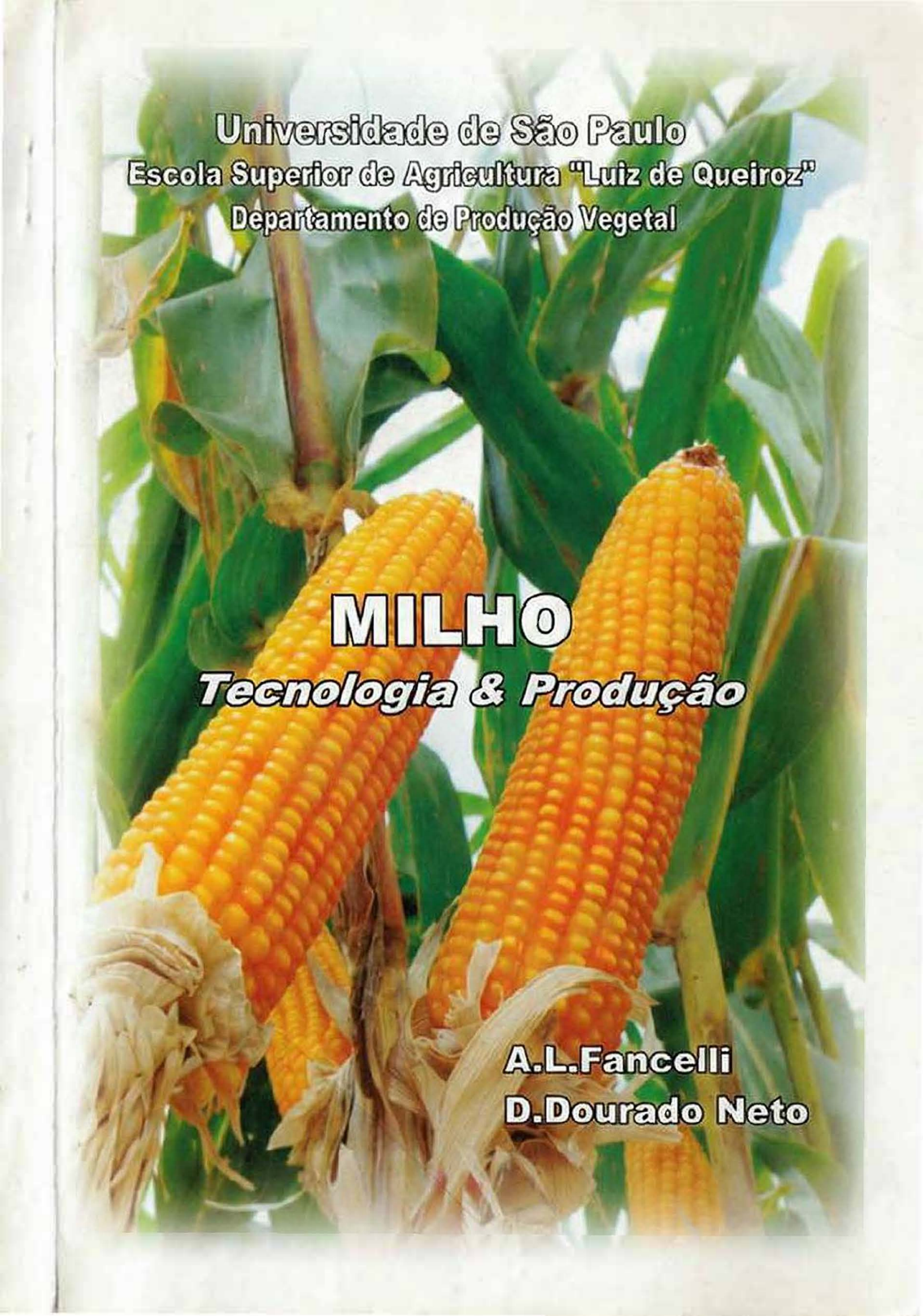




Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Produção Vegetal

MILHO
Tecnologia & Produção

A.L.Fancelli
D.Dourado Neto

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Produção Vegetal

MILHO
Tecnologia & Produção

DOI: 10.11606/9786562060034

A. L. Fancelli
D. Dourado Neto
(EDITORES)

Piracicaba – SP
2005

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Milho: tecnologia e produção [recurso eletrônico] / editores Antônio Luiz Fancelli e Durval Dourado Neto. - - Piracicaba : ESALQ/Departamento de Produção Vegetal, 2005.
149 p.: il.

ISBN: 978-65-6206-003-4

DOI: 10.11606/9786562060034

1. Milho - Produção 2. Tecnologia agrícola I. Fancelli, A. L., ed. II. Dourado Neto, D., ed. III.
Título

CDD 633.15

Índice para o catálogo sistemático:

1. Milho : Produção agrícola : Tecnologia agrícola CDD 633.15

Elaborada por Maria Angela de Toledo Leme - CRB-8/3359

Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons



SUMÁRIO

	Página
1 MERCADO DE MILHO Vlamiir Brandalizze	1
2 MANEJO E SELEÇÃO DE HERBICIDAS PARA REDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS Ramiro Fernando López Ovejero; Pedro Jacob Christoffoleti; Marcelo Nicolai e Saul Jorge Pinto de Carvalho	8
3 PRODUÇÃO DE MILHO EM TERRAS BAIXAS Antonio Luiz Fancelli e Durval Dourado Neto	21
4 POPULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS DE MILHO Pedro Abel Vieira Junior; Durval Dourado Neto; Antonio Luiz Fancelli; Paulo Augusto Manfron e Carlos Rodrigues Pereira	34
5 MANEJO DO NITROGÊNIO E DA MATÉRIA ORGÂNICA EM MILHO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO Heitor Cantarella; Aildson Pereira Duarte e Cristiano Alberto de Andrade	59
6 ESTRATÉGIAS DE MANEJO DO FÓSFORO EM AGROECOSSISTEMAS Nelson Horowitz e Thercio M. Stella de Freitas	83
7 MANEJO RACIONAL DE DOENÇAS DO MILHO Gisèle Maria Fantin	93
8 NITROGÊNIO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO Flávio Murilo Pereira da Costa; Durval Dourado Neto; Antonio Luiz Fancelli; Reinaldo Antonio Garcia Bonnacarrère e Pedro Jacob Christoffoleti	118
9 EVOLUÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO: OTIMIZAÇÃO GÊNICA PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL Joaquim A. Machado	129
10 MILHO BT: PRODUÇÃO E MANEJO Fernando Hercos Valicente	146

MERCADO DE MILHO

Vlamiir Brandalizze¹

1 Introdução

A situação geral do mercado do milho sinaliza para uma grande crise no médio e longo prazo. Tanto o mercado interno quanto, e principalmente, o mercado mundial passarão por crise no abastecimento, porque a produção do cereal não tem conseguido atender a demanda que continua crescente. Assim, poderemos ter no médio prazo forte queda nos estoques mundiais. Veremos as cotações médias em alta, porque cresce a demanda na linha do setor energético com o aumento da produção de Álcool nos EUA e também na Ásia, que utilizarão mais milho para esta finalidade e assim a demanda tende a se manter aquecida.

As boas notícias que apareceram neste ano vieram dos EUA com o anúncio do Presidente Bush, o qual está liberando um pacote de apoio à produção de combustível alternativo e o Biodiesel será um dos principais sendo produzido a partir do Etanol do milho, desta forma indicando que o país que já está no limite da capacidade produtiva e pouco poderá agregar de produto novo, tenderá a ter menos milho para exportação porque com esta nova tecnologia de combustíveis renováveis ocorrerá uma grande demanda de milho para a produção do Etanol.

Outra notícia boa vem da China, onde a economia continua crescendo a todo o vapor e o governo local projeta que até 2020 terá um crescimento médio de 7,5 a 8,5% ao ano, contra a média em torno dos 10% que cresceu na última década. Terá uma pequena desaceleração nos próximos 15 anos, porém neste período a economia chinesa deverá crescer cerca de 200% no período e com isso muito alimento será necessário para dar suporte ao avanço da economia. Outro ponto indicado é que no mesmo sentido haverá queda na área plantada pelo país porque novas rodovias tomarão espaços nos campos, as cidades avançarão sobre as áreas que têm lavouras e esta ação conjunta levará a uma forte diminuição do número de agricultores que passarão a ser trabalhadores nas cidades e assim haverá necessidade de aumento da tecnologia de produção de alimentos no país.

