

## RENDIMENTO DO MILHO NO BRASIL: CHEGAMOS AO MÁXIMO?<sup>1</sup>

Antonio Marcos Coelho<sup>2</sup>  
José Carlos Cruz<sup>2</sup>  
Israel Alexandre Pereira Filho<sup>2</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

**E**m uma economia globalizada e de alta competitividade, a busca por maior eficiência na produção agrícola tem sido uma constante dos setores envolvidos na cadeia produtiva. Procura-se mostrar nesse artigo os limites e as potencialidades da produção nacional de milho, a partir dos padrões tecnológicos utilizados atualmente e pela melhoria dos sistemas de produção. Assim, é apresentada uma análise geral da cultura do milho no Brasil, identificando os principais fatores agronômicos envolvidos nos sistemas de produção.

### 2. O CENÁRIO INTERNACIONAL

A produtividade mundial de milho tem apresentado aumento contínuo desde a introdução dos híbridos em meados da década 1931-40. De acordo com RUSSEL (1991), esses aumentos ocorreram devido ao melhoramento genético, à melhoria do manejo e das práticas culturais e às interações entre esses fatores.

DUVICK (1992) apresenta as estimativas dos ganhos em produtividade de milho nos EUA, no período de 50 anos, com valores variando de 78 a 103 kg/ha/ano (Tabela 1). Estudos mais recentes, realizados por ALLEY & ROYGARD (2001), indicam que a produtividade de milho nos EUA, nos últimos 40 anos, aumentou a uma taxa de 112 kg/ha/ano. De acordo com DUVICK (1992), 48% e 52% dos ganhos em produtividade foram devidos, respectivamente, ao melhoramento genético e à melhoria do ambiente.

Entretanto, as projeções disponíveis quanto ao provável cenário para grãos, incluindo o milho, no século 21, não são unânimes. Estimativas do Banco Mundial e da FAO, baseadas em tendências de crescimento que tem-se mantido praticamente constantes desde 1950, apontam para um crescimento da produção mundial de grãos.

Por outro lado, o “World Watch Institute” e o Ministério da Agricultura do Japão, citados por GASQUES & VILLA VERDE (1998), argumentam que as condições da agricultura mudaram muito nos últimos anos e que os rendimentos que aumentaram linearmente entre 1960 e 1990 não deverão continuar aumentando no futuro.

Nesse período, incorporou-se grande quantidade de inovações que não deverão se repetir nos próximos anos. Além disso,

Tabela 1. Estimativas dos ganhos em produtividade de milho nos EUA atribuídos ao melhoramento genético e ambiental ao longo de cinco décadas.

Período	Ganho total	Fatores		Autores
		Genético	Ambiental	
	kg/ha/ano	-----	%-----	
1930-1970	78	63	37	Russel (1974)
1935-1971	88	28	72	Duvick (1977)
1935-1972	91	31	69	Duvick (1977)
1922-1980	103	56	44	Duvick (1984)
1930-1980	103	56	44	Duvick (1984)
1930-1986	103	47	53	Duvick (1990)
1960-2000	112	**	**	Alley & Roygard (2001)
Média		48	52	

\*\* Dados não estimados.

Fonte: adaptada de DUVICK (1992).

apontam-se vários constrangimentos que tendem a limitar a produção de grãos nos próximos anos, tais como o esgotamento dos solos, o rendimento decrescente dos fertilizantes, a escassez de água devido ao seu múltiplo uso, e problemas climáticos decorrentes do aquecimento da Terra. Portanto, deverá ocorrer escassez e não excesso de produtos agrícolas.

### 3. POTENCIAL TEÓRICO E RECORDES DE PRODUTIVIDADE DE MILHO

Estudos teóricos, com simulações feitas com o uso de computadores, mostram que o potencial de produtividade de milho nas condições do cinturão do milho nos EUA (“Corn Belt”) é da ordem de 31.400 kg/ha (YAMADA, 1997). Entretanto, poucos dados são disponíveis relatando produtividades recordes de milho no campo. O primeiro relato foi o de Richard (1947), citado por LOWENBERG-DEBOER (1998), o qual mencionou que o primeiro híbrido de milho testado na estação experimental em Connecticut, EUA, em 1908, produziu 12.600 kg/ha, época em que a produtividade média de milho era de 2.500 a 3.700 kg/ha. Posteriormente, de acordo com VYN (2001), há relatos do agricultor Herman Warsaw do Estado de Illinois, EUA, que em 1985 obteve 23.200 kg/ha, e do agricultor Francis Child do Estado de Iowa, EUA, que em 1999 obteve o re-

<sup>1</sup> Palestra apresentada no 3º Simpósio sobre Rotação Soja/Milho no Plantio Direto, promovido pela POTAFOS, Piracicaba, julho/2002.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa – Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG. Telefone: (31) 3779-1164. E-mail: amcoelho@cnpms.embrapa.br

corde de 24.700 kg/ha. De acordo com VYN (2001), na maioria dos experimentos conduzidos nas Universidades Americanas, as produtividades de milho, normalmente, estavam abaixo de 12.500 kg/ha.

No Brasil, a partir da década de 70, foram instituídos os concursos de produtividade de milho, coordenados pelas instituições oficiais de assistência técnica, pesquisa e firmas produtoras de sementes. Além do caráter educacional e da transferência de tecnologias aos agricultores, buscava-se também, com base nas tecnologias disponíveis, a obtenção de altas produtividades de milho.

Na Tabela 2 são sumariados os resultados dos campeões de produtividade de milho. Com base nesses resultados, observa-se que o recorde de produtividade de milho no Brasil é de 16.800 kg/ha, obtido pelo agricultor Geraldo N. Lacerda, no município de Virgíno-polis, MG, em 1994.

Apesar do grande número de agricultores envolvidos nos concursos de produtividade, representando diferentes condições edafoclimáticas, muitas informações relevantes não foram monitoradas. Seria importante conhecer as condições em que esses agricultores obtiveram essas altas produtividades. Normalmente, os agricultores que obtêm altas produtividades de milho dão muita ênfase às altas doses de fertilizantes (N, P, K) aplicadas, geralmente acima dos níveis recomendados em suas regiões. Entretanto, devido ao fato que muitos fatores da cultura, do solo e condições climáticas devem estar sincronizados para se ter um ambiente ótimo, não se pode concluir que altas doses de fertilizantes foram os fatores essenciais para os agricultores campeões em produtividade.

Histórico de área; escolha do híbrido; população de plantas; condições químicas e físicas do solo; manejo de pragas, doenças e plantas daninhas; condições climáticas como: quantidade e

distribuição de chuvas, temperatura, radiação solar e luminosidade; aplicação espacial e temporal dos insumos (administração), podem ser fatores mais importantes na obtenção de altas produtividades do que doses de aplicação de nutrientes isoladamente.

Do ponto de vista das características de solo, é importante conhecer quais de suas propriedades (físicas, químicas e biológicas) poderiam melhor explicar a variabilidade e o potencial de produção de milho. Mais pesquisas, de caráter multidisciplinar, envolvendo pesquisadores especialistas das diferentes áreas, são necessárias para determinar os elementos-chave do sucesso na obtenção de altas produtividades de milho.

#### 4. MILHO NO BRASIL: ÁREA PLANTADA, PRODUÇÃO E RENDIMENTO

O milho no Brasil é cultivado em 3,6 milhões de propriedades rurais, abrangendo, na safra 2000/2001, uma área de 13 milhões de hectares, e apresentando, respectivamente, produção e produtividade de 41.500 milhões de toneladas e 3.272 kg/ha (IBGE, 2001).

Nos últimos 31 anos, a área plantada aumentou em 2,38 milhões de hectares, a produtividade em 1.619 kg/ha e produção total em 23,61 milhões de toneladas (Figura 1). A estimativa da CONAB (2002) para a safra de 2001/2002 é uma redução de 13,3% na produção de milho em relação à safra anterior, o que vai representar 5,5 milhões de toneladas a menos.

O milho é cultivado em praticamente todo o território nacional (Figura 2), sendo que, na safra 2000/2001, 77% da área plantada e 92% da produção concentraram-se nas regiões Sul (42,32% da área e 53,70% da produção), Sudeste (19,01% da área e 19,62% da produção) e Centro-Oeste (15,77% da área e 19,22% da produção).

Conforme ilustrado na Tabela 3, a contribuição dessas regiões em área plantada e produção ao longo dos últimos 31 anos tem-se alterado. A região Nordeste tem apresentado grandes variações na área plantada e produção, o que dificulta estimar se sua participação tem aumentado ou diminuído. Na região Sul, a participação na área plantada e na produção tem-se mantido praticamente constante, enquanto na região Sudeste houve redução em 10% na área plantada e na produção. As regiões Norte e Centro-Oeste apresentaram, no mesmo período, aumentos na participação da área plantada e na produção (Tabela 3), enquanto a região Norte aumentou sua participação em 5,3% em área plantada e 2,8% em produção, e a região Centro-Oeste aumentou sua participação em 9,6% na área plantada e 14,6% em produção.

