média 27 kg ha⁻¹ de aumento quando da redução de cada 2,54 cm no espaçamento entre linhas. Os produtores que reduziram o espaçamento de 76 cm para 50 e 38 cm também constataram o mesmo. Segundo os autores, além das vantagens citadas, a redução do espaçamento entre linhas é um bom instrumento para reduzir o potencial da erosão laminar do solo.



Fonte: Skidmore et al. (1966)

Figura 19. Efeito do espaçamento entre linha na perda de solo induzida por um túnel de vento portátil, com vento direcionado no sentido paralelo e perpendicular às linhas de plantio de sorgo.

Redução do Espaçamento Influenciando a Produção de Milho Forragem

O milho *Zea mays* L. é muito utilizado como volumoso para alimentação de animais, em razão do seu grande potencial produtivo de matéria seca aliado à capacidade de produção de grãos, que enriquecem o volumoso produzido. A demanda por proteína de origem animal cresceu significativamente na última década, o que conseqüentemente aumentou a procura por este cereal. A dificuldade de atender a esta crescente demanda, a competição com outras culturas pela ocupação da atual fronteira agrícola e a forte perspectiva de expansão de mercados externos para este cereal, seus derivados e para aves e suínos alertam para a necessidade de pesquisa com trabalhos que objetivam obter maior eficiência na atividade e maior competitividade no mercado. Nestes aspectos, trabalhos enfocando alternativas de espaçamentos entre linhas, densidades de plantas, adaptação de híbridos e manejo cultural têm recebido especial atenção. A redução do espaçamento entre linhas propicia melhor distribuição espacial de plantas de milho (SANGOI et al., 2002) e melhor produção de forragem, aliadas à maior cobertura do solo.

Estudando o comportamento de híbridos de milho de diferentes arquiteturas foliares, em dois espaçamentos entre linhas (70 e 90 cm), duas densidades de plantas (55.000 e 70.000) em dois anos agrícolas, Alvarez et al. (2006) verificaram que redução do espaçamento entre linhas de 90 para 70 cm proporcionou maiores produções de matéria seca (MS) e de grãos de milho, independentemente do ano de plantio e da densidade de plantas (Tabela 26). O aumento da densidade de 55.000 plantas ha⁻¹ para 75.000 plantas ha⁻¹ proporciona aumento na produção

de MS e na produção de grãos de milho, independentemente do ano de plantio e do espaçamento entre linhas. A cultivar AG1051 apresenta as maiores produções de MS e as maiores alturas de plantas e de espigas, independentemente do ano de plantio e do espaçamento adotado. As cultivares AG9010 e DKB440 destacaram-se em relação à produtividade de grãos.

Tabela 26. Resultados médios da produção de Matéria Seca (kg ha⁻¹) de cultivares de milho em função dos espaçamentos entre linhas e dos anos agrícolas, considerando as duas densidades. Lavras, MG, 2004.

Cultivares	Espaçamentos		Anos		
	70 cm	90 cm	2001/02	2002/03	Média
AG 1051	16.555 aA	13.505 aB	13.711 aA	16.384 aA	15.030
AG 9010	11.660 cA	10.569 bA	10.776 cA	11.452 bA	11.114
DKB 440	13.495 bA	11.257 bB	12.426 bB	12.326 bA	12.376
Média	13.903	11.777	12.305	13.375	12.840

Fonte: Alvarez et al. (2006)

Trabalhando com milho para silagem semeado em dois espaçamentos entre linhas de 90 e 45 cm e 60.000 plantas ha⁻¹ no período da safrinha, Guareschi et al. (2008) verificaram que o espaçamento de 45 cm conferiu maior produção de massa fresca e seca por ocasião da colheita para silagem, enquanto a maior proporção de espigas foi verificada no espaçamento de 90 cm. A produção de silagem foi influenciada positivamente apenas com a redução do espaçamento de 90 para 45 cm.

Pesquisa realizada por Rosales et al. (2008) também utilizando espaçamentos de 45 e 90 cm entre linhas e densidades de semeadura de 60.000 e 70.000 plantas ha^{-1} apresentou valores de FDN que variavam de 62,82% a 76,73%, sendo o maior valor obtido na interação cultivar de milho BM 2202 no espaçamento de 90 cm e menor valor na interação BRS 3003 no espaçamento de 45 cm (Tabela 27). Foram observados maiores valores médios para os constituintes da interação no espaçamento de 90 cm. Verificou-se por meio dos dados que o espaçamento influencia na produtividade da planta inteira e na qualidade nutritiva da silagem. O espaçamento de 45 cm promove melhor distribuição espacial das plantas na área e menor competição intraespecífica na linha, proporcionando maior produtividade e melhor valor nutritivo das plantas de milho para silagem.

Trabalhos realizados por Pereira (2007) com a Fundação ABC em Arapoti, no Paraná, no ano de 2005, testando três híbridos (30F44, 30F53 e 30R50) e os espaçamentos de 40, 60 e 80 cm entre linhas, constatou que as técnicas de manejo de lavoura avaliadas possibilitaram aumento considerável nas produtividades das variáveis estudadas, como mostra a Tabela 28. Quando se comparam os efeitos da redução de espaçamento no plantio de 80 para 40 cm entre linhas verifica-se que se tem aumento de mais de quatro toneladas de matéria verde (MV) ha^{-1} ou mais de 1,2 tonelada de matéria seca (MS) ha^{-1} . O aumento de população de 60.000 para 80.000 plantas/ha proporcionou aumento médio de produtividade de quase cinco toneladas de MV ha^{-1} ou mais de duas toneladas de MS ha^{-1} . Obviamente, os níveis de produtividade alcançados estão diretamente relacionados com os investimentos em fertilidade, segundo o autor. Cabe lembrar que a silagem de milho de maior produtividade de MV também apresenta uma elevada

produtividade de grãos, que representa quase metade da matéria seca (MS) da silagem e, como se sabe, é a principal fonte de energia da alimentação animal.

Tabela 27. Componente médio da matéria seca do caule expressa em porcentagem, obtida da interação de híbridos x espaçamentos.

Componentes	Híbrido	Espaçamento	
		45 cm	90 cm
FDN	BM 2202	74,99 aA	76,73 aA
	BRS 3003	62,82 bB	71,43 aB
FDA	BM 2202	45,02 bA	48,57 aA
	BRS 3003	36,57 bB	44,97 aB
Celulose	BM 2202	37,83 bA	40,69 aA
	BRS 3003	30,94 bB	37,50 aB
Lignina	BM 2202	5,76 bA	6,52 aA
	BRS 3003	4,25 bB	6,09 aA

Fonte: Rosales et al. (2008)

Tabela 28. Dados médios de rendimento de grãos, massa verde, matéria seca e nutriente digestivo total NDT(Nutrientes Digestivos Totais) obtidos da média de três híbridos e três espaçamentos entre linhas. Arapoti, PR, 2005.

Espaçamento (cm)	Grãos (kg ha ⁻¹)	Massa verde (kg ha ⁻¹)	Matéria seca (kg ha ⁻¹)	NDT (%)
40	12.136	70.373	23.111	71,43
60	12.045	69.733	23.481	71,26
80	11.643	66.006	21.934	70,58

Fonte: Pereira (2007)

Nos EUA, segundo Greg (1997), em uma série de trabalhos para verificar o efeito da redução do espaçamento no rendimento e na qualidade da silagem, conduzidos no estado da Pensylvania, foi registrada média de 11,2% em relação aos dados obtidos no espaçamento mais amplo. O rendimento de silagem na densidade de 79.000 plantas por hectare foi 8,8% a mais no espaçamento de 38 cm entre linhas, quando comparado com o rendimento obtido no espaçamento de 76 cm. Já em Cornell, os estudos da redução do espaçamento mostraram que o rendimento da silagem foi 5% maior no espaçamento reduzido (38 cm) em relação ao espaçamento mais largo (76 cm). A qualidade da silagem tem se mostrado a mesma para ambos os espaçamentos quando o cultivo foi em uma única densidade de semeadura. As três cultivares testadas tiveram sempre maiores rendimentos no espaçamento reduzido em todos os anos e locais. (Figura 20).