A primeira indicação do governo local aponta que o setor de ração, que em 2004 produziu e consumiu 94 milhões de toneladas, deverá passar a consumir 150 milhões de toneladas em 2010 e também indicam que poderá estar consumindo 250 milhões de toneladas em 2020, ou seja, irá mais que dobrar no período e, como todos sabem, ração tem sempre como base uma boa fonte de energia, que na maior parte dos países é representada pelo milho e outra de proteína, e alguns complementos minerais. O crescimento do consumo de ração pela China tem uma explicação simples, o setor de pecuária leiteira terá que crescer muito, porque a população crescente nas cidades necessitará de mais leite e derivados, junto haverá crescimento do setor avícola, principalmente do segmento de ovos, onde o país entra como um grande consumidor e com grande potencial de crescimento e não deixando de

¹ Engenheiro Agrônomo. Consultor e conferencista do mercado agrícola. Fones: (41)3362 5844/3264 8719. brandalizze@uol.com.br ou brandalizze@sulbs.com.br.

apontar para a demanda de carnes que continuará avançando porque o poder aquisitivo da população aumentará e dará aos chineses condição de ter uma boa alimentação.

Não podemos deixar de apontar que também na vizinha Índia o quadro tende a ser parecido, porque a economia está crescendo em ritmo acelerado e a alimentação regional, baseada no arroz, tende a se diversificar e aumentar a demanda de proteínas animais e com isso aumentando a demanda de ração também nesse país.

Não poderia deixar de apontar também o quadro da produção e estoques de milho da China, que no ano passado colheu 131,5 milhões de toneladas e caminha para fechar abaixo dos 120 milhões de toneladas neste, devido ao fato de estar com problemas climáticos sobre nas regiões produtoras e não deverá repetir a supersafra, a qual foi recorde histórico de produtividade no ano de 2004 (ano passado). A safra local estará em colheita entre agosto e outubro, mas muitas lavouras estarão em risco de perdas em setembro, devido ao tempo frio e à ocorrência de geadas.

Os estoques de milho da China que na safra 2002/2003 era de 64,9 milhões de toneladas passaram para 44,8 em 2003/2004, 35,4 em 2004/2005 e agora projeta para 05/06 ir para 25,6 milhões de toneladas, mas se confirmada a quebra da safra os números ficarão abaixo dos 20 milhões de toneladas, sendo o nível mais baixo dos últimos 20 anos e fazendo com que o país, que normalmente exporta entre 3 e 7 milhões de toneladas passe a ser um importador, uma vez que o consumo interno está caminhando para se fixar acima dos 130 milhões de toneladas e tudo indicando que a produção não chegará nestes níveis. Isto implicará em que a China necessite ir em busca de produto importado para atender à sua demanda e todos sabem o que ocorre com as cotações dos produtos quando a China entra no mercado mundial comprando.

2 Panorama internacional

Como podemos observar no quadro dos principais países produtores de milho, a produção chegou ao recorde histórico na safra 04/05 e agora caminha para números menores nos próximos anos porque a área para o plantio tem caído nos principais países produtores e também não mostra novos espaços se abrindo para o plantio agrícola e tudo caminha para a concentração da produção e uma nova fase de avanço na tecnologia em áreas onde ainda existe espaço para crescimento da produtividade.

Tabela 1. Produção mundial de milho (milhões de toneladas).

País	02/03	03/04	04/05	05/06*
EUA	228,8	256,6	299,9	275,0
China	124,0	132,9	131,5	118,0
Brasil	47,4	42,0	36,0	40,0
Europa (CEE)	37,0	36,0	39,0	39,0
Europa Oriental	32,0	32,0	38,0	38,0
México	19,5	20,0	21,0	22,0
Argentina	14,5	12,5	19,5	19,0
Mundo	601,9	623,8	706,3	673,3

Fonte: USDA, Brandalizzi Consulting (*) estimativas

3 Consumo no setor energético

O milho é a melhor fonte para que os EUA e a China aumentem a produção de combustível renovável, porque nestes dois países a política tenderá a dar apoio ao aumento da produção interna de Etanol uma vez que ambos não querem ficar dependentes de importações de mais de uma fonte de energia. Isto os faria dependentes da OPEP, no caso do Petróleo, e poderia trazer instabilidades políticas e econômicas. Assim, tanto nos EUA como na China, os investimentos em indústrias que produzam Etanol a base do milho tende a crescer, fazendo com que ambos tenham que continuar produzindo grandes volumes deste cereal, perdendo assim, potencial de exportação.

Um ponto importante a ser indicado é que o USDA em seu relatório de oferta e demanda mundial do milho não está sinalizando para grandes avanços do consumo do cereal no setor de ração porque este órgão não está conseguindo vislumbrar potencial de crescimento da produção mundial do milho, a não ser nos EUA. Para que isso ocorra teria que haver uma redução na área cultivada com soja. Mas o certo é que a produção mundial de ração estará em crescimento nos próximos anos porque a população mundial esta cada vez mais concentrada nas cidades e cresce a necessidade de alimentos prontos ou semiprontos e muitos derivados de leite, ovos e carnes serão necessários para atender à demanda mundial que aos poucos devera ir sanando a fome do mundo.

Tabela 2. Oferta e demanda mundial de milho (milhões de toneladas).

	03/04	04/05	05/06*
Estoques iniciais	123,6	100,1	127,9
Produção	623,8	706,3	673,3
Importações	76,7	74,3	73,3
Oferta total	747,4	806,4	801,2
Ração	444,4	464,3	463,5
Consumo interno	647,3	678,5	680,2
Exportações	77,1	74,7	73,9
Consumo total	647,3	678,5	680,2
Estoques finais	100,1	127,9	121,0

Fonte: USDA, Brandalizzi Consulting (*) estimativas

4 Expectativas de consumo

O relatório do USDA de junho de 2005 indicou que o consumo deste ano será de 678,5 milhões de toneladas e crescerá pouco em 2006 quando passará para a casa das 680 milhões de toneladas. Pela nossa experiência, neste longo período em que acompanhamos o mercado, podemos apontar que o consumo deverá superar as indicações citadas no quadro geral de oferta e demanda, justamente devido aos dados citados, como o aumento da produção de Etanol e o setor de ração que também cresce ano a ano, tudo isso acrescido do fato de não haver outra fonte de energia de tanta qualidade e custo tão baixo como o milho nas formulações.

Assim indicamos que nesta nova safra o consumo poderá bater com facilidade a marca dos 700 milhões de toneladas e novamente iremos ver os estoques mundiais abaixo dos 100 milhões de toneladas. Com isso as cotações, que agora giram entre US\$ 103/110 por T, deverão estar em torno

dos US\$110/120 por tonelada, o que representa praticamente US\$1,00 a mais, acrescido ao custo por saca, aos produtores. Não esquecendo que o mercado mundial caminha para ser mais comprador do que vendedor em 2006.

5 Situação do mercado brasileiro

5.1 Safra, consumo e cotações

O mercado Brasileiro está chegando à colheita da safrinha 2005, onde se indicam números entre 6 e 8 milhões de toneladas. Se colhemos o valor maior, a safra total, do ano agrícola, chegará a 36 milhões de toneladas. Esse valor seguirá sendo menor que o consumo, que atualmente está sendo apontado entre 39 e 40 milhões de toneladas. Isto indica que será necessário consumir os estoques e ainda realizar boas importações para conseguir cobrir as necessidades internas.

Se a colheita da safrinha resultar em valores inferiores a 8 milhões de toneladas, certamente teremos um aperto no abastecimento a partir de setembro e outubro e chegaremos ao final do ano comercial em fevereiro de 2006 sem estoques e com fôlego para uma boa arrancada das cotações que só não explodirá porque temos a possibilidade de comprar maiores volumes de milho no mercado mundial, principalmente na Argentina e assim o câmbio baixo servirá como limitador de alta.

Tabela 3. Milho oferta e demanda do Brasil (1000 toneladas).