Há uma enorme diversidade nas condições de cultivo que vão desde a agricultura tipicamente de subsistência, sem o emprego de insumos, e cuja produção visa o consumo próprio, sendo o excedente comercializado, até o outro extremo, em que agricultores utilizam o máximo de tecnologia disponível e têm

**Tabela 2. Campeões nacionais de produtividade de milho no Brasil, no período de 1977 a 1999.**

Ano agrícola	Agricultor	Município	Rendimento (kg/ha)
1977/78 <sup>1</sup>	Salézio Weber	Salto da Lontra, PR	7.812
1978/79 <sup>1</sup>	Nilton L. P. Braga	Ribeirão Bonito, SP	12.970
1979/80 <sup>1</sup>	Estanislau Meurer	Dois Vizinhos, PR	10.685
1980/81 <sup>1</sup>	Carmelino V. Silva	Itanhomi, MG	10.797
1981/82 <sup>1</sup>	Walter Bernades	Alegre, ES	14.677
1982/83 <sup>1</sup>	Ailton Novais	Pratápolis, MG	13.436
1983/84 <sup>1</sup>	José A.B. Cardoso	Batatais, SP	15.138
1984/85 <sup>1</sup>	José G. Cerqueira	Codisburgo, MG	14.110
1985/86 <sup>1</sup>	Marcelo C. Madeira	Divinolândia, MG	15.563
1986/87 <sup>1</sup>	Bauke D. Dijkstra	Ponta Grossa, PR	15.077
1987/88 <sup>1</sup>	Lister F. Fernandes	Ituverava, SP	16.058
1988/89 <sup>1</sup>	Sebastião A. Silva	Coromandel, MG	14.666
1989/90 <sup>1</sup>	Nercy S. Santos	Bonito, MS	15.665
1990/91 <sup>2</sup>	Sebastião G. Souza	Bonito, MS	15.738
1991/92 <sup>2</sup>	Romildo F. Dias	Capinópolis, MG	15.740
1992/93 <sup>2</sup>	Antonio P. Marques	Sabinópolis, MG	15.990
<b>1993/94<sup>2</sup></b>	<b>Geraldo N. Lacerda</b>	<b>Virgíno-polis, MG</b>	<b>16.828</b>
1994/95 <sup>2</sup>	David G. Nascimento	P. do Rio Grande, MG	15.389
1995/96 <sup>2</sup>	Ademar B. Melo	Carmo do Cajuru, MG	15.786
1996/97 <sup>2</sup>	Geniplo F. Silva	Carmo do Cajuru, MG	13.898
1997/98 <sup>2</sup>	Lázaro E. Rabelo	Coromel, MG	12.750
1998/99 <sup>2</sup>	Paulo C. Cabral	Alterosa, MG	13.369

Fonte: adaptada de <sup>1</sup>Agrocere [199?] e <sup>2</sup>Emater -MG [199?].

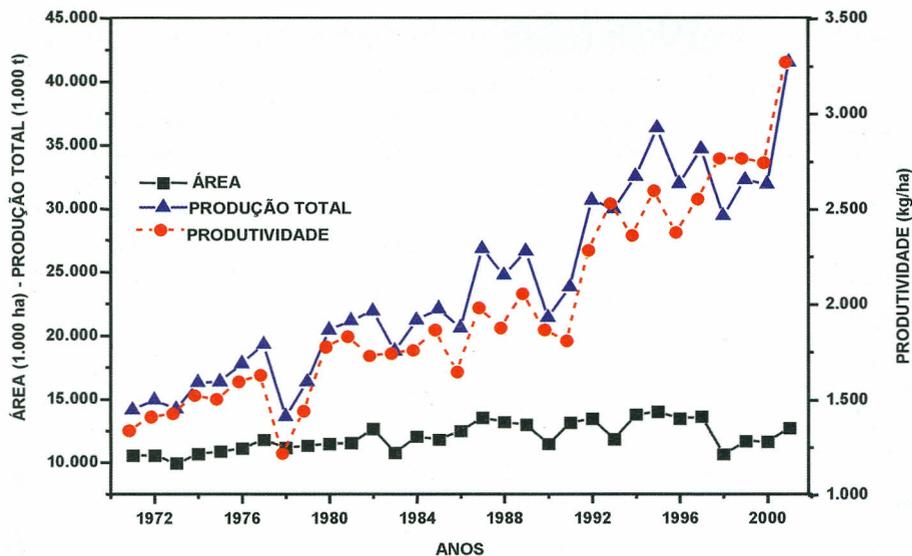


Figura 1. Área plantada, produção e rendimento de milho no Brasil no período de 1971 a 2001. Fonte: elaborada com dados do IBGE (2001).

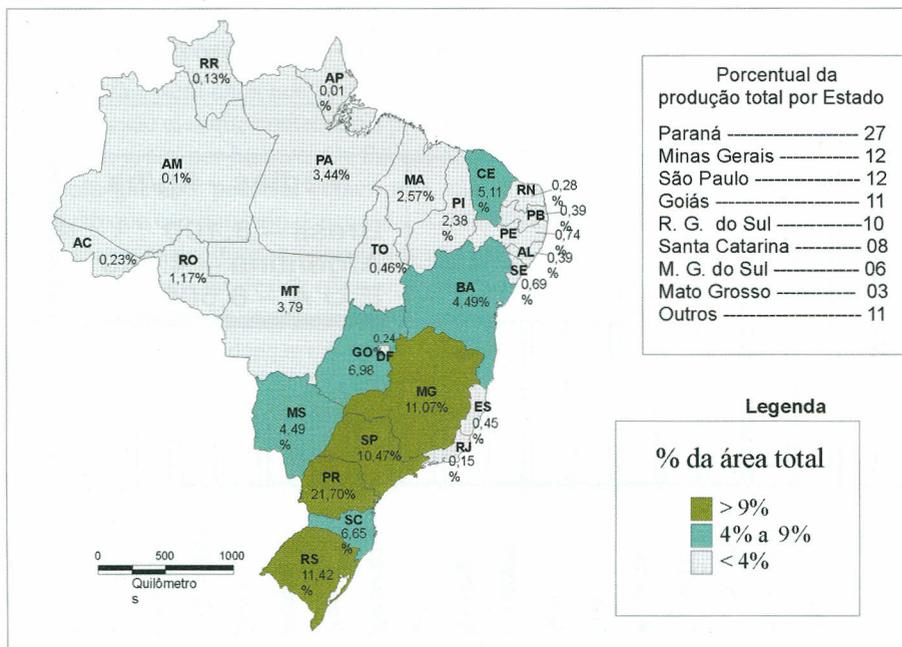


Figura 2. Porcentual do total da área plantada (ha) com a cultura de milho, por unidade da federação, Brasil, 1999. Fonte: IBGE (1999). Edição: Geoprocessamento Embrapa – Milho e Sorgo (2002).

produtividade equivalente à obtida em países de agricultura mais avançada. De acordo com levantamento realizado pela CARGILL AGRÍCOLA S.A., em 1995, a estratificação da cultura por níveis tecnológicos foi assim distribuída: a) nível tecnológico marginal = 43% da área cultivada; b) nível tecnológico baixo = 24% da área cultivada; c) nível tecnológico médio = 22% da área cultivada, e d) nível tecnológico alto = 11% da área cultivada.

Recentemente, ocorreram importantes mudanças nos sistemas de produção de sequeiro, destacando-se o aumento da área do milho “safrinha”, definido como o milho de sequeiro cultivado extemporaneamente de janeiro a abril, quase sempre depois da soja precoce, na região Centro-Sul, e a expansão do sistema de plantio direto. No decorrer da década de 90, o processo de deslocamento da cultura do milho da safra normal pela soja se intensificou, passando parte do cereal a ser cultivado em sucessão à oleaginosa,

como uma cultura de segunda safra (milho safrinha). Essa mudança se acentuou nos últimos anos, de modo que em 1999 a área da cultura do milho safrinha nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul foi maior do que a safra normal (TSUNECHIRO & FREITAS, 2001).

A baixa produtividade média de milho no Brasil (Figura 1) não reflete o bom nível tecnológico alcançado por parte dos produtores, já que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos e finalidades de produção. Como pode ser observado na Tabela 3, enquanto o rendimento médio para a Região Nordeste, onde predomina a cultura de subsistência, apresentou um aumento de 11 kg/ha/ano, a região Centro-Oeste, com características de exploração comercial, apresentou um aumento de 81 kg/ha/ano. A produtividade média dos Estados localizados nessa região é superior a 4.500 kg/ha (Figura 3). Assim, para aumento da produtividade é necessário que em parte das propriedades sejam adotadas técnicas básicas, incluindo cultivares melhoradas, práticas de manejo, calagem e adubação, etc., e noutras, o aprimoramento integrado de todas as técnicas culturais para suplantar os atuais tetos de 6.000 a 8.000 kg/ha.

Dentro desse enfoque, e de acordo com os dados do Censo Agropecuário de 1995/96, verifica-se que há uma relação direta entre o tamanho da área cultivada pelos agricultores e a produtividade de milho (primeira e segunda coluna da Tabela 4); isto é, à medida que há um aumento no tamanho da lavoura há um incremento no rendimento. Isto pode estar relacionado com o efeito de escala de capitalização do agricultor, uso de mecanização, etc., resultando em maior uso de tecnologias.

Observa-se ainda na Tabela 4, no trabalho apresentado por ALVES et al. (1999), que as lavouras menores que 5 ha coincidentemente apresentam produtividade média (963 kg/ha) equivalente à média das lavouras incluídas na classe com até 2.000 kg/ha. Essa classe de agricultores representa a agricultura tradicional, que usa somente terra e trabalho, num ambiente inadequado para a agricultura moderna.

Por outro lado, as taxas de crescimento da produtividade aumentam proporcionalmente ao aumento do rendimento médio (Tabela 4), apontando para uma concentração da lavoura de milho em alguns pontos do território nacional, caminhando-se dessa forma para o surgimento de um cinturão de milho, não tão concentrado como o “Corn Belt” americano, mas localizado em alguns pólos.