O autor resume em seu trabalho que em curto e em médio prazo as respostas positivas com a redução do espaçamento deverão ser mais consistentes no milho para silagem do que no milho grão.

A produção de silagem de milho em espaçamento reduzido, assim como para produção de grãos, tem recebido atenção especial por parte da pesquisa e de produtores nos últimos anos. Estudos de redução de espaçamento em milho para silagem têm sido focalizados em cultivares com duplo propósito, ou seja, que podem ser utilizadas tanto para a produção de grãos quanto para silagem. (WIDDICOMBE; THELEN 2002). O espaçamento reduzido tem efetivamente mostrado ganhos no rendimento de silagem, em estudos

conduzidos na região norte do Corn Belt e no nordeste dos Estados Unidos (STAHL et al., 2009).

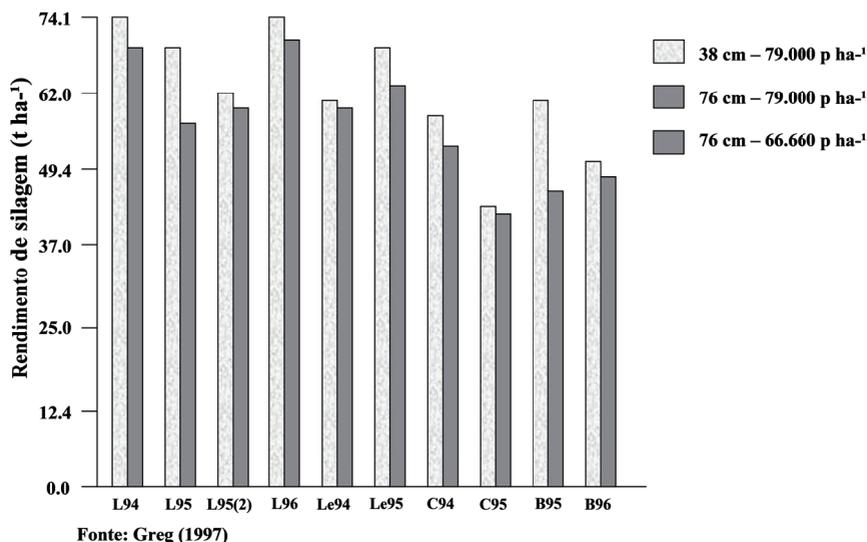


Figura 20. Rendimento de silagem de dez experimentos conduzidos nos EUA nas localidades de Lancaster (L), Lebanon (Le), Center (C) e Bradford (B), nos anos de 1994 a 1996.

Trabalho utilizando cultivar de milho duplo propósito conduzido por Cox et al. (1998) obteve aumento de rendimento de forragem na ordem de 4.2% e verificou que a variação do espaçamento não afeta a qualidade da silagem.

Aumento no rendimento da matéria seca da forragem foi observado por Widdicombe e Thelen (2002), quando da redução do espaçamento de 76 para 38 cm nas duas cultivares de milho duplo propósito utilizadas (Figura 21). Eles verificaram também não haver diferença na qualidade da forragem dos híbridos envolvidos no trabalho. Não houve diferença no rendimento de

matéria seca em relação aos espaçamentos para o híbrido de ciclo precoce e para nutrientes.

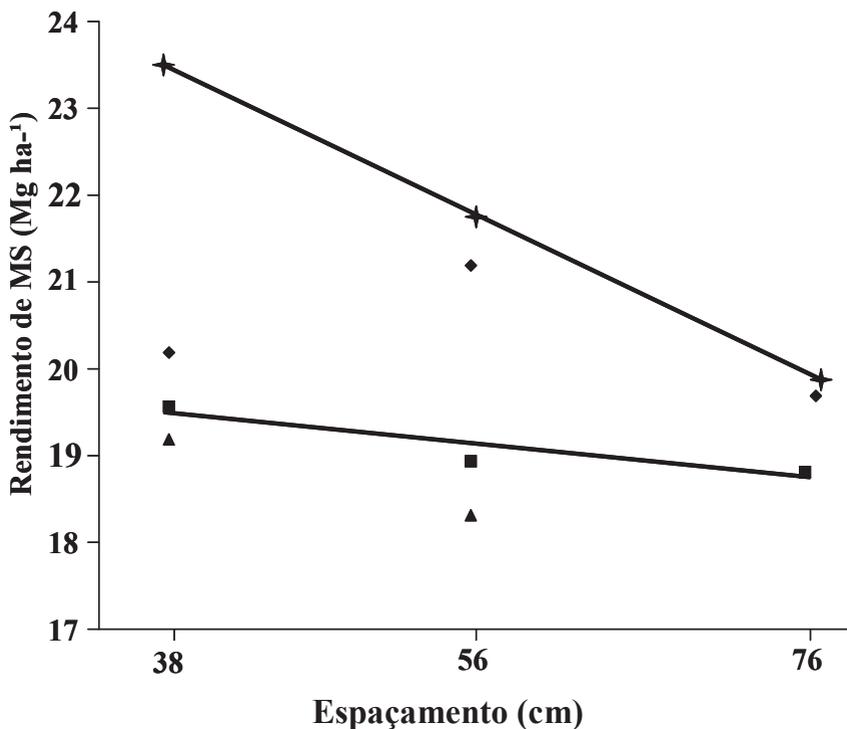


Figura 21. Efeito do espaçamento entre linhas e tipo de híbrido de milho sobre o rendimento de matéria seca. (x) – híbrido tardio, (◆) – híbrido nutridense, (■) – híbrido duplo propósito, (▲) – híbrido precoce. As equações de regressões para o híbrido duplo propósito e ciclo tardio são respectivamente:

$Y = -0.0233x + 20.46$ ($R^2 = 0.8$) e $Y = -0.0736x + 26.17$ ($R^2 = 1.0$).

Fonte: Widdicombe e Thelen (2002)

Trabalho executado por Brian (2007), extensionista da Cooperativa de Extensão de Virginia (EUA) nos anos de 2006 e

2007, utilizando espaçamento reduzido em plantio com fileiras duplas espaçadas em 19 cm e entre as fileiras duplas de 76 cm, e convencionais fileiras simples espaçadas em 76 cm, verificou que apenas houve diferença significativa para rendimento de matéria seca ($t\ ha^{-1}$), como mostra a Tabela 29. As outras características estudadas, como percentagem de matéria seca, proteína bruta, nutrientes digestivos totais, energia líquida, fibra detergente ácida e fibra detergente neutra, tiveram valores estatisticamente iguais.

Tabela 29. Percentagem de matéria seca (% MS); Rendimento de Matéria Seca (MS); Proteína Bruta (PB); Nutrientes Digestivos Totais (NDT); Energia Líquida por Local (ELL); Fibra Detergente Ácida (FDA); Fibra Detergente Neutra (FDN). Dados médios de dois anos. 2006/2007.

Sistemas de plantio	MS (%)	MS ($t\ ha^{-1}$)	PB	NDT	ELL	FDA	FDN
Fileiras duplas (19 cm)	38,7a	22,4a	7,3a	71,4a	0,8a	23,7a	42,2a
Fileiras simples (76 cm)	40,5a	19,9b	7,6a	70,5a	0,7a	25,0a	44,0a

Fonte: Brian (2007).