Safra	01/02	02/03	03/04	04/05*
OFERTA				
Est. Iniciais	4.140	1.790	5.000	2.200
Produção	36.000	47.400	42.400	36.000
Importação	700	800	300	2.000
Oferta total	40.840	49.990	47.700	40.200
DEMANDA				
Exportação	2.750	3.500	4.800	900
Avicultura	11.800	14.300	14.500	15.000
Suinocultura	6.100	7.000	7.200	7.300
Ind. Moageirá	5.900	6.600	6.700	6.700
Con. Rural	8.200	8.200	6.900	4.000
Outros	4.300	5.300	5.400	5.600
Dem. Total	39.050	34.900	45.500	39.500
EST. FINAL	1.790	5.000	2.200	700

FONTE: Brandalisse Consulting (*) estimativas

5.2 Exportação e consumo

No ano passado a exportação, que ficou próxima das 5 milhões de toneladas, foi um dos fatores de liquidação da safra que veio acima do consumo interno e também porque tínhamos grandes estoques iniciais, agora estamos com estoques menores e pouco produto disponível para ser exportado. Os indicativos de exportação deste ano estão apontando que estamos próximo da marca de um milhão de T, e que quase tudo foi negociado nos meses anteriores e já foram embarcados. O panorama atual caminha para não mostrar novos embarques. Isso porque os valores de liquidação, com o 'câmbio fraco', estão muito abaixo do que se trabalha pelo milho junto aos consumidores do mercado interno.

Outro ponto importante é o segmento de consumo, que continua mostrando crescimento, onde indica avanço na demanda do setor avícola. Também a volta dos investimentos na Suinocultura, que esta em crescimento, devido às exportações. Estes dois setores devem ser responsáveis pelos maiores volumes consumidos. Não podemos esquecer do segmento leiteiro, que esta voltando a ser rentável e atrativo aos produtores e que irá demandar um grande volume de ração e com isso muito milho deverá ser usado pelo segmento.

O governo, desde maio, vem leiloando os seus estoques para os consumidores do Sul, do Norte e do Nordeste do país, dando subsídios para que os consumidores possam movimentar o cereal do Centro Oeste para os centros de demanda. Com isso caminhamos para fechar o ano comercial com estoques mínimos e desta forma dando espaço para que o mercado de 2006 comece firme e mesmo que tenhamos uma colheita na casa dos 40 milhões de toneladas, ainda assim deveremos voltar ao mercado internacional para buscar milho, a fim de atender uma demanda que caminha para algo ao redor dos 42 milhões de toneladas. Desta forma o quadro para o próximo ano indica cotações em crescimento, sinalizando um bom ano para os produtores.

6 O problema da seca

O clima foi desfavorável às lavouras brasileiras neste ano que passou, sendo que os maiores produtores de milho se concentram no Sul do país, onde o clima foi mais rigoroso e causou o maior impacto, com forte queda na produtividade do RS, SC e também no Paraná. Isto também afetou a safrinha local porque no período do plantio e início de desenvolvimento houve falta de chuvas e perda de potencial produtivo.

Tabela 4. Produção brasileira de milho (1000 toneladas).

Estado	04/05	03/04
Rio Grande do Sul	1.595	3.500
Santa Catarina	2.800	3.340
Paraná	9.000	11.200
São Paulo	4.100	4.500
Minas Gerais	6.150	6.000
Goiás	2.730	3.370
Mato Grosso do Sul	1.380	2.350
Mato Grosso	3.400	3.450
Brasil	36.000	42.400

Fonte: Brandalízze Consulting

Os problemas climáticos estão causando perdas de safra no Brasil. Como exemplo temos o Rio Grande do Sul, que está colhendo pouco mais de 1,5 milhões de toneladas e deverá consumir mais de 4,5 milhões de toneladas. Assim, há uma *deficit* de 3 milhões de toneladas, que se somado com outro de 1,8 milhões que estão em aberto em Santa Catarina, ter-se-á um *deficit* de cerca de 5 milhões.

Para cobrir as necessidades desses dois estados (RS e SC), poderá haver uma redução de todos os estoques que existem nos demais estados produtores, principalmente no Centro Oeste, onde ainda existem bons volumes

de milho da safrinha passada, e que estão nos estoques do governo e que deverão continuar sendo vendidos via leilão.

7 Importações

7.1 Câmbio, compra e transgênico

Os compradores estão realizando algumas compras de milho na Argentina. Mas, como grande parte das grandes indústrias do setor de frangos e suínos estão trabalhando com exportações crescentes de carne, e algumas têm contratos, os quais as forçam utilizar componentes na ração que não contenham transgênicos, estas compras são ainda de pouca importância. Isto, muito provavelmente, em médio prazo não deverá ser um problema para o setor, porque as safras Americana, Argentina e Asiática estão, em grande parte, sob o domínio dessa tecnologia.

O uso dos transgênicos é crescente e assim as portas do mundo tendem a se abrir para esses produtos. Mas no momento os compradores brasileiros que estão importando, vêm usando o produto importado para a produção de ração para animais e para a geração de produtos que serão consumidos no mercado interno, como exemplo ovos, frangos. Até o momento, os maiores importadores têm sido da região Nordeste.

O câmbio barato, na casa dos R\$2,50 e às vezes abaixo deste valor, favorece as importações e limitam a alta no mercado interno que tem ficado estabilizado nos últimos dois meses. Devido ao fato de estarmos às vésperas da colheita da safrinha e ainda ao fato do milho da Argentina, nesta época, estar chegando a nossos portos, com preços na faixa dos R\$21,00/22,00, as indústrias têm adquirido o produto na faixa dos R\$ 24,00 ou menos.

7.2 Custos da importação do milho pelo Brasil

Na Tabela 5, são mostrados os custos de importação do milho entre os meses de setembro e outubro, quando estaremos vendo indicativos maiores na Argentina e ainda não tendo boas ofertas da safra nova dos EUA, que têm a colheita no final de outubro e novembro e também não mostra indicativos de cotações em queda para o médio e longo prazo, assim o milho importado junto aos consumidores estará chegando à marca dos US\$10,00 acima por saca.

Tabela 5. Custos da importação do milho pelo Brasil tomando como base um câmbio de R\$ 2,50/US\$1,00 (Brandalizzi Consulting, 2005).

Origem	ARGENTINA	EUA
Cotação FOB Porto	104,00	110,00
Frete Marítimo e Seguro	28,50	34,50
Despesas Portuárias	14,00	14,00
Despesas Comerciais	2,00	2,00
Taxa de Importação(EUA 11%)	0,00	17,59
Total Porto US\$.t ⁻¹	148,50	178,09
Frete de 500 km	30,00	30,00
Total CIF Indústria	178,50	208,09
US\$/60kg Interior	10,71	12,48
R\$/60 kg Interior	26,78	31,20

8 Tendências de mercado

O mercado do milho (futuro positivo para os produtores de milho do Brasil) continuará andando em cima do quadro de produção próxima ou até abaixo do consumo e como no mercado mundial o quadro também caminha para ser apertado, por aqui não podemos indicar que o quadro seja diferente. Nestes próximos meses tenderemos a ver pressão de alta nos indicativos e o produto da safrinha poderá ver os indicativos praticados com ágio sobre o produto importado porque alguns consumidores que trabalham com exportação de carnes de frangos e suínos terão que comprar o milho brasileiro e não operar com o produto importado e desta forma as cotações internas poderão chegar a operar em alguns momentos com ágio de 5 a 15% sobre o valor do produto importado e assim caminha para ser favorável aos produtores.

O grande obstáculo dos produtores estará no momento da colheita em junho e começo de agosto, quando os produtores normalmente vêm a campo para fazer caixa inicial e vendendo parte para quitar dívidas e desta forma servindo como limitador de alta, lembrando que muitos consumidores receberão milho diretamente dos produtores na colheita e assim só devem voltar a forçar compras de produto livre no final de agosto em diante e devendo forçar posições entre setembro e outubro, quando esperamos por reação a favor dos produtores. A dica de agora em diante que vai para os produtores é que o milho é uma cultura de alta tecnologia e que responde bem aos investimentos e para o setor superar a crise que passou em 2005, somente aumentando a produtividade e tendo mais milho para negociar no próximo ano.

9 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS

BRAZILIAN CHICKEN PRODUCERS AND EXPORTERS ASSOCIATION - ABEF.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO – ABIMILHO.

BRANDALIZZE CONSULTING.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO.

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA E GANADERIA DA ARGENTINA – MARA.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA.