É importante ressaltar que nos últimos anos a cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção (Tabelas 3 e 4). Dentre essas tecnologias destaca-se a adoção de sementes de cultivares melhoradas (variedades e híbridos), alterações no espaçamento e densidade de semeadura de acordo com as características das cultivares e a conscientização dos produtores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos,

Tabela 3. Estimativas<sup>1</sup> do aumento ou redução anual da participação, área plantada, produção e rendimento de milho por regiões do Brasil, no período de 1971 a 2001.

Região	Participação <sup>2</sup>		Área (1.000 ha)	Produção (1.000 t)	Rendimento (kg.ha <sup>-1</sup> )
	Área (%)	Produção (%)			
Sul	ns	ns	18,71	346,58	63
Sudeste	-0,32	-0,33	-18,46	125,22	59
Centro-Oeste	0,31	0,47	44,67	221,12	81
Norte	0,17	0,09	22,28	36,49	23
Nordeste	ns	ns	ns	32,38	11
Brasil			76,79	761,80	52
Taxa anual de crescimento nos EUA de 1960 a 2000 <sup>3</sup>					112

<sup>1</sup> Coeficientes da regressão linear, significativos ao nível de 5%, obtidos com base nos dados do IBGE (2001).

<sup>2</sup> Participação em relação ao total do Brasil. ns = não significativo.

<sup>3</sup> De acordo com ALLEY & ROYGARD (2001).

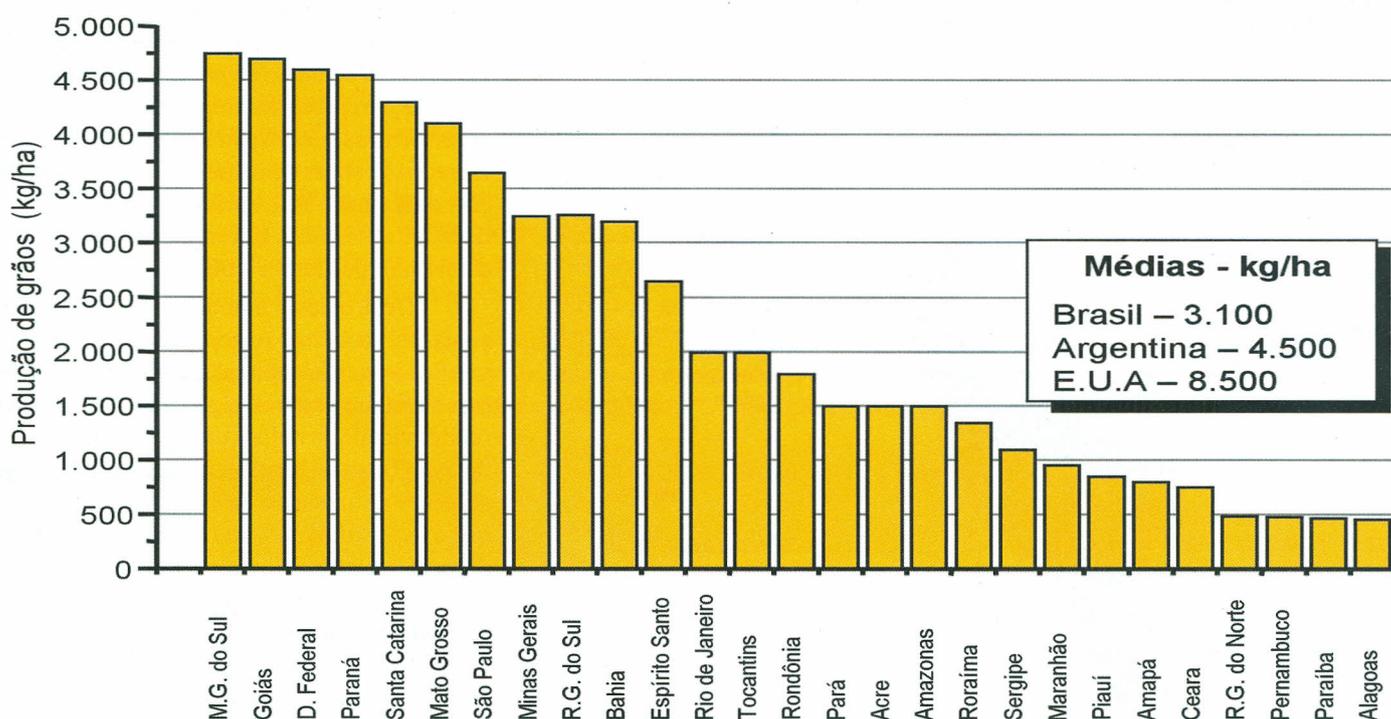


Figura 3. Produtividades médias de milho por unidades da federação, Brasil, médias de 3 anos (1998-2001). Fonte: CONAB (2001).

Tabela 4. Rendimento médio e taxa de crescimento da produtividade de milho de acordo com o tamanho das lavouras.

Área <sup>1</sup> (ha)	Rendimento <sup>1</sup> (kg/ha)	Classe de rendimento (kg/ha) <sup>2</sup>	Rendimento médio <sup>2</sup> (kg/ha)	Taxa de crescimento (%) <sup>2</sup>
0-5	963	0-2.000	963	0,93
5-10	1.599	2.000-3.000	2.573	2,00
10-20	1.982	3.000-3.500	3.308	2,37
20-50	2.126	3.500-4.000	3.717	3,47
50-100	2.274	4.000-4.500	4.312	4,43
100-200	2.514	> 4.500	5.164	7,09
200-500	2.997			
500-1.000	3.248			
> 1.000	3.637			

Fonte: <sup>1</sup>Censo Agropecuário 1995/96 e <sup>2</sup>ALVES et al. (1999).

visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos geralmente está relacionada ao manejo adequado, o qual inclui, entre outras práticas, rotação de culturas, plantio direto, manejo da fertilidade através da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (estercos, compostos, adubação verde, etc.).

## 5. FATORES ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os principais fatores que afetam os sistemas de produção da cultura do milho são os de aspecto econômico, ambiental, tecnológico e qualidade do produto. O aspecto econômico baseia-se no fato de que há um decréscimo relativo do valor do produto comparado ao custo de produção e ao custo final ao consumidor. Considerações ambientais estão relacionadas com a poluição causada

pelo insumos utilizados na produção, controle de erosão e sustentabilidade. As mudanças tecnológicas são rapidamente difundidas aos agricultores pelos modernos meios de comunicação, como, por exemplo, o lançamento constante de novos materiais genéticos. Sistema de posicionamento global (GPS) e sistema de informações geográficas (SIG) possibilitam a localização de áreas específicas dentro do campo e a aplicação variada de insumos. Computadores para armazenar e analisar dados e controlar as máquinas para aplicações diferenciadas de insumos possibilitam aos agricultores e consultores tomar decisões com base em melhores informações. Finalmente, o público consumidor em geral deve ver o produto como sendo de boa qualidade e saudável, ou corre-se o risco de perda do mercado com sérias conseqüências econômicas.

Nos sistemas de produção, os fatores tecnológicos podem ser divididos em “fatores de construção da produtividade” e “fatores de proteção da produtividade”. Os fatores de construção da produtividade são: a) genético – cultivares; b) manejo cultural – precisão na sementeira; c) fertilidade do solo – nutrição e adubação; d) clima – disponibilidade espacial e temporal de água e temperatura. Os fatores de proteção da produtividade são os que possibilitam a colheita da produção que tem sido construída: a) controle de ervas daninhas; b) controle de pragas; c) controle de doenças; d) manejo da colheita.

Ênfase será dada aos “fatores de construção da produtividade” pois são eles que aumentam a produção em termos de quilogramas de grãos por hectare. Os fatores de proteção aumentam a produção que se é possível colher, mas não se pode colher uma produção que não tem sido construída. Acredita-se que na maioria dos casos os agricultores e consultores não estão dedicando atenção suficiente aos fatores de construção da produtividade de seus sistemas de produção. A intensificação dos esforços para analisar e implementar as mudanças nas áreas de construção da produtividade é o caminho para melhorar significativamente as condições econômicas e ambientais, associadas a muitos sistemas agrícolas.

### 5.1. Melhoramento Genético – Cultivares

Conforme discutido anteriormente, o melhoramento genético tem contribuído significativamente para o aumento da produção do milho. Por exemplo, no Brasil, o aumento nos últimos 31 anos foi de 1.618 kg/ha. Embora não se disponha de informações sobre a participação dos fatores responsáveis pelo aumento da produtividade, pode-se inferir, a exemplo do que ocorreu nos EUA, que o melhoramento genético, associado às melhorias no manejo dos solos e da cultura, são fundamentais no aumento dessa produtividade.

Alguns trabalhos têm sido realizados no Brasil para quantificar o progresso genético obtido por meio do melhoramento (VENCOVSKY et al., 1986; RAMALHO, 1999). ARAÚJO (1995) comparou a performance de híbridos e variedades desenvolvidas em diferentes décadas, em 10 locais da região Centro-Sul, obtendo um

ganho médio de 51 kg/ha/ano para os híbridos e de 31 kg/ha/ano para as variedades.

Deve ser enfatizado que no Brasil são oferecidas sementes melhoradas anualmente, suficientes para o plantio de cerca de 8 milhões de hectares, sendo provavelmente o insumo moderno de uso mais generalizado na cultura de milho. Entretanto, mais de 4 milhões de hectares continuam sendo plantados com materiais de baixo potencial de produção, como variedades locais não melhoradas (milho de paiol) e segunda geração de híbridos comerciais (EMBRAPA, 1993).