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente ao nível de 7% de probabilidade. Fonte: Brian (2007)

Influência do Espaçamento Reduzido no Milho Safrinha

O cultivo de milho safrinha está em constante evolução nas regiões onde é cultivado. No decorrer do tempo desde 1983/1984, quando a safrinha foi iniciada no estado do Paraná, representando um pequeno percentual de 6,5% da área total e 5,6% da produção total do estado, começava assim uma segunda safra de milho plantada em sucessão à safra oficial de verão. Nascia, então, o que hoje é oficialmente reconhecido como safrinha. Na safra de 2009, a safrinha completou 25 anos e consolidou novo marco na dinâmica de oferta e demanda do milho no Brasil. Nesse período, além do significativo aumento de área plantada, superior a 15 vezes, muitas outras conquistas foram alcançadas, como, por exemplo, aumento de 215% na produtividade, que em 1984 foi de 1.174 kg ha⁻¹ e em 2009 alcançou 3.694 kg ha⁻¹, comprovando que a adoção de alta tecnologia foi fator fundamental para esta brilhante conquista (SAMPAIO, 2009).

Como esse período de semeadura da cultura coincide com uma época caracterizada por baixos índices pluviométricos, a produção por área pode ficar comprometida se a deficiência hídrica coincidir com o período do florescimento, fase que determina a quantidade de óvulos a serem fecundados e, por consequência, a produção de grãos. Nesse contexto, dentre as diversas práticas culturais, a escolha do espaçamento entre linhas e o número mais adequado de plantas por área são de extrema importância, por determinarem melhor aproveitamento de fatores abióticos, como água, luz e nutrientes, para que a cultura possa expressar todo o seu potencial (PENARIOL et al., 2003).

Segundo dados da Fundação Rio Verde (2002), nas condições do cerrado brasileiro, os benefícios da redução do espaçamento entre linhas são percentualmente maiores do que em outros biomas existentes no país, o que varia de 9% a 41%, dependendo de densidade de semeadura, cultivares e condições climáticas de cada ano agrícola. No cerrado pode-se ter até duas épocas de plantio de milho, sendo a safra normal (outubro-dezembro) e a safrinha cultivada nos meses de fevereiro a março. Na primeira safra, normalmente não há limitações hídricas (salvo em algumas regiões onde pode ter a ocorrência do veranico, que normalmente cai no período de plena floração, podendo comprometer a produtividade) e a quantidade de nutrientes fornecida é maior do que na safrinha. Essas regiões de baixa latitude têm dias mais curtos na primavera e no verão, em comparação com as áreas produtoras da região Sul do Brasil. O milho é uma planta altamente eficiente na conversão da energia luminosa em energia química, por ser do grupo C4. Assim, os incrementos no rendimento de grãos em função da redução do espaçamento entre linhas na safra normal têm sido atribuídos ao maior aproveitamento da energia radiante disponível, decorrente da distribuição mais equidistante das plantas. Entretanto, na safrinha, existem maiores restrições hídricas e bióticas ao desenvolvimento da planta de milho na região, em função da redução das chuvas a partir de abril e do menor uso de insumos no geral. Nessa época de semeadura extemporânea, a redução do espaçamento entre linhas pode significar aumentos na produtividade, principalmente por causa da distribuição mais homogênea do sistema radicular, ocupando maior volume de solo, favorecendo o aproveitamento de água e nutrientes e, por conseguinte, reduzindo o acamamento.

Com o objetivo de avaliar o desempenho agrônômico de duas cultivares de milho, com características contrastantes entre si (híbrido simples - AG 9010 e variedade - BR 473), em diferentes densidades de semeadura (40, 60 e 80 mil plantas por hectare) e espaçamentos (40, 60 e 80 cm) no período da safrinha, Penariol et al. (2003) verificaram que tanto o espaçamento entre linhas quanto a densidade populacional provocaram alterações no comportamento das plantas. O espaçamento entre linhas de 40 cm apresentou maior média de produtividade para as duas cultivares, conforme mostra a Figura 22, além disso, a redução do espaçamento entre linhas proporcionou menores alturas de planta e de inserção de espiga. Para as densidades de semeadura, a maior população (80 mil plantas por hectare) proporcionou maior produtividade ao híbrido AG 9010, enquanto a maior produtividade para a variedade BR 473 esteve em torno de 70 mil plantas por hectare.

O cultivo de milho safrinha no espaçamento 45 cm com 60 mil plantas ha⁻¹ conferiu maior produção de massa fresca e seca por ocasião da colheita de milho para ensilagem, enquanto a maior proporção de espigas foi constatada no espaçamento 90 cm com 60 mil plantas ha⁻¹. Nas condições desse trabalho, a produção de silagem de milho safrinha foi influenciada positivamente apenas na redução de espaçamento entre fileiras de 90 cm para 45 cm sem aumento da população e adubação.

Em alguns estados do Centro-Oeste, durante a avaliação das lavouras de milho safrinha, em especial no Mato Grosso do Sul, verificou-se que 25,9% das lavouras estavam com espaçamento entre linhas de 45 cm e 50 cm; 25,9% entre 70 cm e 75 cm; e 48,2% entre 80 cm e 90 cm. O espaçamento de 45 cm no caso da safrinha só veio a ser utilizado pelos agricultores que

possuíam plataforma específica na colhedora (Figura 23). A justificativa dos agricultores para redução de espaçamento é atribuída ao maior aproveitamento do adubo, principalmente quando se aplicam doses maiores deste insumo, e pelo controle mais eficiente de plantas daninhas (CECCON; ROCHA, 2009).

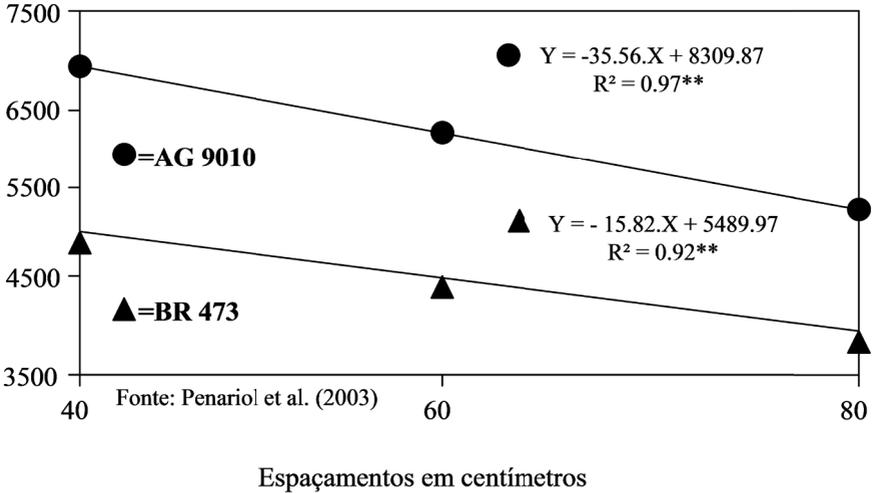


Figura 22. Produtividade média de grãos em kg h⁻¹ em função dos espaçamentos entre linhas, para cada cultivar. Jaboticabal, SP, 2000/2001.

Por outro lado, as indústrias de máquinas desenvolveram também plantadeiras com um número maior de módulos de plantio, de fácil regulagem da distância entre eles, e com a vantagem de proporcionar ganho de tempo em função de cobrir uma maior área de plantio, como mostra a Figura 24.