MANEJO E SELEÇÃO DE HERBICIDAS PARA REDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS

Ramiro Fernando López Ovejero¹; Pedro Jacob Christoffoleti²; Marcelo Nicolai¹; Saul Jorge Pinto de Carvalho¹

1 Introdução

Uma das principais discussões atuais acerca do manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas brasileiras ou mundiais é, sem dúvida, o crescente aparecimento de novos casos de resistência destas plantas aos herbicidas. A extensão de áreas agrícolas atualmente detectada com presença de biótipos resistentes de plantas daninhas pode ser considerada de pequena escala, quando comparada com a área agrícola total, mas está aumentando em uma taxa elevada. Os registros mundiais enumeram 296 biótipos resistentes, 178 espécies (107 dicotiledôneas e 71 monocotiledôneas) em mais de 270.000 áreas agrícolas (HRAC, 2005).

No Brasil, os casos mais freqüentes de resistência de plantas daninhas aos herbicidas estão relacionados com os inibidores da enzima Acetolactato Sintase (ALS) e com os inibidores da enzima Acetil CoA Carboxilase (ACCase), sobretudo na cultura da soja. Diversos casos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas têm sido apontados em várias localidades produtoras de soja e arroz no Brasil, principalmente na região sul, sendo crescente os casos na região sudeste e centro-oeste. No mundo, existem também diversos casos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores do fotossistema II, principalmente às triazinas, na cultura do milho por exemplo, no entanto, no Brasil não tem registros para esse grupo de herbicidas. Recentemente têm-se observado o aparecimento de novos casos de resistência de plantas a herbicidas envolvendo outros mecanismos de ação, tais como os inibidores da PROTOX e até mesmo o herbicida glyphosate.

Dentre as principais consequências da resistência de plantas daninhas a herbicidas podemos enumerar a restrição ou inviabilização da utilização desses produtos, perdas de áreas de plantio, perdas de rendimento e qualidade dos produtos das culturas agrícolas, necessidade de reaplicação de herbicidas, mudanças no sistema de produção e, em alguns casos, requerendo aumento de doses dos herbicidas, que tem como consequência maior impacto ambiental e elevação dos custos de produção, com conseqüente redução da competitividade na comercialização do produto final. Sendo assim, é de fundamental importância o estudo de diferentes estratégias para prevenção e manejo da resistência nos diferentes sistemas agrícolas.

2 Resistência de plantas daninhas a herbicidas

Antes de discutir as diferentes maneiras de prevenir e/ou manejar a resistência de plantas daninhas a herbicidas é importante esclarecer alguns

¹ Engenheiro Agrônomo, Aluno do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, USP/ESALQ.

² Professor Associado, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, USP/ESALQ, Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 09, CEP - 13.418-900, Piracicaba - SP, e-mail - pjchrist@esalq.usp.br, fone - 19 3429 4190, fax - 19 3429 4385.

conceitos. Christoffoleti & López-Ovejero (2004) definiram resistência como sendo a capacidade inerente e herdável de alguns biótipos, dentro de uma determinada população, de sobreviver e se reproduzir após a exposição à dose de um herbicida que normalmente seria letal a uma população normal (suscetível) da mesma espécie. Um biótipo é um grupo de indivíduos com carga genética semelhante, pouco diferenciado da maioria dos indivíduos da população (Kissmann, 1996).

A tolerância de plantas daninhas a herbicidas é resultado da capacidade inata da espécie em suportar aplicações de herbicidas, nas doses recomendadas, sem alterações marcantes em seu crescimento e desenvolvimento. A tolerância leva à seleção natural das plantas daninhas aí existentes sobre as quais o produto tiver efeito reduzido. Por exemplo, apesar do glyphosate ter um excelente controle sobre diversas plantas daninhas o mesmo têm selecionado algumas plantas daninhas de difícil controle (tolerantes) como poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), erva-quente (*Borreria alata*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), Corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) entre outras. A suscetibilidade, também, é uma característica inata de uma espécie. Nesse caso, há alterações com efeitos marcantes no crescimento e desenvolvimento da planta, como resultado de sua incapacidade de suportar a ação do herbicida (Christoffoleti et al., 2000).

Vale ressaltar que muitas plantas daninhas denominadas tolerantes a herbicidas específicos possuem mecanismos de tolerância (ou resistência) muito semelhantes, ou mesmo iguais, aos apresentados pelos biótipos resistentes de plantas daninhas. A grande diferença relaciona-se com o fato que o primeiro (tolerante) sempre esteve presente nos indivíduos da população e o segundo (resistência) é fruto de um processo de pressão de seleção sobre estes indivíduos.

3 Bases para prevenção e manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas no sistema de produção

As práticas utilizadas para prevenção e/ou manejo da resistência de plantas daninhas são similares, dependendo a escolha das mesmas do sistema de produção utilizado na região. Desta forma, para que o sistema produtivo adotado, como um todo, mantenha-se sustentável ao longo do tempo no que diz respeito ao controle das espécies de plantas daninhas presentes na área, é de fundamental importância que o manejo dos problemas existentes e a prevenção da manifestação de novos casos sejam etapas perfeitamente alinhadas dentro do próprio sistema. As bases para prevenção e manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas no sistema de produção são as seguintes:

(i) Manejo do banco de sementes de plantas daninhas: A densidade populacional potencial de plantas daninhas em uma área é determinada pelo número de sementes no solo (banco de sementes), as quais podem permanecer vivas e/ou dormentes nos solos agrícolas por muitos anos. Uma maneira de reduzi-la é evitando a adição de novos propágulos (por exemplo de biótipos resistentes), através do controle da produção de sementes. Entretanto, pelo rápido declínio populacional, quando não se permite a produção de sementes, verifica-se a viabilidade da adoção de práticas de controle para redução da densidade de infestação a níveis que permitem melhor convivência com as plantas daninhas nos agroecossistemas e obtenção de maior eficiência

e economicidade no seu controle. No entanto, é conhecido entre os agricultores que um ano de controle ineficiente de plantas daninhas em uma cultura é suficiente para restabelecer o banco de sementes original, mesmo depois de vários anos de controle eficiente em um programa de redução do banco de sementes (Christoffoleti, 2001). No caso específico dos biótipos resistentes, o banco de sementes nos primeiros anos após a detecção da resistência é muito grande, o que dificulta seu manejo até com estratégias alternativas (Exemplo: herbicidas de mecanismo de ação alternativo). Normalmente, a resistência se apresenta em manchas, e aumenta a sua proporção (multiplicação geométrica) com a aplicação repetitiva do herbicida com mesmo mecanismo de ação, finalmente dominando a área. O biótipo resistente uma vez estabelecido, o problema permanece por um longo período de tempo e, às vezes, indefinidamente;

(ii) Diminuir a pressão de seleção dos herbicidas: O aspecto mais importante na prevenção e manejo da resistência é a recomendação de práticas e sistemas de produção em que a pressão de seleção de biótipos resistentes a determinado herbicida seja reduzida (Boerboom, 1999). Assim, a prevenção e/ou manejo da resistência de plantas daninhas a herbicidas no sistema de produção exige o conhecimento detalhado da classificação quanto a modo e mecanismo de ação, espectro de ação, eficácia, características físico-químicas dos herbicidas, além das diferentes opções de uso no planejamento das culturas;

(iii) Adaptabilidade ecológica das plantas daninhas resistentes: Segundo Christoffoleti (1997), entende-se por adaptabilidade ecológica a capacidade que um biótipo possui, dentro de uma população de plantas daninhas, em manter ou aumentar sua proporção ao longo do tempo. Os biótipos mais adaptados são normalmente mais competitivos e capazes de aumentar sua proporção ao longo do tempo, eliminando os indivíduos menos adaptados ou competitivos. A atividade fotossintética menos eficiente, resultante de alterações nos sítios de ação dos herbicidas nas membranas dos cloroplastos, é considerada a razão de menor adaptação dos biótipos resistentes às triazinas quando comparados aos suscetíveis. Uma possível diminuição na taxa de crescimento da planta resistente tem consequências diretas na competitividade do biótipo e, portanto, na sua dinâmica dentro da população, afetando diretamente as estratégias de manejo da resistência. Assim, quando o fator de pressão de seleção é eliminado (Exemplo: inibidor de fotossíntese) a frequência gênica do biótipo resistente diminui rapidamente no banco de sementes devido a sua menor adaptabilidade, facilitando seu manejo. No entanto, a mesma adaptabilidade ecológica do biótipo resistente e suscetível (Exemplo: ALS e ACCase) indica que ocupam nichos semelhantes no ambiente. Dessa forma, estratégias preventivas de resistência devem ser adotadas, pois, uma vez estabelecida uma população resistente, naturalmente ela não retorna para uma frequência original de suscetibilidade (Christoffoleti, 2001).