Atualmente os agricultores dispõem de mais de uma centena de cultivares de milho para implantação das lavouras, com ampla diversidade genética. Por exemplo, na safra 2001/02 foram disponibilizadas cerca de 180 cultivares de milho, sendo que os híbridos triplos e simples, modificados ou não, representaram 63% das cultivares. Esses dados enfatizam a necessidade de se aprimorar os sistemas de produção utilizados, para melhor explorar o potencial genético dessas sementes (CRUZ et al., 2001). Em termos de quantidade de sementes vendidas, os híbridos duplos ainda predominam no mercado (Tabela 5), mas a melhoria do nível tecnológico em regiões específicas e a maior competitividade do mercado nacional de sementes têm aumentado a oferta de híbridos triplos e simples, que somados já dominam uma maior fatia de mercado (Tabela 5).

Houve aumento na introdução de germoplasmas de clima temperado de porte baixo, geralmente mais precoce e com maior índice de colheita, permitindo o uso de maior densidade populacional e flexibilidade nos sistemas de rotações e sucessões de culturas. Esses modernos materiais genéticos apresentam também características específicas para resistência a doenças, pragas (alguns para resistência a herbicidas), capacidade de manter as folhas verdes até próximo à maturidade dos grãos (“stay green”), qualidade para mercados específicos e variações no potencial de produção.

A escolha da cultivar mais adequada é um aspecto fundamental para o estabelecimento de um sistema de produção mais eficiente. A eficiência na escolha de materiais genéticos pode ser implementada pela observação de um conjunto de informações para a cultura dentro de cada região. Dentre essas informações, as seguintes características devem ser observadas: a) adaptação à região; b) potencial produtivo; c) estabilidade de produção; c) tolerância a doenças (principalmente em plantio direto), inclusive quanto à sanidade dos grãos; d) resistência ao acamamento de colmo e de raiz; e) ciclo; f) características dos grãos (textura e coloração).

Outras características são também mencionadas como: velocidade de emergência e sistema radicular vigoroso (importante para o plantio direto), perda de umidade após maturação fisiológica (“dry down”), empalhamento, prolificidade, peso de 1.000 grãos e densidade (g/l), tolerância a algum herbicida e adaptação a espaçamentos mais estreitos.

Com base nessas informações, as quais devem ser atualizadas anualmente, e de acordo com as necessidades do agricultor, é

Tabela 5. Porcentagem de diferentes tipos de sementes de cultivares de milho vendidas no Brasil.

Tipo de cultivar	Anos agrícolas				Média
	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	
Híbrido simples	20,39	27,94	30,16	33,70	28,05
Híbrido triplo	27,62	25,00	27,20	24,62	26,11
<b>Híbrido duplo</b>	<b>42,81</b>	<b>38,66</b>	<b>34,20</b>	<b>34,21</b>	<b>37,47</b>
Variedade	9,18	8,40	8,44	7,47	8,37

Fonte: Associação Paulista dos Produtores de Sementes – APPS, Circular 005/1999 e 004/2000.

possível selecionar o híbrido ou variedade mais apropriados para um sistema de produção específico.

## 5.2. Manejo Cultural – Precisão na Semeadura

O manejo cultural deve ser adequado para explorar ao máximo o potencial genético de uma cultivar em uma determinada condição edafoclimática, levando em consideração aspectos econômicos e a sustentabilidade do sistema de produção. Dessa forma, o manejo correto do solo, a época de semeadura, o espaçamento e densidade, o controle de plantas daninhas, pragas e doenças, e aspectos relacionados à fertilidade do solo, nutrição e adubação são essenciais para o sucesso de uma lavoura.

É importante usar corretamente os métodos de preparo do solo para evitar sua progressiva degradação física, química e biológica. A utilização constante do mesmo equipamento, como a grade aradora, muito comum no Brasil Central, provoca compactação abaixo da camada preparada (pé-de-grade). Essa camada compactada diminui a infiltração da água no solo, com o conseqüente aumento no escoamento superficial, causando erosão. Os sistemas radiculares das culturas ficam mais superficiais, explorando menor volume de solo e tornando as plantas mais suscetíveis ao veranico, comum em várias regiões.

Nos últimos anos tem aumentado substancialmente o uso do plantio direto, sendo que, atualmente, mais de 18 milhões de hectares já são cultivados com este sistema e cerca de 4 milhões de hectares ocupados com a cultura do milho. Nas regiões onde se cultivam a soja e o milho, o plantio direto se beneficia desta rotação que é benéfica para ambas as culturas. O mesmo ocorre no plantio do milho “safrinha” plantado após a soja precoce. Para o sucesso do plantio direto, um fator muito importante é o aporte de material orgânico e cobertura vegetal. Neste caso, o milho apresenta papel de destaque por sua grande produção de biomassa e por ser esta de relação C/N alta, o que colabora para uma maior cobertura do solo, tanto em quantidade como em tempo de permanência na superfície.

A semeadura do milho na época certa, embora não tenha nenhum efeito no custo de produção, seguramente afetará o rendimento e, conseqüentemente, o lucro do agricultor. Trabalhos de pesquisas realizados no Brasil Central mostram que, dependendo da cultivar, o atraso na semeadura a partir da época mais adequada (geralmente em outubro) pode resultar em redução no rendimento de até 30 kg/ha por dia. Obviamente, por razões diversas, este atraso muitas vezes não depende do produtor. Entretanto, se o produtor atrasar a semeadura por negligência ou por desconhecimento estará perdendo dinheiro e comprometendo seu negócio. Atualmente, já se dispõe do zoneamento agroclimático para a cultura do milho nos principais Estados produtores (Zoneamento Agrícola, 2000), em que são estabelecidas as épocas de semeadura com menor probabilidade de expor a cultura a geadas e ao déficit hídrico (Figura 5).

Outro importante componente do sistema de produção é a densidade de semeadura, a qual é função da cultivar, da disponibilidade hídrica e de nutrientes. Assim, qualquer fator que afetar a disponibilidade de água e de nutrientes para o milho também afetará a escolha da densidade de semeadura. Em relação à cultivar, a densidade poderá variar em função do porte, da arquitetura da planta, da resistência ao acamamento e da finalidade a que se destina o plantio. Normalmente, cultivares mais precoces, de menor porte e mais eretas permitem o uso de densidades mais elevadas e espaçamentos mais estreitos. Quanto à disponibilidade de nutrientes e hídrica, a relação com a densidade de plantio é direta, isto é, quanto maior a disponibilidade destes fatores maior será a densidade recomenda-

da. A Tabela 6 mostra faixas de densidades de plantio para diferentes tipos de cultivares de milho.

**Tabela 6. Densidade de plantas recomendadas para os diferentes tipos de cultivares comercializadas na safra 2001/02.**

Tipo de cultivares	Freqüência de cultivares	Densidades de plantas recomendadas Número/ha
Híbrido simples	53	50.000 a 70.000
Híbrido triplo	50	45.000 a 60.000
Híbrido duplo	40	40.000 a 55.000
Variedade	18	40.000 a 50.000

Fonte: adaptada de CRUZ et al. (2001).

Visando o aumento da produtividade, existe uma tendência de reduzir o espaçamento e aumentar a população de plantas por área para a maioria dos modernos híbridos. Entre as vantagens potenciais da utilização de espaçamentos menores (0,50 a 0,70 m), podem ser citados o aumento na eficiência de utilização da luz solar, água, nutrientes e controle de plantas daninhas. Devido a uma melhor distribuição espacial das plantas na área, há um fechamento mais rápido dos espaços disponíveis, diminuindo a duração do período crítico de competição das ervas daninhas e a erosão, em conseqüência do efeito da cobertura antecipada da superfície do solo.

Com o desenvolvimento das tecnologias de agricultura de precisão é possível manejar a variabilidade das áreas de produção a níveis de escala muito menores que os empregados no passado. As modernas semeadoras podem ser equipadas para variar a quantidade de sementes, e assim a população de plantas pode ser alterada no campo de acordo com as necessidades, como tipo de solo, cultivares, etc. Colheitadeiras equipadas com monitores de colheita e GPS possibilitam a obtenção de mapas de variabilidade na produção e conseqüentemente o delineamento de zonas de manejo.

Para evitar perdas no rendimento, a lavoura deve ser mantida no limpo até a 6ª ou 7ª semana após a emergência do milho. Um bom controle do mato pode ser obtido tanto com controle mecânico quanto químico. Embora o controle químico de plantas daninhas na cultura do milho no Brasil tenha sido cada vez mais freqüente, a taxa de adoção dessa tecnologia ainda é relativamente pequena. Segundo KISSMANN (2000), enquanto no Brasil somente 28% da área cultivada com milho é tratada com herbicidas, no Paraguai esse valor atinge 30%, no Uruguai 65% e na Argentina 98%. Atualmente, são 4 milhões de hectares, mas estima-se que poderá chegar a 6 milhões num prazo de 8 anos (RAMOS, 2001). Assim, o baixo consumo de herbicidas na cultura do milho no Brasil pode ser um indicativo da predominância de pequenas lavouras, onde o uso de tecnologias é menor.