Foto: Israel Alexandre Pereira Filho



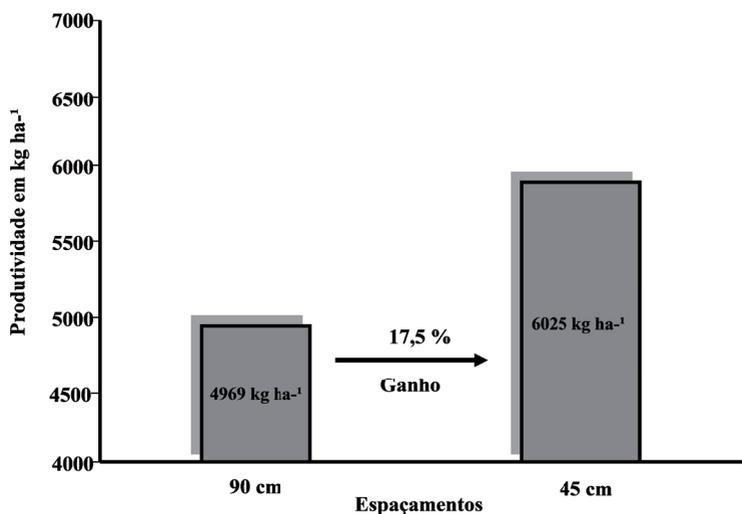
Figura 23. Plataforma específica para colheita de milho em espaçamentos reduzidos.

Foto: Israel Alexandre Pereira Filho



Figura 24. Plantadeira de milho com várias secções de módulo de plantio.

Em Mato Grosso, a Fundação Lucas do Rio Verde trabalhou com duas cultivares de milho em duas épocas de semeadura, primeira e segunda quinzenas de fevereiro. Cada uma das épocas recebeu níveis de adubação diferenciados, sendo um de alta e outro de média tecnologia, dois espaçamentos entre linhas (45 e 90 cm) e quatro populações de plantas ha (30; 45; 60 e 75 mil plantas ha). Os resultados mostraram ganho médio em produtividade de grãos de até 17,5%, quando da redução do espaçamento entre linhas de 90 cm para 45 cm, como mostra a Figura 25. Para a data de semeadura de 11 de fevereiro, o melhor espaçamento entre linhas foi de 45 cm. A melhor densidade de plantas para o espaçamento de 45 cm foi a de 60 mil plantas ha, independentemente do nível de tecnologia e da cultivar adotada.



Fonte: Fundação Lucas do Rio Verde (2005)

Figura 25. Produtividade média grãos de diferentes híbridos cultivados na safrinha, em diferentes espaçamentos entre linhas. Lucas do Rio Verde, MT, 2005.

Em Toledo, no oeste do estado do Paraná, Schwantes et al. (2007), trabalhando com quatro híbridos semeados em dois espaçamentos (38 e 76 cm) e densidade fixa de 60.000 plantas por hectare, verificaram que a redução do espaçamento influenciou diretamente no peso de 1.000 grãos, mas não refletiu no rendimento de grãos, mostrando não haver influência direta de uma variável sobre a outra, como mostra a Tabela 30.

Tabela 30. Influência da redução do espaçamento sobre as características alturas da planta e espiga, diâmetro do colmo, peso de 1.000 grãos e rendimento de grãos de quatro híbridos de milho. Toledo, PR, 2007.

Espaça- mentos (cm)	Alt. planta (cm)	Alt. Espiga (cm)	D. colmo (cm)	P. 1.000 grãos (g)	R. de grãos (kg ha ⁻¹)
38 a	234,38 a	124,44 a	2,39 a	357,12 a	7.536,61 a
76 a	235,75 a	123,50 a	2,33 a	345,06 b	7.436,38 a

Fonte: Modificado de Schwantes et al. (2007)

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em levantamento realizado por Cruz et al. (2010), caracterizando o cultivo de milho safrinha de alta produtividade nos anos de 2008 e 2009, foi constatado que 37% das lavouras utilizaram o espaçamento reduzido (45 a 50 cm), embora o espaçamento convencional (70 a 90 cm) ainda seja mais frequente (Figura 26). Os autores verificaram ainda que nos estados do Paraná e de São Paulo houve predomínio do uso de espaçamento maior que 70 cm, representando 62 e 87% das lavouras, respectivamente. No estado de Goiás, predominou o espaçamento reduzido,

sendo que em 69% das lavouras com alta produtividade foi utilizado o espaçamento de 45 a 50 cm. Nos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso não há um espaçamento entre linhas predominante.

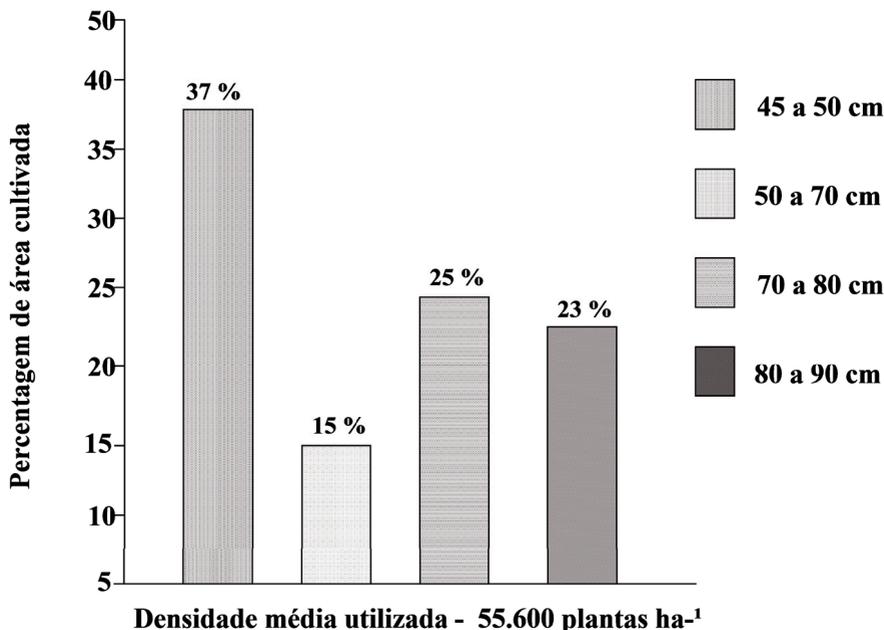


Figura 26. Percentagem de utilização de espaçamentos nos plantios da safrinha, com rendimento acima de cinco t ha⁻¹ (safras 2008/09) Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2010)

Outro fator possível de observação é a semelhança na média de produtividade nos diferentes níveis de espaçamentos utilizados. Nos espaçamento de 45 e 50 cm, a média de produtividade foi de 6.486 kg ha⁻¹; nos espaçamentos de 60 e 70 cm, de 6.282 kg ha⁻¹; e nos espaçamentos de 77 a 90 cm, de 6.383 kg ha⁻¹. Portanto, pode-se verificar que o fator espaçamento entre

plantas não é decisivo na média de produtividade no milho safrinha em função dos locais de cultivo.

A Semente Agrocere elaborou uma tabela para o cultivo do milho na safrinha, em que recomenda a quantidade de sementes por metro linear, acrescida de 15%, para compensar possíveis perdas durante o ciclo e o manejo da cultura (SEMENTES AGROCERES, 2011).

Tabela 31. Número de sementes utilizadas no plantio (milho safrinha) por metro linear em função do espaçamento entre linhas, considerando 15% a mais para compensar possíveis perdas no plantio.