Assim, o manejo de plantas daninhas em uma propriedade deve ser levado em consideração a longo prazo, através de um sistema integrado de controle em sistemas de produção que envolva métodos culturais, físicos, mecânicos, químicos além de outros.

4 Principais estratégias para prevenção e manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas

Para escolha da melhor alternativa para prevenção e/ou manejo de plantas daninhas resistentes é importante conhecer os fatores que afetam a evolução da resistência de plantas daninhas, que podem ser agrupados em:

Genéticos: são inerentes aos indivíduos de uma mesma população de plantas daninhas (Ex: dominância dos alelos resistentes, adaptabilidade ecológica, mecanismo de resistência).

Bioecológicos: são uma interação entre as características dos indivíduos e a ação do ecossistema sobre essa população (Ex. espécie, capacidade reprodutiva, dormência).

Agronômicos: relacionados ao sistema de produção utilizado (Ex. Uso repetitivo do mesmo herbicida ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação).

Desses fatores, os genéticos e bioecológicos são de difícil manipulação para o manejo da resistência, porém de grande importância na avaliação de potencial de risco da resistência. Sendo assim, apenas os fatores agronômicos podem ser manipulados pelo homem na implementação de estratégias de prevenção e/ou manejo da resistência, sendo que as mesmas deverão ser escolhidas em função do sistema de produção adotado na região. As principais estratégias são: (i) rotação de culturas; (ii) método cultural; (iii) método mecânico; e (iv) método químico.

4.1 Rotação de culturas

A rotação de culturas é a base para prevenção e manejo da resistência porque permite ao produtor utilizar práticas químicas e não químicas. A rotação de culturas, particularmente aquelas com diferentes ciclos de vida, reduz o sucesso intrínseco das plantas daninhas, que estão sincronizadas com a cultura anterior, implicando na variação dos padrões de uso do solo e da interferência das plantas daninhas. A rotação de culturas é pouco provável que elimine o uso de herbicidas e a pressão de seleção em sistemas de cultivo, mas pode ser utilizado para reduzir a utilização de herbicida no decorrer dos anos. Algumas das práticas implementadas são: (i) semeadura de diferentes culturas nas safras (culturas, pastagens e forrageiras); (ii) semeadura de diferentes culturas nas safras que permitam a utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação ou não utilizam herbicidas; (iii) semeadura de diferentes culturas que permitam nas safras a utilização de métodos alternativos de controle (diferentes do químico). Infelizmente uma série de aspectos econômicos e muitas vezes de regulamentação governamental limitam a implementação destas medidas (Christoffoleti, 1998).

4.2 Método Cultural

Esse método consiste na utilização de medidas e procedimentos objetivando a prevenção de infestações e disseminação de plantas daninhas (biótipos resistentes), bem como o fortalecimento da capacidade competitiva da cultura, representada pelo seu rápido estabelecimento e desenvolvimento. O conhecimento da habilidade de competição das espécies utilizadas na agricultura ou a mudança no arranjo espacial podem aumentar a competição das culturas com as plantas daninhas, o que poderia ter um efeito na necessidade de utilização de herbicidas (dose ou frequência de aplicação).

A interferência das plantas daninhas sobre as culturas pode aparecer em diferentes magnitudes, cuja variação é função de características próprias da comunidade infestante, da cultura agrícola, da época e extensão dos períodos de convivência, de características edafo-climáticas do meio e das técnicas de manejo adotadas (Figura 1). Conhecer as interações entre esses fatores podem ajudar na escolha das melhores estratégias de manejo de populações de plantas daninhas.

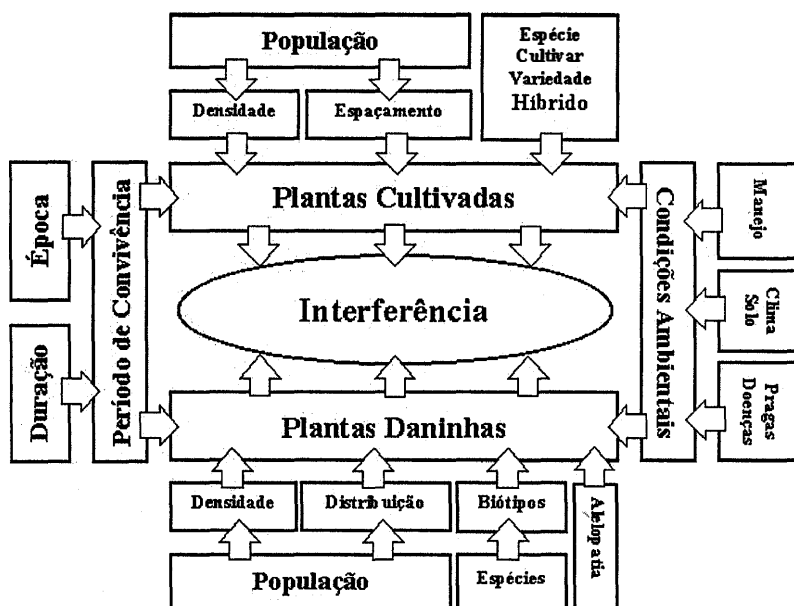


Figura 1. Modelo esquemático dos fatores que afetam a interferência entre as culturas e a comunidade infestante (Adaptado de Pitelli, 1985).

Ainda, sabe-se que a interferência é muito mais significativa em períodos específicos, denominados **períodos de interferência**, onde os métodos de controle devem ser administrados eficientemente. Existem três períodos de interferência, obtidos experimentalmente, com denominações tradicionais. O primeiro destes é chamado de **PAI** – período anterior à interferência; outro período extremo é chamado de **PTPI** – período total de prevenção da interferência; o intervalo existente entre o PAI e o PTPI recebe a denominação de **PCPI** – período crítico de prevenção da interferência, onde, efetivamente, a cultura deve ser conduzida sem a presença das plantas daninhas para que o rendimento seja assegurado (Tabela 1). Assim, o período residual de controle dos herbicidas deve ser até o final do PTPI para evitar maior pressão de seleção sobre a população de plantas daninhas.

Tabela 1. PAI, PTPI e PCPI das plantas daninhas sobre as principais grandes culturas agrícolas. Valores médios obtidos na literatura disponível.

Cultura		Períodos de Interferência das Plantas Daninhas		
		PAI	PTPI	PCPI
Algodão	dias*	10-30	20-60	15-60
	sequeiro (dias)	20-40	40-60	30-50
Arroz	irrigado (dias)	10-15	30-45	10-45
	dias	15-35	30-50	15-45
Feijão	fenologia	V2-V4	R5-R6	V2-R6
	safrã – dias	15-20	40-45	15-45
	safrã – fenologia	V2-V3	V6-V8	V2-V7
Milho	safrã – graus-dia (GD)	120-250	250-420	150-400
	safrinha – graus-dia (GD)	130-300	350-500	200-400
	dias	10-20	35-45	15-45
Soja	fenologia	V2-V4	R3-R4	V2-R3
Trigo	dias	10-15	40-50	10-45

* dias contados à partir da emergência da cultura.

O conhecimento dos conceitos de períodos de interferência facilita o processo de tomada de decisão sobre o método de controle de plantas daninhas a ser adotado. Vale lembrar que tanto maior será a interferência das plantas daninhas quanto maior for o período de convivência com a cultura e, também, a interferência será mais significativa quanto mais precoce for a germinação da comunidade infestante quando comparada com a germinação das plantas cultivadas.

4.3 Método mecânico

Práticas de cultivo mecânico, tais como enxada rotativa e cultivadores seletivos, reduzem a pressão de seleção na população de plantas daninhas pelos herbicidas. O cultivo mecânico pode substituir o manejo químico ou; pode ser realizado o cultivo nas entrelinhas e aplicação de herbicidas apenas na linha de cultura. Também, o cultivo primário de preparo do solo reduz a pressão de seleção por causa do enterrio das sementes de plantas daninhas recém produzidas. Em algumas situações, a aração feita anualmente não é recomendável, mas aração rotacional, uma vez a cada quatro a cinco anos, pode ser uma alternativa viável, pois com isso muda a flora de plantas daninhas existentes através de uma maior diversificação de espécies.