Por outro lado, pesquisas têm demonstrado a eficiência do uso de práticas integradas de manejo no controle de plantas daninhas. Vários autores têm demonstrado que esta estratégia pode reduzir o uso de agroquímicos (ANDERSON, 1997). Redução entre 30 e 40% no uso de agroquímicos foi obtida por McMASTER et al. (1987) e ANDERSON (1997) na cultura do trigo de inverno. A combinação de espaçamento, densidade de semeadura, cultivares com diferenças nos ciclos e arquiteturas mais eretas, e níveis de fertilizantes, especialmente o nitrogênio, pode constituir um sistema em que o milho seja mais competitivo com as plantas daninhas (SWANTON & MURPHY, 1996; TEASDALE, 1995).

A rotação de culturas também tem demonstrado sua importância no controle das plantas daninhas (LORENZI, 1986). A razão disso é que a rotação interrompe o ciclo biológico das plantas daninhas mais comuns, ou seja, aquelas mais competitivas e que exigem outras técnicas de manejo cultural adequadas. O sistema de rotação milho e soja tem evidenciado este propósito, principalmente quando utiliza-se para o milho o mesmo espaçamento adotado para a soja (0,50 m), o que pode inibir o desenvolvimento das plantas daninhas, minimizando ou até mesmo eliminando o uso de herbicidas pós-emergentes.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento acentuado de ocorrência de pragas e doenças na cultura do milho. Desde que o controle químico de doenças geralmente não é econômico, o produtor deve utilizar cultivares mais resistentes associadas a outras práticas de manejo como: rotação de culturas e épocas de semeadura mais adequadas.

No controle de pragas, o método químico é normalmente utilizado. Entretanto, a aplicação incorreta pode propiciar o desenvolvimento de raças de pragas resistente ao inseticida aplicado. Além disso, o uso indiscriminado de inseticidas tem levado à eliminação de inimigos naturais. Uma boa estratégia tem sido a utilização de inseticidas químicos via tratamento de sementes. O custo do inseticida para o tratamento de sementes é apenas 4,8% do custo total dos insumos, considerando, além do inseticida, a semente, o adubo e o herbicida (CRUZ et al., 1999). Deve-se ressaltar que na venda de inseticidas para o tratamento de sementes, o milho foi a cultura que representou maior valor de faturamento do segmento, representando, em 2000, cerca de 57%, seguido de algodão (19,3%), arroz (6,6%), feijão (6,5%), soja (6,4%) e trigo (4,0%) (FERREIRA et al., 2002).

Dentre as pragas foliares, a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é a mais importante da cultura do milho no Brasil. Tem sido relatado que as reduções no rendimento do milho provocadas por essa lagarta chegam a 34%. As perdas econômicas causadas por essa praga na cultura do milho são estimadas em 400 milhões de dólares (CRUZ et al., 1999). A má regulação dos equipamentos e a escolha incorreta de inseticidas têm aumentado o número médio de aplicações na cultura do milho, sem, no entanto, atingir os objetivos de controle dessa praga (CRUZ, 1995). Além da escolha dos produtos químicos adequados e equipamentos de aplicação, métodos alternativos, como o controle com a identificação dos inimigos naturais, devem ser considerados (CRUZ et al., 1999).

### 5.3. Fertilidade do Solo, Nutrição e Adubação

Fertilidade dos solos, nutrição e adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com o requerimento da cultura, em quantidade, forma e tempo. Um programa racional de adubação envolve as seguintes considerações: a) diagnose da fertilidade do solo; b) requerimento nutricional do milho de acordo com a finalidade de exploração (grãos ou forragem); c) os padrões de absorção e acumulação de nutrientes, principalmente N e K; d) fontes dos nutrientes; e) métodos e épocas de aplicação.

No período de 1996 a 1999, o consumo de fertilizantes na cultura do milho aumentou de 2,03 para 2,62 milhões de toneladas, representando um aumento de 30% (ANDA, 1999). Acredita-se que o milho, com cerca de 13 milhões de hectares cultivados e um consumo médio de 110 kg/ha de N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O (Figura 4), será, em futuro próximo, a principal cultura consumidora de fertilizantes.

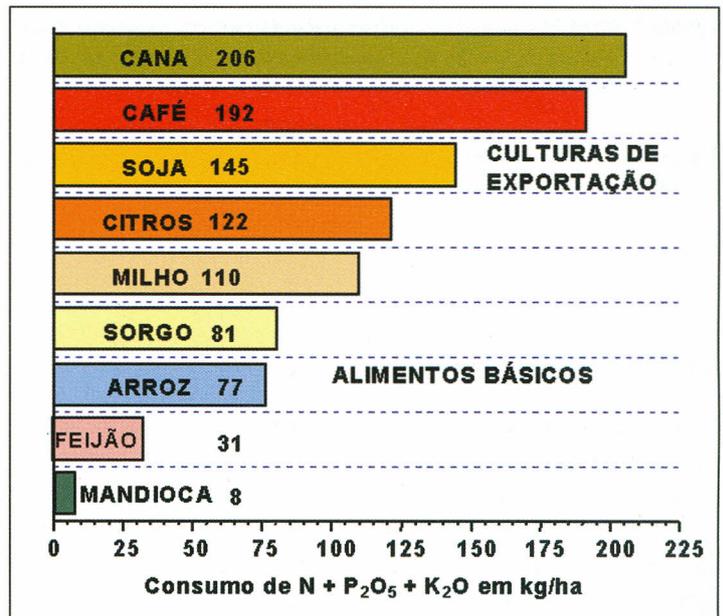


Figura 4. Consumo aparente de fertilizantes pelas culturas produtoras de alimentos básicos (mandioca, feijão, arroz e milho) e de exportação (citros, soja, cana e café).

#### 5.3.1. Diagnose da fertilidade do solo

Para que o objetivo do manejo racional da fertilidade do solo seja atingido, é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de diagnose de possíveis problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso na agricultura.

Assim, o agricultor, ao planejar o cultivo do milho, deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- diagnose adequada dos problemas – análise de solo e histórico de calagem e adubação das glebas;
- quais nutrientes devem ser considerados neste particular caso? (muitos solos têm adequado suprimento de Ca, Mg, Fe, etc.);
- quais nutrientes não necessitam ser considerados a cada ano? (Ca e Mg supridos pela calagem; Zn e Cu residual no solo e maior ou menor exigência da cultura);
- quantidades de P e K necessários na semeadura? (determinadas pela análise de solo e removidos pela cultura);
- qual a fonte, quantidade e quando aplicar N? (com base na análise de solo e produtividade desejada);
- quais nutrientes podem ter problemas neste solo? (lixiviação de nitrogênio em solos arenosos, ou são necessários em grandes quantidades);
- outros fatores agrônômicos (híbridos, espaçamento, densidade de plantas, sanidade, disponibilidade de água, etc.), são satisfatórios?

#### 5.3.2. Requerimento nutricional

A exigência nutricional varia diretamente com o potencial de produção. Por exemplo, dados médios de nossos experimentos conduzidos em Sete Lagoas e Janaúba, MG, dão uma idéia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 7). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento da produtividade, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo.

**Tabela 7. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade.**

Tipo de exploração	Produção t/ha	Nutrientes extraídos				
		N	P	K	Ca	Mg
		----- kg/ha -----				
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
<b>Exportação pelos grãos (%)</b>		<b>70-77</b>	<b>77-86</b>	<b>26-43</b>	<b>3-7</b>	<b>47-69</b>
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: COELHO & FRANÇA (1995).

Devido ao fato de que culturas com maiores rendimentos extraem e exportam maiores quantidades de nutrientes (Tabela 7) e, portanto, necessitam de doses diferentes de fertilizantes, nas recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho no Brasil as doses dos nutrientes são segmentadas conforme a produtividade esperada. Isso se aplica mais apropriadamente a nutrientes como nitrogênio e potássio, extraídos em grandes quantidades, mas também é válido para fósforo e, de certo modo, para enxofre. O conceito é menos importante para cálcio e magnésio, cujos teores nos solos, com a acidez adequadamente corrigida, devem ser suficientes para culturas de milho com altas produtividades.

No que se refere ao percentual exportado dos nutrientes (Tabela 7), nota-se que o fósforo e o nitrogênio são translocados para os grãos quase em sua totalidade, seguindo-se o magnésio, o potássio e o cálcio. Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada. Entretanto, mesmo com a manutenção da palhada na área de produção, e em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, faz-se necessária a reposição desses nutrientes em cultivos seguintes.

O milho destinado à produção de forragem tem recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior do que aquela para a produção de grãos (Tabela 7).

### 5.3.3. Padrões de absorção e acumulação de nutrientes

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do milho, o passo seguinte, e de grande importância no manejo da adubação, visando a máxima eficiência, é o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Esta informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes, principalmente nitrogenados e potássicos.

O milho apresenta diferentes períodos de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo (V12-V18), quando o número potencial de grãos está sendo definido, e o segundo durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (KARLEN et al., 1987). Isto enfatiza que, para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta.

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao de nitrogênio e ao de fósforo, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior à de nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de "arranque". Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga.

Com o desenvolvimento de novas cultivares e melhoria nas práticas de manejo, tem-se questionado se esses fatores afetam a acumulação de matéria seca e nutrientes. MULLINS & BURMESTER (1996) compararam a variação da absorção de N, P e K pelo milho entre os trabalhos reportados por SAYRE (1948) e KARLEN et al. (1987). Embora estes estudos tenham sido conduzidos em épocas e condições diferentes, isto é, quatro décadas de melhoramento genético e melhoria das tecnologias de manejo e adubação, eles apresentaram padrão similar de acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes. A produção de grãos e nutrientes absorvidos no estudo de KARLEN et al. (1987) foram 1,7 e 2,6 vezes maiores, respectivamente, do que os obtidos por SAYRE (1948). O aumento do acúmulo de matéria seca e nutrientes dos novos híbridos, em relação aos antigos, pode ser atribuído, em parte, ao aumento da tolerância às altas densidades de semeadura e maiores doses de fertilizantes aplicadas.