Número de plantas por hectare na colheita (1.000 plantas)	Número de sementes por hectare no plantio (1.000 sementes)	Espaçamento em centímetro			
		número de sementes por metro linear			
		50	65	80	90
40	46,0	2,4	3,1	3,8	4,2
45	51,7	2,6	3,4	4,2	4,8
50	57,5	2,9	3,8	4,7	5,3
55	63,2	3,2	4,2	5,2	5,8
60	69,0	3,5	4,6	5,6	6,4
65	74,7	3,8	5,0	6,1	6,9
70	80,5	4,1	5,4	6,6	7,4

Fonte: Sementes Agrocere (2011)

Análise Sobre Aquisição de Plataformas para Adoção do Espaçamento Reduzido

As modificações genéticas constantes na planta de milho, como redução da estatura, da inserção de espiga, duração do período pendente-espigamento, plantas com inserção de folhas mais ereta, plantas menos estéreis e elevado potencial produtivo tornam necessária uma reavaliação das recomendações das práticas de manejo para a cultura (SANGOI et al., 2006). Uma das modificações que vêm sendo realizadas por inúmeras pesquisas como parte da reavaliação das práticas de manejo cultural é a redução do espaçamento entre linhas, que vem merecendo especial atenção por parte da pesquisa e dos produtores, uma vez que o emprego desta tecnologia envolve gastos. Entretanto, não se deve simplesmente adotar a prática da redução do espaçamento entre linhas sem antes avaliar se o ganho de rendimento de grãos será suficiente para cobrir os custos com aquisição dos implementos (plantadeira, colhedora ou apenas a plataforma de colheita) que vão facilitar as operações de plantio e colheita da lavoura semeada em espaçamento reduzido.

Com a adoção de espaçamentos reduzidos entre linhas, o produtor pode ter problemas com diversas operações, principalmente a colheita mecanizada, uma vez que as plataformas das colhedoras tradicionais são projetadas para colher plantas em espaçamentos entre 70 e 100 cm.

Atualmente, existem no mercado plataformas de colheita que permitem colher lavouras instaladas com espaçamentos reduzidos entre linhas de 45 a 50 cm; contudo, sua aquisição exige investimentos elevados (ALONÇO et al., 2006), o que precisa ser confrontado com os benefícios potenciais advindos

da adoção dessa técnica. Os efeitos da redução do espaçamento entre linhas relatados na literatura são bastante heterogêneos. No Sul do Brasil, os incrementos obtidos na produtividade com a redução do espaçamento de 90 e 100 cm para 45 e 50 cm são de pequena magnitude, variando de zero a 10% (REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 2005). Diante disso, torna-se necessário fornecer aos produtores subsídios para a tomada de decisão, de investir ou não em uma nova tecnologia que, segundo Oliveira e Milan (2001), só é incorporada pelo produtor com estímulos econômicos. Quando o agricultor decide semear milho em espaçamento reduzido, deve prever a aquisição de plataforma de colheita capaz de coletar plantas em espaçamentos menores, o que requer investimentos elevados em curto prazo (DIAS et al., 2009).

O produtor que optar pela tecnologia do espaçamento reduzido, necessita escolher quando e como realizar os procedimentos recomendados pela pesquisa, podendo, ainda, optar pela execução ou não de determinadas atividades. Muitas vezes, a decisão de aplicar as técnicas apropriadas ou recomendadas, visando a ganhos superiores, requer investimentos (FETT, 2000). O investimento, segundo Galesne et al. (1999), consiste em uma empresa comprometer ou imobilizar capital, sob diversas formas, a fim de manter ou melhorar sua situação econômica. De acordo com os mesmos autores, a decisão de investir, invariavelmente, comporta riscos, os quais devem ser previstos quando da decisão de comprar determinado equipamento.

Segundo (BAIO et al., 2004), a seleção de uma máquina agrícola, bem como de um implemento, pode tornar-se uma tarefa árdua, pois a escolha do equipamento mais adequado

para uma propriedade agrícola é uma das etapas mais importantes do processo produtivo, e há diversas variáveis que devem ser consideradas. A maximização dos lucros do negócio agrícola é o que determina o gerenciamento ótimo dos implementos agrícolas e não o contrário, pois a simples minimização dos custos deles não é condição suficiente para a maximização dos lucros do sistema (SOFFNER et al., 1993).

Estudos realizados por Dias et al. (2009), complementares aos de Alonço et al. (2006) e Dias et al. (2006a,b, 2007), desenvolvidos na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas (NEMA), em cooperação com o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Economia Agroindustrial (NEPEA), analisaram a sensibilidade para variações no preço pago pelo produto e nas despesas com sementes para o indicador Valor Presente Líquido (VPL). Foram consideradas áreas de 100 a 300 ha e produtividades de 70; 100; 130 e 160 sacas ha⁻¹. Os autores concluíram que os acréscimos de produtividade afetam positivamente a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a razão Benefício/Custo (B/C). Quando esses acréscimos são superiores a 7,5%, o investimento é viável economicamente na maioria das situações analisadas. Variações no preço de sementes têm baixo efeito sobre o investimento, e oscilações no preço do milho são toleradas na maioria das situações testadas.

O produtor de milho deve ser muito cauteloso quando optar pelo sistema de cultivo com o espaçamento reduzido (DIAS et al., 2006b). Para propriedades que cultivam milho em áreas inferiores a 100 ha, a aquisição da plataforma é desaconselhável por apresentar elevado custo inicial que somente será recompensado com produtividade acima de 125

sacos por ha⁻¹ (Figura 27). A produtividade de equilíbrio indica quanto o agricultor deverá produzir em sacos ha⁻¹ para tornar o investimento viável. Observa-se que a partir dos 400 ha o valor tende a se estabilizar, permanecendo em 60,8 sacos ha⁻¹. Para 100 ha, o valor de produtividade esperado para que a atividade torne-se viável é considerado elevado, mas está dentro do potencial de produtividade da cultura (STRIEDER et al., 2004). Porém, para que seja alcançada tal produtividade, o agricultor deverá dispor de alto nível tecnológico, com uso correto de fertilizantes, controle de doenças, pragas, plantas daninhas, híbridos de alto potencial produtivo e, em regiões marginais quanto ao clima, dispor de sistema de irrigação (DIAS et al., 2006a,b).

Para Dias et al. (2007), o produtor deve ser criterioso no momento de optar por reduzir o espaçamento entre fileiras na cultura do milho, pois a adoção dessa técnica implica despesas elevadas, o que, em determinadas situações, pode tornar o investimento economicamente inviável. O investimento em plataformas de colheita pode ser viável em lavouras com produtividades de milho elevadas ou em grandes extensões de cultivo. A viabilidade do investimento depende basicamente de três variáveis: escala de produção, o que indica existirem economias de escala associadas à tecnologia; produtividade da lavoura; e ganhos de produtividade com adoção da técnica, que estão relacionados ao nível de manejo empregado para cada produtor.

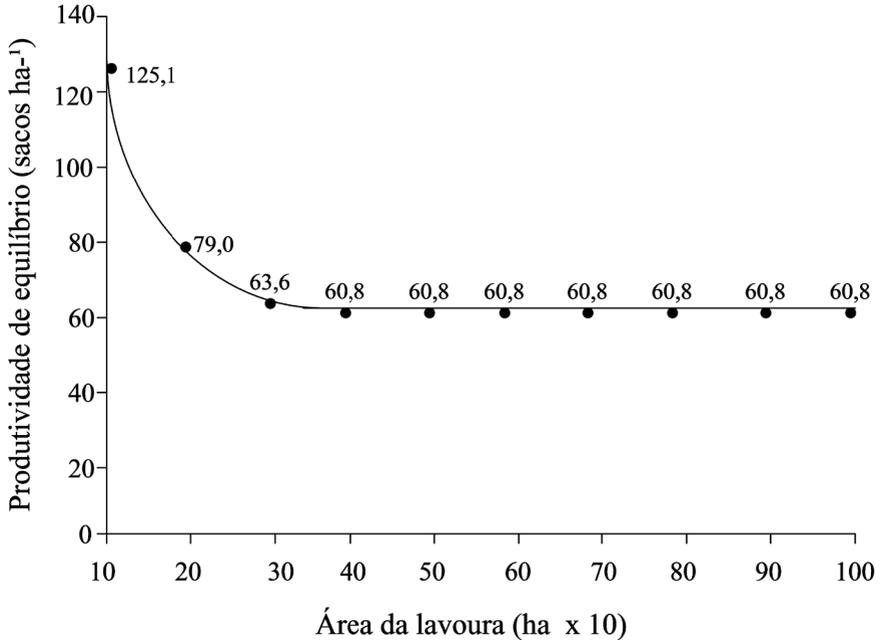


Figura 27. Produtividade de equilíbrio do investimento na plataforma de colheita de milho (Valor Presente Líquido = 0) para diferentes áreas, ao preço de R\$16,00 a saca de milho de 60 kg. Santa Maria, RS, 2006. Fonte: Dias et al. (2006b).