4.4 Método químico

Alguns conceitos fundamentais para prevenção e/ou manejo da resistência e das tabelas de classificação de herbicidas são os termos resistência cruzada e resistência múltipla. A resistência cruzada ocorre quando biótipos de plantas daninhas são resistentes a dois ou mais herbicidas, devido a um só mecanismo de resistência, portanto, resistente a todos os herbicidas que apresentam um mesmo mecanismo de ação. Geralmente o mecanismo de resistência é resultante de uma alteração no sítio de ação do herbicida. Por exemplo, biótipos de *Bidens pilosa* são resistentes a herbicidas do grupo B (ALS = imidazolinonas e sulfonilureias) e são suscetíveis a herbicidas do grupo E (Protox= difenil-eteres) ou C (Fotossistema II: Triazinas). A resistência múltipla ocorre quando um biótipo apresenta um ou mais mecanismos de resistência distintos que conferem o comportamento resistente a herbicidas com mecanismo de ação diferenciados. Geralmente o mecanismo de resistência é via metabolismo. Por exemplo, biótipos de *Lolium rigidum* apresentam resistência a herbicidas do grupo A (ACCase = ciclohexanodionas)

e B (Christoffoleti & López-Ovejero, 2004). Quando a resistência é múltipla, as opções de manejo são restritas.

O manejo de herbicidas correto é fundamental para prevenir e/ou manejar a resistência de plantas daninhas, sendo que, as principais recomendações são: (i) utilizar herbicidas de baixa atividade residual no solo; (ii) otimizar a dose, época e número de aplicações, reduzindo assim o uso desnecessário de herbicidas; (iii) aplicar herbicidas somente quando necessário, permitindo níveis mínimos de infestação que não causem danos significativos à cultura (nível de dano econômico - NDE); (iv) acompanhar os resultados das aplicações dos herbicidas, deixando pequenas áreas testemunhas sem aplicação, a fim de detectar quaisquer tendências ou mudanças na densidade populacional das plantas daninhas presentes; (v) evitar a utilização de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação para o qual a resistência foi confirmada, a menos que em mistura com outro(s) herbicida(s) de diferente(s) mecanismo(s) de ação, cujo espectro de controle das plantas daninhas inclua a espécie da população resistente; (vi) rotação de herbicidas com mecanismos de ação diferenciados e/ou com diferentes mecanismos de detoxificação, porém efetivos sobre o mesmo espectro de plantas daninhas; e (vii) utilizar mistura de herbicidas (de tanque, formuladas ou aplicações sequenciais), sendo que a mesma está baseada no fato de que os ingredientes ativos controlam eficientemente os dois biótipos da mesma espécie.

Segundo Peterson (1999), a mudança mais comum adotada pelos agricultores é a adição de um herbicida parceiro em mistura de tanque ou a troca de herbicidas. A mistura de herbicidas em tanque é a primeira estratégia recomendada pelas indústrias químicas, contudo os herbicidas parceiros precisam apresentar eficiência sobre a planta daninha alvo, de outro modo este sistema não será eficiente no manejo da resistência. Peterson (1999) ressalta também, que a troca do herbicida só se torna viável se existem herbicidas alternativos que promovem o controle similar das plantas daninhas e com preços compatíveis.

Sendo assim, no decorrer de uma safra agrícola temos diferentes momentos possíveis de manejo de plantas daninhas com herbicidas que apresentam diferentes mecanismos de ação. Logicamente para cada cultura as possibilidades são diferentes dependendo do manejo agrônomo mais indicado e dos produtos registrados para a mesma. Os diferentes momentos são comentados a seguir.

4.4.1 Manejo de plantas daninhas na dessecação

Na dessecação da cultura da soja, pode ser utilizado o herbicida glifosato isolado ou em mistura com herbicidas que apresentam mecanismos de ação alternativos como o 2,4-D ou herbicidas residuais como chlorimuron, flumioxazin, clomazone, sulfentrazone. Ainda, podem ser utilizados herbicidas de contato não-seletivo como paraquat (sem efeito residual no solo e não pode ser utilizado em mistura com glifosato).

4.4.2 Manejo de plantas daninhas durante o período crítico de competição

São utilizados herbicidas seletivos em pré ou pós-emergência ou não seletivos com aplicação localizada que apresentem mecanismos de ação alternativos. Esta prática permite evitar a interferência de plantas daninhas resistentes e suscetíveis.

4.4.3 Manejo de plantas daninhas na pré-colheita das culturas

A utilização de herbicidas como diquat, paraquat, amônio-glufosinato nas culturas de soja ou feijão na pré-colheita tem permitido a redução na produção de sementes das plantas daninhas de forma a evitar a dispersão ("chuva de sementes") de possíveis plantas daninhas resistentes, além da uniformização da maturação e antecipar a colheita.

4.4.4 Manejo de plantas daninhas na pós-colheita das culturas (entressafra)

O manejo do banco de sementes de plantas daninhas suscetíveis e resistentes na entressafra pode ser uma importante estratégia para diminuir os efeitos competitivos na safra. A utilização de herbicidas não seletivos como glyphosate, paraquat podem ser ferramentas importantes já que não afetam a rotação de culturas.

4.4.5 Manejo de plantas daninhas com cultivares transgênicas

Os genótipos resistentes aos herbicidas também proporcionam a adoção de mecanismos de ação diferentes daqueles usados em aplicações normalmente seletivas, possibilitando também o manejo de plantas daninhas resistentes. Segundo Powles et al (1997) se desconhece os reflexos dos herbicidas totais aplicados em culturas resistentes aos herbicidas com relação aos efeitos sobre o surgimento de plantas daninhas resistentes. Estes autores apontam que, se esse herbicida total for utilizado na mesma intensidade que os ACCase e ALS, poderá acontecer o surgimento de plantas daninhas resistentes. Para Boerboom (1999) a rápida adoção de culturas transgênicas como soja e milho, supõe a utilização anual freqüente do glyphosate na rotação soja-milho em lugar da rotação com outros herbicidas.

5 Principais estratégias de manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas no Brasil

5.1 Herbicidas inibidores do fotossistema II (GRUPO C)

Na cultura do milho no Brasil, a utilização de herbicidas do grupo dos inibidores do fotossistema II (triazinas) em pré e pós-emergência é muito grande na maioria das propriedades, sendo aplicados em forma isolada ou em mistura. Apesar de que no Brasil não foram relatados casos de resistência, a grande ocorrência de casos a nível mundial mostra o risco de surgimento do problema. Ainda, os biótipos resistentes geralmente são selecionados durante um longo período de tempo até o problema se tornar evidente. A rotação soja-milho constitui-se numa forma excelente de retardar o aparecimento de biótipos resistentes em regiões de cultivo de soja e milho, pois na literatura mundial não existem relatos de desenvolvimento de biótipos resistentes às triazinas em áreas de rotação soja-milho. No entanto, nas áreas de cerrado, o cultivo do milho em rotação com soja é bastante restrito devido a condição climática, predominando portanto, a monocultura da soja.

5.2 Herbicidas inibidores da ALS (GRUPO B)

A maioria dos casos de resistência aos herbicidas inibidores da ALS estudados (*Bidens pilosa*, *Bidens subalternans*, *Euphorbia heterophylla*, *Raphanus sativus*) apresenta resistência cruzada aos diversos grupos químicos de herbicidas que tem este mecanismo de ação (mecanismo de resistência relacionada a alteração no sítio de ação do herbicida). A ALS é a primeira

enzima na biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, sendo, também, o local de ação dos grupos de herbicidas conhecidos por sulfoniluréias, imidazolinonas, triazolopyrimidinas e pirimidil thiobenzoatos (Eberlein et al., 1997).