### 5.3.4. Fontes de nutrientes

A indústria de fertilizantes coloca no mercado uma enorme quantidade de adubos simples e formulados, em pó, mistura de grânulos e granulados. Esta diversidade de opções possibilita a adequação das adubações de base e cobertura de acordo com as necessidades da cultura.

### 5.3.5. Métodos e épocas de aplicação de fertilizantes

Com a introdução do conceito de adubação dos sistemas de produção e não de culturas específicas, pode-se dizer que o manejo dos corretivos da acidez do solo (calcário e gesso), fertilizantes fosfatados, potássicos e micronutrientes, é bem definido. De acordo com as necessidades dos solos e das culturas, estes podem ser manejados através da aplicação a lanço, na pré-semeadura como adubação corretiva, no sulco de semeadura, como adubação de manutenção, ou uma combinação desses métodos. Para os micronutrientes, a aplicação pode também ser via foliar e nas sementes. Para a cultura do milho, o potássio e principalmente o nitrogênio merecem algumas considerações especiais com respeito às épocas de aplicação.

#### 5.3.5.1. Manejo do potássio

O parcelamento da adubação potássica na cultura do milho, com aplicação de parte da dose na semeadura e parte em cobertura,

tem-se tornado prática rotineira, como alternativa às tradicionais recomendações da aplicação de toda a dose no sulco de semeadura ou a lanço na pré-semeadura. Isto tem sido sugerido para evitar redução na população de plantas devido ao efeito salino dos adubos potássicos ou para evitar perdas por lixiviação devido à alta concentração de  $K^+$  na solução do solo, ocasionada pela aplicação de uma alta dose em um reduzido volume de solo no sulco de semeadura.

Para evitar o problema, recomenda-se aplicar parte dela em cobertura para doses superiores a 60 kg de  $K_2O/ha$ . Entretanto, ao contrário do nitrogênio, em que é possível maior flexibilidade na época de aplicação, sem prejuízos à produção, o potássio deve ser aplicado no máximo até 30 dias após o plantio. Assim, a aplicação parcelada de potássio pode ser feita nas seguintes situações:

- solos altamente deficientes nesse nutriente, em que são necessárias altas doses de fertilizante, e
- quando o milho for cultivado para produção de forragem, em que normalmente são necessárias doses mais altas de potássio devido à maior exportação desse nutriente.

### 5.3.5.2. Manejo do nitrogênio

No Brasil, a aplicação de N em milho tem sido, tradicionalmente, feita de forma parcelada, com uma pequena dose na semeadura, geralmente de 10 a 30 kg/ha, e o restante em cobertura no estádio de 6 a 8 folhas. As razões para o parcelamento incluem evitar o excesso de sais no sulco de semeadura mas, principalmente, perdas de N por lixiviação de nitrato. Existia o conceito generalizado de que em solos tropicais a intensidade de nitrificação era rápida e as perdas de N atribuídas principalmente à lixiviação de  $N-NO_3^-$ .

Experimentos conduzidos a partir da década de 80, usando a metodologia do  $^{15}N$  (LIBARDI et al., 1981; REICHARDT et al., 1982; URQUIAGA, 1982; COELHO et al., 1991; FRANÇA et al., 1994), possibilitaram um melhor entendimento da dinâmica do nitrogênio em solos tropicais e o destino do N-fertilizante aplicado às culturas. Os resultados dessas pesquisas mostraram que:

- o N-fertilizante recuperado pelas culturas variou de 53 a 64%, com média de 56%, com aplicação de 60 a 100 kg de N/ha;
- a maior parte do N-fertilizante medido no solo após a colheita estava na camada superficial do solo (0-30 cm);
- não houve indicação de movimentação de  $N-NO_3^-$  no perfil do solo;
- das perdas por lixiviação – de 10 a 20 kg de N/ha –, apenas 20% eram derivadas do fertilizante;
- do N-fertilizante encontrado na camada superficial do solo, após a colheita, 70 a 90% estavam na forma orgânica, contribuindo para redução nas perdas por lixiviação;
- em média, 85% do N-fertilizante aplicado foi recuperado no sistema solo-planta. Verificou-se também que em solos de cerrado o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do N na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas por lixiviação de nitrato (MELLO Jr. et al., 1994; COELHO, 1995).

As pesquisas mencionadas acima demonstraram grande estabilidade do N no solo durante o período de desenvolvimento das culturas, sem evidências de alto potencial de perdas por lixiviação no perfil do solo. Através dessas informações vislumbrou-se a possibilidade de se antecipar a aplicação de nitrogênio no milho. A idéia se deveu ao fato de que, sendo a adubação de cobertura uma prática a mais a ser realizada, muitos agricultores, por algum motivo, deixavam de executá-la, com grandes reflexos na

produtividade. Assim, se fosse comprovado que o aumento da dose de nitrogênio aplicada em pré ou na semeadura apresentasse a mesma eficiência em relação ao método convencional, haveria um aumento substancial no consumo desse fertilizante e conseqüentemente aumentos significativos na produtividade da cultura do milho.

Um dos primeiros trabalhos sobre aplicação antecipada de nitrogênio em milho, utilizando a metodologia do  $^{15}N$ , foi realizado por NEPTUNE (1977), em Monte Azul Paulista, SP, em sistema de preparo convencional do solo. Os dados apresentados na Tabela 8 mostram que a antecipação da aplicação do N não resultou em diminuição dos rendimentos de grãos em relação à aplicação convencional (na semeadura do milho e em cobertura, 40 dias após a semeadura). Entretanto, verifica-se que na antecipação da adubação nitrogenada o método de aplicação do N afetou o rendimento de grãos. A aplicação do N em faixas produziu 22% a mais (1.300 kg/ha) em relação à aplicação a lanço.

Outro aspecto relevante é o efeito dos métodos e épocas de aplicação do N-fertilizante no aumento da absorção do N do solo pela planta, sugerindo uma maior intensidade de mineralização da matéria orgânica com a aplicação do fertilizante a lanço (Tabela 8).

**Tabela 8. Nitrogênio absorvido e produção de milho em função do manejo do  $^{15}N$ -fertilizante, na dose de 100 kg.ha<sup>-1</sup>, na forma de sulfato de amônio.**

Método e época de aplicação	N - absorvido <sup>(4)</sup> (kg/ha)		AANS <sup>(5)</sup> (%)	Produção de grãos (kg/ha)
	Fertilizante	Solo		
Lanço <sup>(1)</sup> (100 kg/ha)	43,00	69,20	148,18	5.843
Faixa <sup>(2)</sup> (100)	57,80	62,00	132,76	7.155
Cobertura <sup>(3)</sup> (100)	39,50	54,20	116,06	7.154
Lanço + faixa (50 + 50)	42,50	62,20	133,19	7.019
Lanço + cobert. (50 + 50)	44,70	58,50	125,26	6.789
Faixa + cobert. (50 + 50)	53,10	59,90	128,26	7.087
Lanço + f + c (34+33+33)	50,50	47,00	100,64	7.128
Testemunha	0,00	46,70	100,00	3.746

<sup>(1)</sup> Lanço – aplicação na pré-semeadura e incorporada ao solo; <sup>(2)</sup> Faixa – aplicação em sulcos na pré-semeadura; <sup>(3)</sup> Cobertura – aplicação aos 40 dias após a semeadura; <sup>(4)</sup> Nitrogênio absorvido até o florescimento; <sup>(5)</sup> Aumento na absorção de N do solo. Fonte: adaptada de NEPTUNE (1977).

Na década de 90, com a expansão em larga escala do sistema de plantio direto (18 milhões de hectares, dos quais 40% em áreas de cerrado), associado à rotação (principalmente milho e soja) e sucessão de culturas, verificou-se a necessidade de ajustar e/ou desenvolver estratégias de manejo de nitrogênio para o milho, diferentes daquela recomendada para o sistema de manejo convencional dos solos. Assim, foi sugerida a idéia de se antecipar a adubação nitrogenada de cobertura do milho em plantio direto.

Os primeiros estudos visando a antecipação da aplicação de N em milho em plantio direto estabelecido foram conduzidos por SÁ (1996), na região dos Campos Gerais, PR, e por PÖTTKER & WIETHÖLTER (2000), na região de Passo Fundo, RS.

Os resultados obtido por SÁ (1996) mostraram que a antecipação da aplicação de N não resultou em diminuição dos rendimentos de grãos em relação à aplicação convencional (na semeadura do milho e em cobertura, com as plantas com 6 a 8 folhas) e, em alguns casos, observou-se até um pequeno acréscimo de rendimento com a **antecipação** da adubação nitrogenada.

Por outro lado, PÖTTKER & WIETHÖLTER (2000) observaram, em um dos anos de condução dos experimentos, substancial redução da produção quando a maior parte do N-uréia foi aplicada em pré-semeadura, após a rolagem da aveia preta ou na semeadura do milho, em comparação com a obtida com a aplicação do N-uréia em cobertura (Tabela 9). Isso ocorreu em um ano com excesso de chuvas em outubro e novembro. Nos dois outros anos, com precipitações abaixo das normais, não houve efeito da época de aplicação do N-uréia sobre o rendimento de grãos (Tabela 9).