Considerações Finais

Na adequação de técnicas voltadas para melhoria da produtividade de grãos do milho, está o arranjo de plantas, que tem sofrido alterações, especialmente no que diz respeito à redução do espaçamento entre linhas.

A tecnologia da redução do espaçamento, aliada à utilização de genótipos de milho de alto potencial produtivo, mais competitivos e com características para plantio mais adensado, o maior uso de fertilizantes, um controle mais eficiente

de plantas daninhas, de época adequada de plantio, de disponibilidade hídrica e de finalidade de uso e a adoção do “espaçamento reduzido” têm proporcionado aos produtores maiores rendimentos de grão de milho.

Entretanto, para maximizar o rendimento de grãos, outros fatores devem ser levados em consideração, principalmente a densidade de semeadura, que tem mostrado correlação positiva entre o número de plantas mais elevado por área aliado à redução do espaçamento. Esta tecnologia tem sido adotada por um grande número de produtores de milho, principalmente os que cultivam em larga escala a soja.

A redução do espaçamento entre linhas no milho, como parte das alterações de melhoria do arranjo de plantas, pode tornar o cultivo mais econômico e racionalmente mais correto ambientalmente, por uma série de razões a considerar: melhoria no aproveitamento da energia solar, promovendo maior produção de fotoassimilados que em condições climáticas favoráveis converte-se em maior rendimento de grãos; maior aproveitamento de nutrientes, água e luz disponíveis, pela melhor distribuição de plantas e redução da competição entre elas, o que permite também o plantio mais adensado; redução do espaçamento associado a semeadura mais adensada permite o fechamento mais rápido do espaço entre linhas, causando condições desfavoráveis para germinação e desenvolvimento das plantas daninhas, além de proteger o solo do processo erosivo.

A adoção dos produtores de milho pela prática do espaçamento reduzido, especialmente de 45 e 50 cm, utilizado também no cultivo da soja e do feijão, componentes dos sistemas de

rotação ou sucessão no cultivo do milho, ganha tempo na operação de semeadura por não necessitar substancialmente de alterações na mudança de um cultivo pra o outro. Proporciona melhor distribuição das plântulas no sulco de plantio, por causa da menor velocidade de trabalho dos sistemas de distribuição de sementes, distribuição uniforme e em maior quantidade do fertilizante por metro linear, melhorando assim o seu aproveitamento, e reduz o efeito salino fitotóxico para a semente. Ainda no quesito mecanização, a redução do espaçamento facilita a aplicação de defensivos, uma vez que os bicos de pulverização nas barras estão espaçados em 50 cm e isto melhora a eficiência operacional e do produto.

O fechamento mais rápido dos espaços entre plantas reduz a transmissão da radiação através da comunidade, melhorando a aproveitamento da energia luminosa pelas plantas, e assim a pouca luz que penetra nos espaços inferiores do dossel dificulta a germinação ou o desenvolvimento das plantas invasoras. Outro benefício do fechamento mais rápido dos espaços entre plantas é a redução da quantidade de água perdida pela evaporação no início do ciclo da cultura, e que em associação a uma melhor exploração do solo do sistema radicular em função da distribuição mais equidistante das plantas aumenta a eficiência de absorção e o uso racional de água.

A cobertura antecipada auxilia o solo contra a erosão superficial decorrente de águas da chuva e de irrigação quando as plantas de milho ainda se encontram pouco desenvolvidas.

É aconselhável que a tecnologia do espaçamento reduzido seja apenas adotada quando todos os outros recursos de melhoria do sistema de produção para aumento da produtividade

estejam esgotados, porque ela envolve gastos com plataforma de colheita adequada e treinamento de mão de obra para se adequar às novas realidades de semeio do milho. Por outro lado, o produtor deve fazer uma análise do ponto de vista econômico, uma vez que para a adaptação ou aquisição de uma plataforma devem ser levados em consideração o custo, o tamanho da área a ser cultivada, o número de linhas, os juros de financiamento, o prazo de amortização e mais a estimativa do preço da saca de milho em cada região de cultivo.

O arranjo de plantas de milho com a adoção do espaçamento reduzido pode em certas circunstâncias de clima e solo e de uso inadequado de cultivares e equipamentos não proporcionar vantagens em relação ao aumento de produtividade de grãos, mas pode proporcionar ao produtor um menor custo de produção, bem como contribuir para a melhoria das condições ambientais e socioeconômicas do produtor.

Referências

ACCIARES, H. A.; ZULUAGA, M. S. Effect of plant row spacing and herbicide use on weed aboveground biomass and corn grain yield. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 287-293, 2006.

AL-KAISI, M. **Soil erosion, crop productivity and cultural practices**. Iowa: Iowa State University, 2008. 4 p.

ALONÇO, A. dos S.; DIAS, V. de O.; SOUZA, R. S. de; MEDEIROS, F. A.; MASSOCO, D. Viabilidade econômica da aquisição de plataforma de colheita para milho em espaçamento reduzido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2006, João Pessoa. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características e produção de forragem e de grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamento. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, maio/jun. 2006.

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

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; SANGÓI, 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.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da.; RAMAZZO, C.; GRACIETTI, L. C. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 4, p. 27-34, 2003.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R.; BALASTREIRE, L. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 355-363, 2004.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 245-252, 2005.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; VOGT, G. A.; TREZZI, M. M. Integração de práticas para o manejo de plantas daninhas em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Responsabilidade social e ambiental no manejo de plantas daninhas: [anais]**. Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1559-1563.

BARBIERI, V. H.; LUZ, Q. J. M.; BRITO, C. H.; DUARTE, M. J.; GOMES, L. S.; SANTANA, D. G. Produtividade e rendimento industrial de híbridos de milho doce em função de espaçamento e população de plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 826-830, jul./set. 2005.

BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y. Y.; MILITISKY, J. Estudo sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados a partir das propriedades geomecânicas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 2, p. 9-18, maio 2001.

BEGNA, S. H.; HAMILTON, R. I.; DWYER, L. M.; STWART, D. W.; CLOUTIER, D.; ASSEMAT, L.; FOROUTAN-POUR, K.; SMITH, D. L. Weed biomass production response to plant spacing and corn (*Zea mays*) hybrids differing in canopy architecture. **Weed Technonology**, Champaign, v. 15, n. 4, p. 647-653, 2001.

BELASQUE JÚNIOR, J.; FARINELLI, R.; BORDIN, L.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Estudo comparativo dos componentes de rendimento e da produtividade de diferentes cultivares de milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 1 CD-ROM.

BRIAN, P. J. **Effects of twin-row spacing on corn silage growth development and yield in the Shenandoah Valley**. 2007. Disponível em: <<http://www.valleycrops.cses.vt.edu/CornManagementAssets/TwinRowCornSilage.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2011.

BRYAN, A. A.; ECKHARDT, R. G.; SPRAGUE, G. F. Spacing experiments with corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v. 32, p. 707-715, 1940.

BUHLER, D. D.; GUNSOLUS, J. L.; RALSTON, D. F. Integrated weed management techniques to reduce herbicide inputs. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 6, p. 973-978, 1992.