Na cultura do milho, existem riscos para os herbicidas inibidores da ALS como nicosulfuron e foramsulfuron + iodosulfuron aplicados em pós-emergência, devido a preferência do agricultor por este grupo pelo amplo espectro de espécies controladas e pela sua eficiência (Merotto Júnior et al., 1998). Para manejo de biótipos resistentes de *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa*/B.subalternans na cultura da soja, os melhores resultados foram obtidos com herbicidas inibidores de Protox (Grupo E: Lactofen, fomesafen, acifluorfen) aplicados de forma isolada ou associados a um inibidor de ALS. Em infestações baixas uma única aplicação tem apresentado resultados satisfatórios, sendo que, em infestações elevadas os melhores resultados foram obtido com aplicações sequenciais. Para populações resistentes de *Bidens pilosa*/B.subalternans o herbicida bentazon é uma alternativa de manejo importante associado aos herbicidas do grupo E (Penckowski et al., 2004). No entanto, recentemente, foram apresentados trabalhos que continham resultados que confirmavam a ocorrência de casos de resistência da espécie de planta daninha *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo) resistente aos inibidores da PROTOX (lactofen) e ALS (imazethapyr) nos Estados do Paraná e Santa Catarina (Trezzi et al., 2004a; Trezzi et al., 2004b). Na cultura do milho, a aplicação de inibidores dos fotossistemas II (atrazine) em pré ou pós-emergência apresentam excelentes resultados de controle sobre biótipos resistentes e suscetíveis de *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa*/B.subalternans.

5.3 Herbicidas inibidores da ACCase (GRUPO A)

Os herbicidas inibidores da ACCase podem ser divididos em dois grupos químicos: os ariloxifenoxipropionatos (APP) e as ciclohexanodionas (CHD) (Harwood, 1999) que, embora apresentem diferenças em suas estruturas químicas, possuem afinidade pelo mesmo sítio de ação na ACCase (Rendina et al., 1989). Estes herbicidas agem de forma reversível e não competitiva sobre a enzima plastídica Acetil Co-A Carboxilase (ACCase) (Vidal & Merotto Jr., 2001), reduzindo a capacidade das plantas em produzir malonil-coenzima A, o que resulta no impedimento da formação de ácidos-graxos e por consequência de lipídeos (Gronwald, 1991). Na maioria dos casos relatados, a resistência de plantas daninhas a herbicidas inibidores da ACCase, está relacionada com ocorrência de diferentes mutações na enzima, em que cada uma delas confere diferentes tipos e níveis de resistência aos herbicidas APP e CHD. Sendo assim, os graus de resistência dentro das espécies e das linhagens são variáveis, sendo comum encontrar padrões diferenciados de resistência cruzada. Contudo existem relatos correlacionando resistência aos inibidores da ACCase com processos metabólicos (Hidayat & Preston, 1997).

O trabalho conduzido por Gazziero et al. (2004) explora estas características diferenciais de controle de um determinado biótipo de capim-marmelada por três herbicidas inibidores da ACCase. Embora numerosos trabalhos, anteriormente citados, apresentem resultados onde as plantas são identificadas como tendo resistência cruzada aos grupos químicos dos inibidores da ACCase, a planta daninha capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) estudada pelos autores citados acima foi classificada como sendo

resistente ao herbicida sethoxydim e suscetível ao clethodim e tepraloxymid. Os autores afirmam, ainda, que os resultados encontrados para o biótipo estudado podem não se expressar nos demais biótipos resistentes da espécie.

Para os biótipos resistentes de *Brachiara plantaginea* na cultura da soja as recomendações de medidas de prevenção e manejo da resistência são mais complicadas que para os demais herbicidas, já que, para o controle de gramíneas em condições de pós-emergência na cultura da soja não existem herbicidas efetivos desenvolvidos até o momento, restando portanto apenas alternativas em pré-emergência, menos práticos, menos eficientes nessa planta daninha e alguns apresentam problemas com a palhada em plantio direto. O mais recomendável na presença de biótipos resistentes dessa planta daninha é a rotação de culturas com, por exemplo, a cultura de milho utilizando herbicidas de diferentes mecanismos de ação eficientes no seu controle, para diminuir o banco de sementes (ex: grupo B (nicosulfuron, floramsulfuron + iodosulfuron)). Para os biótipos de *Digitaria ciliaris* os herbicidas de pré-emergência como trifluralina, s-metolachlor, clomazone, sulfentrazone e imazethapyr são opções de manejo na cultura da soja, sendo que na cultura de milho os herbicidas nicosulfuron, floramsulfuron + iodosulfuron (Grupo B) e mesotrione (Grupo F3) são alternativas de manejo.

5.4 Resistência ao herbicida glyphosate

Christoffoleti & López-Ovejero (2003) consideram que uma das discussões atuais e inevitáveis na agricultura brasileira e mundial está relacionada com o potencial de seleção de plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate. O aparecimento de casos de resistência envolvendo o herbicida glyphosate está diretamente relacionado com a sua utilização intensiva nas áreas de plantio direto e outras áreas de controle não seletivo de plantas daninhas (café, fruticultura, florestas, etc...) e também pelo potencial de aplicação em culturas transgênicas, particularmente na cultura da soja, algodão e até milho (Christoffoleti & López-Ovejero, 2003, Vargas et al., 2004).

O herbicida glyphosate é derivado do aminoácido glicina e tem como mecanismo de ação a inibição da enzima enol-piruvil-shikimato-fosfato sintetase (EPSPs), enzima esta responsável por uma das etapas da síntese de três aminoácidos aromáticos: triptofano, fenilalanina e tirosina (Kruse et al., 2000). No Brasil, considera-se a existência de apenas uma planta daninha resistente ao herbicida glyphosate: o azevém (*Lolium multiflorum*), identificado em meados de 2003, para as áreas agrícolas do sul do país (Estado do Rio Grande do Sul).

Embora tenha sido utilizado mundialmente em larga escala, existem poucos casos de espécies de plantas daninhas resistentes a este herbicida, sobretudo se compararmos com os numerosos casos relatados para os herbicidas inibidores da ALS e ACCase. Desta forma, torna-se evidente que este herbicida apresenta reduzido potencial de seleção de biótipos resistentes de plantas daninhas. O número reduzido de relatos de biótipos resistentes está diretamente relacionado com características químicas, bioquímicas e biológicas do produto, dentre estas: não apresenta residual nos solos; existência de múltiplos mecanismos fisiológicos que interagem na sensibilidade das plantas aos produtos; baixa adaptabilidade ecológica dos indivíduos sobreviventes após a aplicação; baixa frequência inicial do gene resistente; ausência de outros herbicidas com o mesmo mecanismo de ação; ausência de espécies de

plantas que degradam grandes quantidades de glyphosate (Christoffoleti & López-Ovejero, 2003).

Estudando plantas oriundas de pomares de maçã mantidos sob manejo com o herbicida glyphosate por mais de 15 anos, Vargas et al. (2004) identificou herbicidas alternativos para o manejo do biótipo resistente encontrado: paraquat, glufosinate, haloxyfop, clethodim, sethoxydim, diclofop, fenoxaprop, fluazifop, paraquat+diuron, atrazine+simazine, trifluralin e metolachlor. Ainda, Christoffoleti et al. (2005) observaram que o controle do biótipo de azevém resistente ao glyphosate encontrado no sul do país é altamente influenciado pelo estágio fenológico das plantas no instante da aplicação. Os autores comentam que quanto mais avançado o estágio de crescimento da planta, mais comprometido se torna o controle a ser obtido pelo glyphosate e, de forma análoga, quanto maiores as doses aplicadas, melhores os controles obtidos. Observaram, também, que a resposta de controle do biótipo resistente foi muito mais rápida quando foi utilizada a mistura de glyphosate + clethodim para o controle das plantas.

Com relação à adaptabilidade ecológica dos biótipos resistente e suscetível de *Lolium multiflorum* ao herbicida glyphosate, Vargas et al. (2005) observaram que o crescimento do biótipo resistente é mais lento quando comparado com o biótipo suscetível. Neste mesmo trabalho, os autores observaram também que existem respostas de controle significativamente diferentes entre os dois biótipos quando submetidos à aplicações de herbicidas graminicidas. Os autores propõem a hipótese de que o mecanismo de resistência do azevém ao glyphosate não está relacionado com alterações no sítio enzimático ou mesmo superprodução da enzima EPSPs, mas sim com algum mecanismo de translocação e exclusão do herbicida em partes da planta menos afetadas pela presença do composto (pontas das folhas), evitando que o produto chegue até as zonas meristemáticas. Justificam que este possível mecanismo seria co-responsável pelas diferenças de controle observadas quando o biótipo suscetível esteve submetido à aplicação dos graminicidas e pelo menor crescimento do biótipo resistente.