**Tabela 9. Efeito dos métodos e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produção de milho em sistema de plantio direto.**

Métodos e épocas de aplicação			Produção de grãos (kg/ha)		
Pré	Sem.	Cob.	1997/98	1998/99	1999/00
100 <sup>(1)</sup>	0	0	6.400	8.600	7.300
100 <sup>(2)</sup>	0	0	6.900	9.100	7.400
70 <sup>(1)</sup>	30	0	6.200	9.100	7.500
70 <sup>(2)</sup>	30	0	6.700	9.300	7.700
0	100 <sup>(1)</sup>	0	6.500	9.100	*****
<b>0</b>	<b>30</b>	<b>70<sup>(3)</sup></b>	<b>8.100</b>	<b>8.900</b>	<b>7.900</b>
<b>0</b>	<b>30</b>	<b>70<sup>(4)</sup></b>	<b>8.500</b>	<b>9.100</b>	<b>7.200</b>
Testemunha			*****	6.600	4.700

<sup>(1)</sup>Aplicação a lanço após dessecação da aveia preta; <sup>(2)</sup>Aplicação em linhas espaçadas de 45 cm após dessecação da aveia preta; <sup>(3)</sup>Adubação de cobertura a lanço; <sup>(4)</sup>Adubação de cobertura incorporada a 20 cm ao lado das linhas. Fonte: adaptada de PÖTTKER & WIETHÖLTER (2000).

A alternativa de aplicar parte do N em pré-semeadura e o restante na semeadura, sem cobertura em pós-semeadura do milho, tem despertado grande interesse porque apresenta algumas vantagens operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da adubação e racionalização no uso de máquinas e de mão-de-obra. Entretanto, devido à extrema complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa generalizar a recomendação dessa prática, principalmente quando se emprega a uréia. Já a aplicação de N em cobertura pós-semeadura quase sempre assegura incrementos significativos no rendimento de milho, independente da precipitação pluvial ser normal ou excessiva, principalmente se feita nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

#### 5.4. Fatores Climáticos: Condições Hídricas e Zoneamento

O objetivo da construção da produtividade com relação à disponibilidade de água no solo é maximizar sua eficiência para a produção de grãos. Os fatores que devem ser considerados para o manejo da disponibilidade de água são:

- disponibilidade de água da precipitação para irrigação e épocas de sua disponibilidade;
- retenção da precipitação;
- capacidade de armazenamento de água nos diferentes tipos de solo;
- requerimento de água pelo milho.

Com base na análise dos dados de precipitação (no mínimo de 30 anos) de um específico município ou região, aspectos relevantes sobre as seguintes questões podem ser levantadas:

- qual é o padrão de distribuição da precipitação e as probabilidades de ocorrência de déficits hídricos?;

b) qual o tipo de cultivar, de ciclo precoce ou normal, que pode ter sucesso nessas condições?;

c) qual o tipo de solo que não deveria ser utilizado para a cultura nestas condições?

O padrão de distribuição da precipitação, o sistema de manejo (preparo convencional, plantio direto) e a textura dos solos interagem, afetando a disponibilidade de água. A Tabela 10 ilustra a variabilidade na produção de milho de uma área de 25 ha, com diferentes tipos de solos com relação à capacidade de armazenamento de água disponível e seu efeito na produção de milho, em anos com e sem déficit hídrico.

**Tabela 10. Capacidade de armazenamento de água disponível em diferentes tipos de solos e seu efeito na produção de milho.**

Tipo de solo	Água disponível (mm) <sup>(1)</sup>	Produção de grãos – kg/ha	
		1999 <sup>(2)</sup>	2000 <sup>(3)</sup>
A	180	7.776	14.172
B	130	2.508	12.354
C	90	2.132	9.595

<sup>(1)</sup>Água disponível até a profundidade de 120 cm; <sup>(2)</sup>Ano com acentuado déficit hídrico; <sup>(3)</sup>Ano sem déficit hídrico.

Fonte: Adaptada de ALLEY & ROYGARD (2001).

Com o aumento da competitividade nos diversos setores da economia, o desenvolvimento de cinturões de produção de uma determinada cultura, em regiões mais favoráveis, onde ela possa mais facilmente expressar o seu potencial produtivo, é extremamente importante. Dentro deste enfoque, tem-se verificado que a cultura de milho na safra normal é muito mais produtiva quando plantada em locais com altitudes igual ou acima de 700 m.

Dados dos Ensaios Nacionais de Milho (Tabela 11) mostram que os experimentos instalados em locais com altitudes acima de 700 m produziram cerca de 18% a mais do que aqueles instalados em locais com altitudes abaixo desse valor. Acredita-se que a menor temperatura noturna, associada a um aumento no ciclo das culturas, são fatores preponderantes para explicar essas diferenças no rendimento. Deve-se também ressaltar que a maioria dos folders e materiais de divulgação de cultivares de milho pelas empresas que comercializam sementes de milho separam estas duas situações de altitude (acima e abaixo de 700 m) nas suas recomendações técnicas.

Muitos sistemas de produção têm evoluído ao longo dos anos, sem um claro entendimento da disponibilidade de água. Entretanto, para um futuro refinamento dos sistemas e/ou necessidades de mudanças para se obter um sistema sustentável, há necessidade de se obter as seguintes informações:

- requerimento de água pela cultura;
- capacidade de armazenamento de água em profundidade dos diferentes tipos de solos;
- profundidade do sistema radicular;
- histórico da precipitação e padrão de distribuição. O objetivo dessa análise é otimizar a disponibilidade de água para a produção de grãos.

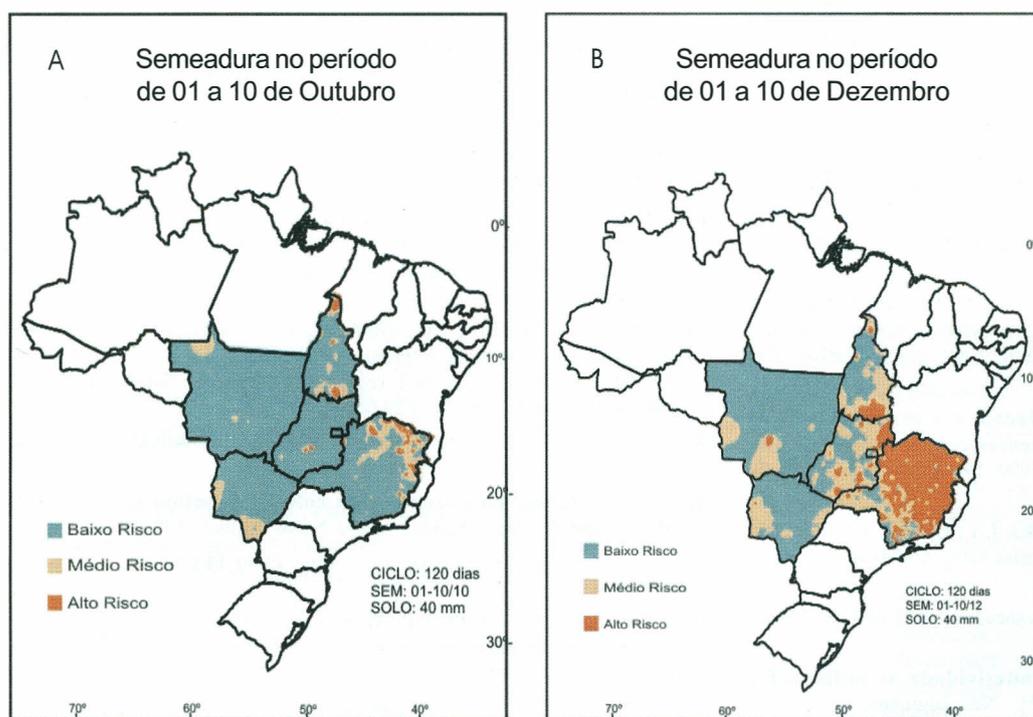
Com os avanços dos trabalhos na área de climatologia, já se dispõe, para as diferentes regiões do Brasil, do zoneamento agrícola para algumas culturas, entre elas o milho, que fornece informações importantes sobre as épocas de plantio de milho com menores riscos (Figura 5).

**Tabela 11. Produtividade média de grãos, em kg/ha, de cultivares de milho dos ensaios nacionais, em função da altitude dos locais onde foram conduzidos.**

Ano	Tipo de ensaio	Número de locais	Altitude	
			> 700 m	< 700 m
1997/98	S. precoce	15/23 <sup>(1)</sup>	7.975	6.545
	Precoce	12/27	8.159	6.663
	Normal	9/27	8.140	6.361
1998/99	S. precoce	16/21	8.186	6.023
	Precoce	17/24	8.225	6.286
	Normal	14/25	7.544	6.016
1999/00	S. precoce	13/15	7.645	6.831
	Precoce	13/20	7.568	6.616
	Normal	15/19	7.421	6.739
2000/01	S. precoce	10/22	5.615	5.748
	Precoce	8/25	6.286	5.848
	Normal	10/25	6.536	5.998
Média (kg/ha)			7.471 (118%)	6.306 (100%)
Florescimento masculino (dias após a germinação)			67	63

<sup>(1)</sup> Refere-se ao número de experimentos instalados acima e abaixo de 700 m de altitude, respectivamente.

Fonte: adaptada de relatórios da EMBRAPA.