BULLOCK, D. G.; NIELSEN, R. L.; NYQUIST, W. E. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 2, p. 254-258, 1988.

CALMER CORN HEADS. 2009. Disponível em: <<http://www.calmercornheads.com/narrowRows.htm>>. Acesso em: 20 set. 2011.

CATE, J. R.; HINKLE, M. K. **Integrated pest management: the path of a paradigm**. New York: National Audubon Society, 1993.

CASA, R. T.; REIS, E. M. Doenças na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2003. v. 4, p. 1-18.

CECCON, G.; ROCHA, E. M. **Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul - 2009**. 2010. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/SisSafrinha/index.htm>. Acesso em: 31 maio 2011.

COUSENS, R.; MORTIMER. **Dynamics of weed populations**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

COX, W. J.; CHERNEY, D. R.; HANCHAR, J. J. Row width, hybrid, and plant density effects on corn forage yield and quality. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, p. 128-134, 1998.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C. de; MAGALHÃES, P. C. Resposta de cultivares de milho a variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2007.

CRUZ, J. J.; SILVA, G. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. Caracterização do cultivo de

milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010.

DEPARIS, G. A. **Espaçamento, adubação nitrogenada e potássica de cobertura na cultura do milho**. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2006.

DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; SOUZA, R. S. de. Avaliação econômica do investimento em plataformas de colheita mecanizada de milho em espaçamento reduzido. In: JORNADA DE JOVENS INVESTIGADORES DA AUGM, 14., 2006, Campinas. **Anais...** Montevideu: Associação das Universidades do Grupo de Montevideu, 2006a. 1 CD-ROM.

DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; SOUZA, R. S. de. Viabilidade econômica da adoção de espaçamento reduzido na cultura do milho. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2006, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2006b. 1 CD-ROM.

DIAS, V. de O.; DICEU, J. F.; ALONÇO, A. S.; SOUZA, R. S. Espaçamento reduzido: efeito de oscilações da produtividade do preço do milho e da semente. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 249-256, abr./jun. 2009.

DIAS, V. O.; SOUZA, R. S.; ALONÇO, A. S. Viabilidade econômica do investimento em plataforma de colhedoras de milho em espaçamento reduzido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 463-470, 2007.

ELMORE, C. L. A reintroduction to integrated weed management. **Weed Science**, Ithaca, v. 44, p. 409-412, 1996.

FARIA, M. V.; FONTANELLA, M.; SZEUCZUK, K.; MARCK, D. F. de; WAGNAER, M. V.; RIZZARDE, D. A. Influência do espaçamento na produtividade de híbridos de milho no Centro-Sul do Paraná. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos**. Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

FETT, M. S. **Análise econômica de sistemas de cultivo de macieiras no município de Vacaria-RS**.

2000. 145 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no Oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 25-31, 2004.

FORCELLA, F.; WESTGATE, M. E.; WARNES, D. D. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. **American Journal of Alternative Agriculture**, Arlington, v. 7, p. 161-167, 1992.

FORD, G. T.; PLEASANT, J. M. Competitive abilities of six corn (*Zea mays*) hybrids with four weed control practices. **Weed Technology**, Champaign, v. 8, n. 1, p. 124-128, 1994.

FULTON, J. M. Relationship among soil moisture stress, plant population, rows spacing, and yield of corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 50, p. 31-38, 1970.

FUNDAÇÃO RIO VERDE. **Resultados de pesquisa arroz, milho, soja: safra 2001/2**. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2002. 65 p. (Boletim Técnico, 5).

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimento da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999. 295 p.

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

GHERSA, C. M.; ROUSH, M. L. Searching for solutions to weed problems. **BioScience**, Washington, v. 43, p. 104-109, 1993.

GONÇALVES, L. M. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em função de espaçamentos e densidades populacionais em três locais**. 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, PR.

GRAY, S. **Summary prepared for Deere & Co.** [S.l: s.n], 1996.

GREG W. R. Potential of narrow row corn production in Pennsylvania. Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1997. 6 p. (Agronomy Facts, 52).

GREGG, A. J.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 40-46, 1998.

GROSBACH, J. The effect of row spacing on the yield and plant growth of popcorn (*Zea mays*). **Cantaurus**, v. 16, p. 9-12, May 2008.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; ROCHA, A. C. da. Produção de massa de milho silagem em função do arranjo populacional e adubação. **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 39, n. 3, p. 468-475, 2008.

GUARNIERI, A. A. **Rendimento de grãos de dois híbridos simples de milho em função da redução no espaçamento entre linhas**. 2006. 30 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

GUNSOLUS, J. L. Mechanical and cultural weed control in corn and soybeans. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 5, p. 114-119, 1990.

HEMPHILL JR., D. D. **Vegetable research at the North Willamette Research and Extension Center, 1995-1996**. 1996. Disponível: <<http://nwrec.hort.oregonstate.edu/bienn96.html#spacing>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

HUME, A. N.; CENTER, O. D.; HEGNAUER, A. **Distance between hills of corn in the Illinois Corn Belt**. Urbana: University of

Illinois, 1908. (Illinois Agricultural Experiment Station Bulletin, 126).

JESCHKE, M. **Twin-row corn production**. [S.l.]: Pioneer Agronomy Sciences, 2010. Disponível em: <<https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/template.CONTENT/guid.B6436E5B-B696-7338-F3B2-DC958644F8FE>>. Acesso em: 20 set. 2011.

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

JORDON, N. Prospects for weed control through crop interference. **Ecological Applications**, Tempe, v. 3, p. 84-91, 1993.

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.

KASPERBAUER, M. J.; KARLEN, D. L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1564-1569, 1994.

LACINA, J. **These corn growers have met the mechanical challenges of 20-inch corn**. 2000. Disponível em: <<http://www.agriculture.com/sfoline/archive/sf/20inch/20inaget.html>>. Acesso em: 06 jul. 2011.

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

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. D.; 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.

MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 435-441, set. 2010.

MURPHY, S. D.; YAKUBU, Y.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Effect of planting patterns on intrarow cultivation and competition between corn and late emerging weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 6, p. 856-870, 1996.

NAFZIGER, E. D. Corn planting date and plant population. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, p. 59-62, 1994.

NAFZIGER, E. D. Inter- and intraplant competition in corn. **Plant Management Network**, 30 jan. 2006. Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/review/2006/compete/>>. Acesso em: 16 fev. 2011.

NIELSEN, R. L. Influence of hybrids and plant density on grain yield and stalk breakage in corn in 15-inch rows spacing. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 1, p. 190-195, 1988.

NIELSEN, R. L. **Perspectives on narrow row spacings for corn (less than 30 inches)**. West Lafayette: Purdue University, 1997. Disponível em: <<http://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-96-17.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2011.

OLIVEIRA, M. D. M.; MILAN, M. Ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 48, n. 1, p. 39-55, 2001.

OLSON, R. A.; SANDERS, D. H. Maize production. In: SPRAGUE, G. F.; DUDLEY, J. W. **Corn and corn improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. cap. 11, p. 639-686.

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

PARVEZ, A. Q.; GARDNER, F. P.; BOOTE, K. J. Determinate and indeterminate type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 1, p. 150-157, 1989.

PASZKIEWICZ, S. Narrow row width influence on corn yield. **Crop Insights**, 1996. Disponível em: <<http://www.pioneer.com/customer/research/ci214.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

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

PENDLETON, J. W. Cultural practices-spacing: plant density and row spacing for corn. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEACH CONFERENCE, 20., 1965, Chicago. **Proceedings...** Chicago: ASTA, 1965. p. 51-58.