**Figura 5. Distribuição espacial de riscos climáticos para a semeadura do milho (cultivar de ciclo de 120 dias) no período de 01 a 10 de Outubro (A) e 01 a 10 de Dezembro (B), considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água disponível de 40 mm a uma profundidade de 60 cm. Edição: Geoprocessamento Embrapa - Milho e Sorgo (2001).**

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise geral da cultura do milho no Brasil, nos últimos 31 anos, revela que embora tenha-se verificado incrementos de mais de 100% na produtividade e produção total do país, a produtividade média é ainda muito baixa. Também, existe uma grande amplitude de variação desses valores entre as diferentes regiões. Por exemplo, a região Sul apresentou aumentos anuais da ordem de 346,58 mil toneladas na produção total e 63 kg/ha no rendimento, enquanto na região Nordeste os aumentos foram de 32,38 mil toneladas e de 11 kg/ha, respectivamente. Embora tenha-se informação de que é

possível produzir 16.000 kg de grãos/ha, são restritas as indicações sobre como e em que condições isto seria possível.

Em um país de dimensão continental e com uma extrema diversidade de clima e solo como o Brasil, não parece correto discutir e comparar níveis de produtividade em termos médios, principalmente para uma cultura como o milho, cultivada praticamente em todo território nacional. Os aumentos de produtividade verificados ao longo dos últimos 31 anos, variando de 11 a 81 kg/ha/ano entre as diferentes regiões onde se cultiva o milho, reflete muito bem esta situação.

É evidente que as diferenças culturais, sócio-econômicas e ambientais exercem grande influência na atividade agrícola, resultando em diferenças no objetivo da produção e na adoção de tecnologias, o que, sem dúvida, irão resultar em diferentes níveis de produtividade. Nessas condições,

a difusão e a adoção de tecnologias terão, logicamente, impactos diferentes no aumento da produção e da renda do agricultor.

Com a introdução dos conceitos de agricultura de precisão, o objetivo principal é a amplitude de variação na produtividade e não o valor médio. Do mesmo modo, poderíamos utilizar esse conceito para delinear a variabilidade da produção de milho no Brasil, o que possibilitaria a separação por zonas de produtividade. De posse dessas informações é possível identificar uma série de parâmetros de caráter social, cultural, edafo-climáticos e tecnológicos os quais possibilitariam definir estratégias para incrementar a produção de milho no Brasil.

## 7. LITERATURA CITADA

- AGROCERES. **Concurso Agroceres de produtividade de milho**. São Paulo, [199?]. Não publicado.
- ALLEY, M.M.; ROYGARD, J.K.F. Intensifying agronomic crop production systems. In: InfoAg 2001 CONFERENCE PROCEEDINGS, Indianapolis, EUA, August 7-9, 2001. (CD ROM).
- ALVES, E.; SOUZA, G.S.; GARAGORRY, F.L. A evolução de produtividade do milho. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.37, n.1, p.77-96, 1999.
- ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 1999. 156p.
- ANDERSON, R.L. Cultural systems can reduce reproductive potencial of winter annual grasses. **Weed Technology**, v.11, p.608-613, 1997.
- ARAÚJO, J.S. de. Ganhos genéticos obtidos em híbridos e variedades de milho representativos de três décadas de melhoramento no Brasil. Lavras, 1995. 64p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, MG.
- COELHO, A.M. Efeito de níveis de N-uréia na dinâmica de amônio e nitrato em latossolo cultivado com milho irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SOLO, Temuco, Chile, 1995. **Resumos...** Temuco, 1995. p.6.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de. Nutrição e adubação. In: **Seja o doutor do seu milho**. 2.ed. Piracicaba, 1995. p.1-9. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, 2)
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (<sup>15</sup>N) em um Latossolo Vermelho Escuro fase cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.187-193, 1991.
- CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. <http://www.conab.gov.br> (maio/2001)
- CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. <http://www.conab.gov.br> (junho/2002)
- CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 45p. (EMBRAPA, CNPMS. Circular Técnica, 21)
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. de L.C.; MATOSO, M.J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma***. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999. 40p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 30)
- CRUZ, I.; VIANA, P.A.; WAQUIL, J.M. **Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999. 39p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 31)
- CRUZ, J.C.; CORREA, L.A.; PEREIRA FILHO, I.A.; GAMA, E.E.G. e; PEREIRA, F.T.F. Variedades de milho para esta safra. **Cultivar**, v.3, n.33, out. 2001. (Caderno Técnico).
- DUVICK, D.N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. Maize. **Maydica**, v.37, n.1, p.69-79, 1992.
- EMATER-MG. **Concurso estadual de produtividade de milho safra 98/99: resultados**. Belo Horizonte, [199?]. Não paginado.
- FERREIRA, C.R.R.P.T.; SILVA, J.R. da; NOGUEIRA Jr., S. Utilização e vendas de defensivos agrícolas para tratamento de sementes no Brasil, 1991-2000. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n.1, p.38-44, jan. 2002.
- FRANÇA, G.E. de.; COELHO, A.M.; BAHIA FILHO, A.F.C. **Balanço de nitrogênio (<sup>15</sup>N) em dois latossolos cultivados com milho sob irrigação**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. Soc. Bras. Ci. Solo, 1994. p.93-95.
- GASQUES, J.G.; VILLA VERDE, C.M. Grãos. In: GASQUES, J.G. et al. **Competitividade de grãos e de cadeias selecionadas do agribusiness**. IPEA, 1998. p.8-18. (IPEA. Texto para discussão, 538)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2001.
- KARLEN, D.L.; SADLER, E.J.; CAMP, C.R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, v.79, p.649-656, 1987.
- KISSMANN, K.G. Uso de herbicidas no contexto do Mercosul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., Foz do Iguaçu, 2000. **Palestras...** Londrina: SBCPD, 2000. p.92-116.
- LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K.; CEVELINI, A. The fate of ureia applied to tropical bean (*Phaseolus vulgaris*, L) crops. In: WORKSHOP ON NITROGEN CYCLING IN ECOSYSTEMS OF AMERICAN AND CARIBBEAN, Cali, 1981. **Workshop...** Cali, 1981. p.55-63.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. Nova Odessa: [s.n], 1986. 220p.
- LOWENBERG-DEBOER, J. **Adoption patterns for precision agriculture**. Milwaukee, WI: The Engineering Society for Advance Mobility Land Sea Air and Space. 1998. (SAE Technical Paper Series No. 982041)
- McMASTER, G.S.; MORGAN, J.A.; WILLIS, W.O. Effects of shading on winter wheat yield spike characteristics, and carbohydrate allocation. **Crop Science**, p.967-973, 1987.
- MELLO, A.V. Jr.; COELHO, A.M.; ALBUQUERQUE, P.E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação do N em latossolo cultivado com trigo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. Soc. Bras. Ci. Solo, 1994. p.275-277.
- MULLINS, G.L.; BURMESTER, C.H. Potassium uptake by crops during the season. In: OOSTERHUIS, D.M. & BERKOWITZ, G.A. (eds.). **Frontier in potassium nutrition: new perspectives on the effect of potassium on crop plant physiology – proceedings**. Potash & Phosphate Institute, 1996. Cap.15, p.123-141.
- NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína e na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar utilizando sulfato de amônio -<sup>15</sup>N. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v.34, n.1, p.515-539, 1977.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Antecipação da aplicação de nitrogênio em milho. In: FERTBIO 2000, REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Santa Maria, 2000. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. (CD ROM).
- RAMOS, A.A. Campo limpo. **Cultivar**, Pelotas, v.3, n.31, p.8-9, agosto, 2001. (Caderno Técnico).
- RAMALHO, M.A.P. O impacto da tecnologia transgênica em países em desenvolvimento. In: REUNIÓN LATINOAMERICAN DEL MAIZ, 18., Sete Lagoas, 1999. **Memórias...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS/México: CIMMYT, 1999. p.73-77.
- RICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (ed.). **Agrochemicals: fate in food environment**. Vienna, 1982. p.277-290.
- RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, v.46, p.246-299, 1991.
- SÁ, J.C.M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.
- SAYRE, J.D. Mineral accumulation in corn. **Plant Physiology**, v.23, p.267-281, 1948.
- SWANTON, C.J.; MURPHY, S.D. Weed science beyond weeds: The role of integrated weed management in agroecosystem health. **Weed Science**, v.44, p.437-445, 1996.
- TEASDALE, J.R. Influence of narrow row/light population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, v.9, p.113-118, 1995.
- TSUNECHIRO, A.; FREITAS, B.B. de. Os cinquenta municípios brasileiros maiores produtores de milho e soja. **Informações Econômicas**, v.31, n.7, julho 2001.
- URQUIAGA, S.C. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar carioca. Piracicaba, 1982. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP.
- VENCOVSKY, R.; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C.; TEIXEIRA, N.M. Progresso genético em vinte cinco anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 6., Belo Horizonte, 1986. **Anais...** p.300-307.
- VYN, T.J. Nutrient placement and high yield management in corn. In: InfoAg 2001 CONFERENCE PROCEEDINGS, Indianapolis, EUA, August 7-9, 2001. (CD ROM).
- ZONEAMENTO AGRÍCOLA - Safra 99/2000. Brasil; culturas: algodão, arroz, feijão, maçã, milho, soja e trigo. Estados: RS, SC, PR, MG, RJ, SP, DF, GO, MT, MS, TO, AL, BA, CE, MA, PB, PI, RN, SE. Brasília: MA/CER/Coordenação Nacional do Zoneamento Agrícola, 1999. 1ª ed., 2000.
- YAMADA, T. O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.78, p.1-4, junho, 1997.