PEREIRA, J. R. A. Como produzir silagem com menor custo? **Portal Pioneer**, 05 jan. 2007. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/PopVersaoImpressaoArtigo.aspx?id=82>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

PEREIRA FILHO, I. A.; PACHECO, C. A. P.; CRUZ, J. C.; KARAM, D.; GUISTEM, J. M. Produtividade e algumas características do milho pipoca BRS Ângela, semeado em diferentes espaçamentos e densidades de semeadura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Meio ambiente e a nova agenda para o agronegócio de milho e sorgo: resumos**. Florianópolis: Epagri; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo; Embrapa Milho e Sorgo, 2002. v. 1, p. 318.

PIONEER. **Aumento de população e redução de espaçamento**. Porto Alegre, 2005. 15 p. (Pioneer Responde, 02).

PORTER, P. M.; HICKS, D. R.; LUESCHEN, W. E.; FORD, J. H.; WARNES, D. D.; HOVERSTAD, T. R. Corn response to row width and plant population in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 10, n. 2, p. 293-300, 1997.

PORTO, A. P. F.; VASCONCELOS, R. C.; VIANA, A. E. S.; ALMEIDA M. R. S. Variedades de milho a diferentes espaçamentos no Planalto de Vitória da Conquista-BA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 208-214, 2011.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; BIANCO, J. P.; PIAZZOLI, D. Espaçamento entrelinhas e tratamento fungicida em pré-florescimento no desempenho agrônômico do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade**: resumos expandidos. Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

RAJCAN, I.; SWANTON, C. J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 139-150, 2001.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317 p.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 50.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 33., 2005, Porto Alegre. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul - 2005/2006**. Porto Alegre: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 2005. 155 p.

RICH, F. **Renewed interest in 20-inch rows**: narrow-row corn: successful farming. Illinois: [s.n.], 1995. Disponível em: <<http://www.agriculture.com/sfonline/archive/sf/20inch/20inenew.html>>. Acesso em: 6 mar. 2010.

ROSALES, L. A.; COSTA, C.; FACTORI, M. A.; MEIRELLES, P. R. L.; MORAES, G. J. Produtividade e valor nutritivo de híbridos de milho para silagem em função do espaçamento e da densidade

de semeadura. **Revista de Ciência da Produção Animal**, v. 65, n. 3, p. 197-207, 2008.

SAMPAIO, F. **Safrinha muitos anos de desafios e muita superação em 25 anos de história**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br>>. Acesso em: 17 nov. 2009.

SANGOI, L. Understanding plant densits effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 17-21, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados em diferentes densidades de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 17-21, 2000.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SILVA, P. R. F. da; HORN, D.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. Densidade e arranjo populacional em milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., 2005, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico, 2005. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Densidade/Index.htm>. Acesso em: 27 jan. 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Arranjo de plantas de milho, como otimizá-lo para maximizar o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá. **Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade: [resumos expandidos]**. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Cuiába: Empaer-MT, 2004. 1 CD ROM.

SATTLER, A.; FAGANELLO, A. **Semeadura de milho**: correção da razão de distribuição de sementes através do ajuste no espaçamento entre linhas da semeadora. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 4 p. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 208).

SCHWANTES, D. O.; SCHUELTER, A. R.; FONTOURA, D.; MAROCHIO, J. Características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas: safrinha de 2005. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 343-349, 2007.

SELEME, R. B. A profissionalização da Safrinha. **Portal Pioneer**, 06 jun. 2011. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/PopVersaoImpressaoArtigo.aspx?id=163>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

SEMENTES AGROCERES. **Épocas de plantio**. Disponível em: <http://www.sementesagrocere.com.br/?page_id=94>. Acesso em: 29 jul. 2011.

SILVA, A. K. Redução do espaçamento entrelinhas na cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E

FEIJÃO, 5., 2005, Chapecó. **Resumos expandidos...** Chapecó: Epagri: Cepaf, 2005. p. 27-30.

SILVA, A. G.; CUNHA JÚNIOR, C. R.; ASSIS, L. R.; IMOLESI, A. S. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agronômicos do híbrido de milho P30K75, em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 89-96, abr./jun. 2008.

SILVA, E. P. C.; MENEZES, P. R. F.; SERPA, M. S.; VIEIRA, V. M.; GEHLEN, C. Resposta de híbridos de milho irrigado à redução do espaçamento entre linhas na época de semeadura precoce, sob duas densidades de plantas. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 54.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 37., 2009, Veranópolis. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul - safras 2009/2010 e 2010/2011**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA G.; STRIEDER, M. **L. Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63 p.

SKIDMORE, E. L.; NOSSAMAN, N. L.; WOODRUFF, N. P. Wind erosion as influenced by row direction, and grain sorghum population. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, n. 4, p. 505-509, 1966.

SOFFNER, R. K.; MILAN, M.; RIPOLI, T. C. C. Gerenciamento global de sistema agrícola em unidades sucroalcooleiras através de programação linear. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 5, p. 16-19, 1993.

SPRAGUE, G. F.; DUDLEY, J. W. **Corn and corn improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. 986 p.

STAGGENBORG, S. A.; GORDON, W. B.; MARTIN, V. L.; FJELL, D. L.; DUMLER, T.; KILGORE, G.; TAYLOR, R. K. **Narrow row corn production in Kansas**. Manhattan: Kansas State University, 2001. 8 p. Disponível em: <<http://www.ksre.ksu.edu/bookstore/pubs/MF2516.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

STAHL, L.; COULTER, J.; BAU, D. **Narrow-row corn production in Minnesota**. Minneapolis: University of Minnesota, 2009. Disponível em: <<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/M1266.html>>. Acesso em: 16 ago. 2011.

STRIEDER, M. L. **Resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas em diferentes sistemas de manejo**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A. da; ENDRIGO, P. C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 02 fev. 2011.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A. da; ENDRIGO, P. C. A resposta do rendimento de grãos de milho a espaçamento entre linhas reduzido depende do nível de manejo adotado. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 49.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 32., 2004,

Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: FEPAGRO: EMATER/RS, 2004. 1 CD-ROM.

SWANTON, C. J.; MURPHY, S. D. Weed science beyond weeds: the mole of integrated weed management in agroecosystem heath. **Weed Science**, Ithaca, v. 44, p. 437-445, 1996.

SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. Integrated weed management: the rational and approach. **Weed Technology**, Champaign, v. 5, n. 3, p. 657-663, 1991.

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.

TEIXEIRA, M. C. C.; EMYGDIO, B. M.; RODRIGUES, O.
Desempenho de híbridos simples e triplos de milho cultivados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 14 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 72). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp72.htm>. Acesso em: 16 ago. 2011.

THILL, D. C.; LISH, J. M.; CALLIHAN, R. H.; BECHINSKI, E. J. Integrated weed management a component of integrated pest management: a critical review. **Weed Technology**, Champaign, v. 5, p. 648-656, 1991.

THOMISON, P. R.; LIPPS, P.; BARKER, R.; GRIFFITH, R.; JORDAN, D. **Plant population and row spacing effects on gray leaf spot and stalk rot in corn.** Columbus: The Ohio State University, 1997.

Disponível em: <<http://ipm.osu.edu/mini/97m-5.htm>>. Acesso em: 06 jun. 2011.

WESTGATE, M. E.; FORCELLA, D. C. R.; SONSEM, 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.

WEISMANN, M.; ERBES, E. J.; VALENSUELO, M. L. B. Espaçamento de milho. In: TECNOLOGIA e produção milho safrinha e culturas de inverno 2008. 4. ed. Maracaju: Fundação MS, 2007. p. 163-168.

WIDDICOMBE, W.; THELEN, K. D. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 326-330, 2002.

WYSE, D. L. New technologies and approaches for weed management in sustainable agricultural systems. **Weed Technology**, Champaign, v. 8, p. 403-407, 1994.



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