Uma das alternativas de manejo do azevém resistente é a utilização de culturas de inverno combinadas com herbicidas. Assim, Marochi et al. (2004) com o objetivo de estudar alternativas de controle de azevém resistente ao herbicida glyphosate com e sem aplicação de graminicida sobre cobertura de ervilhaca, conduziu um experimento no município de Lagoa Vermelha (RS) na safra agrícola 2002/2003. Os tratamentos utilizados no experimento foram: glyphosate (Roundup Transrob) a 960, 1920, 2880 g e.a.ha⁻¹ + 2,4-D amina a 536 g i.a.ha⁻¹ e paraquat + diuron a 500 + 250 g i.a.ha⁻¹, com ou sem aplicação anterior de clethodim a 72 g i.a.ha⁻¹. O clethodim foi aplicado após a colheita da soja (safra 2002/2003) e semeadura da ervilhaca, quando as plantas de azevém apresentavam de 3 a 5 perfilhos (10-12 cm), em 24/06/2003. As aplicações de glyphosate + 2,4-D ou paraquat + diuron foram realizadas no estágio de início de florescimento do azevém, para dessecar a cobertura de ervilhaca, em 08/10/2003. A partir dos resultados obtidos foi observado que o aumento na dose de glyphosate, sem aplicação de clethodim e aplicado no estágio de início de florescimento do azevém, proporcionou maior controle do biótipo resistente; o clethodim, aplicado em estágio inicial de crescimento do azevém, independentemente da dose de glyphosate, proporcionou controle superior a 93% e; o controle inicial através do clethodim, com complementação

dos efeitos da cobertura de ervilhaca sobre a emergência de outras plântulas de azevém, mostrou-se como uma excelente alternativa de manejo de biótipos de azevém resistente.

6 Considerações finais

A ocorrência de biótipos resistentes de plantas daninhas a herbicidas é consequência direta da má administração ou planejamento dos sistemas de produção adotados. Sendo assim, a utilização racional dos herbicidas associados a outras práticas de manejo precisam estar sempre presente nos sistemas de produção. Assim, o uso de herbicidas em culturas como o milho (triazinas e ALS), a soja (ALS, ACCase, Glyphosate), o algodão (ALS), o arroz clearfield (ALS), o feijão (ACCase), as frutíferas e florestais (glyphosate e paraquat) dentre outras, necessariamente deve estar inserido em um sistema racional de prevenção e/ou manejo da resistência de plantas daninhas a herbicidas tendo em vista a comprovada existência de relatos de biótipos resistentes a estes produtos no mundo.

7 Referências bibliográficas

- BOERBOOM, C.M. Nonchemical options for delaying weed resistance to herbicides in Midwest cropping systems. **Weed Technology**, v.13, p.636-642, 1999.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. Dinâmica de populações de plantas daninhas e manejo de herbicidas para a cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (editor). **Tecnologia da produção**. Piracicaba: Publique, 1998. p.121-138.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.507-515, 2003.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Londrina: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2004. p. 3-22.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Londrina: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2004. p. 3-22.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; MEDEIROS, D.; MONQUEIRO, P.A.; PASSINI, T. Plantas Daninhas à Cultura da Soja: Controle Químico e Resistência a Herbicidas. **Soja: tecnologia da produção**/editado por Gil Miguel de Sousa Câmara. Piracicaba:ESALQ/p.179-202. 2000.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; MENDONÇA, C.G. de. Controle de Plantas Daninhas na Cultura de Milho: Enfoque Atual. **Milho: tecnologia e produtividade**/Antonio Luiz Fancelli e Durval Dourado Neto. Piracicaba:ESALQ/p.60-95. 2001.
- EBERLEIN, C.V.; GUTTIERI, M.J.; THILL, D.C.; BAERG, R.J. Altered acetolactate synthase activity in ALS – inhibitor resistant prickly lettuce (*Lactuca serriolata*). **Weed Science**, v.45, n.2, p.212-217, 1997.
- GRONWALD, J.W. Lipid biosynthesis inhibitors. **Weed Science**, v.39, p.435-449, 1991.

- HARWOOD, J.L. Graminicides which inhibit lipid synthesis. **Pesticide Outlook**, v.10, p.154-158, 1999.
- HIDAYAT, I.; PRESTON, C. Enhanced metabolism of fluazifop acid in biotype of *Digitaria sanguinalis* resistant to the herbicide fluazifop-p-butyl. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.57, p.137-146, 1997.
- HRAC – Herbicide Resistance Action Committee – <http://www.plantprotection.org/hrac>. Acessado em 23 de Abril de 2005.
- KISSMANN, K.G. **Resistência de plantas a herbicidas**. São Paulo: BASF Brasileira S.A., 1996, 33p.
- KRUSE, N.D.; TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Herbicidas inibidores da EPSPs: Revisão de Literatura. **R. Bras. Herb.**, v.1, n.2, p.139-146, 2000.
- PENCKOWSKI, L.H.; PODOLAN, M.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Alternativas de controle em pós-emergência para picão preto resistente aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja. Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 24, 2004. Águas de São Pedro, SP: SBCPD, 2004. p. 260, 2004.
- PETERSON, D.E. The impact of herbicide-resistant weeds on Kansas agriculture. **Weed Technology**, v.13, n.632-635, 1999.
- PITELLI, R.A. Interferência das plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropec.**, Belo Horizonte, v.11, n.29, 1985, p.16-27.
- POWLES, S.B.; PRESTON, C.; BRYAN, I.B.; JUTSUM, A.R. Herbicide resistance: Impact and management. **Advances in Agronomy**, v.58, p.57-93, 1997.
- RENDINA, A.R. et al. Kinetics of inhibition of acetyl-CoA carboxylase by the aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione graminicides. In: **The Brighton Crop Protection Conference - Weeds**, p.163-172. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 1989.
- TREZZI, M.M.; FELIPPI, C.L.; MATTEI, D.; SILVA, H.L.; CARNIELETO, C.E.; FERREIRA, A.J. Alternativas de controle químico para manejar biótipos de *Euphorbia heterophylla* com resistência simultânea a inibidores da ALS e da PROTOX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., São Pedro, 2004. **Suplemento...** São Pedro: 2004a. p.265.
- TREZZI, M.M.; FELIPPI, C.L.; MATTEI, D.; SILVA, H.L.; NUNES, A.L.; DEBASTIANI, C.; VIDAL, R.A.; MARQUES, A. Resistência múltipla a inibidor da ALS e a inibidor da PROTOX em biótipos de *Euphorbia heterophylla*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., São Pedro, 2004. **Suplemento...** São Pedro: 2004b. p.266.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; RIZZARDI, M.A.; SILVA, V.C. Alteração das características biológicas dos biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) ocasionada pela resistência ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.23, n.1, p.153-160, 2005.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; RIZZARDI, M.A.; SILVA, V.C. Identificação de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) resistentes ao herbicida glyphosate em pomares de maçã. **Planta Daninha**, v.22, n.4, p.617-522, 2004.
- VIDAL, R.A.; MEROTTO JR, A. Herbicidas inibidores da ACCase. In: VIDAL, R.A., MEROTTO JR, A. (Editores), **Herbicidologia**. Porto Alegre: p.15-24, 2001.

PRODUÇÃO DE MILHO EM TERRAS BAIXAS

Antonio Luiz Fancelli¹; Durval Dourado Neto²

1 Introdução

As múltiplas condições desfavoráveis ao desempenho das plantas que ocorrem esporadicamente ou permanentemente em um nicho ecológico ou em uma localidade podem ser classificadas comumente como condições de estresse.

Neste contexto, em qualquer comunidade vegetal, as espécies e os indivíduos mais fracos são suprimidos ou debilitados por intermédio da competição por espaço vital e pelos fatores básicos de produção.

As plantas, de forma geral, em qualquer lugar do globo terrestre, se desenvolvem, crescem e se reproduzem, sujeitas a situações desfavoráveis de natureza diversa, que poderão contribuir para a limitação da potencialidade produtiva e de sua plena sobrevivência.

O milho, apesar de reconhecidamente ser considerado umas das espécies cultivadas com elevada capacidade adaptativa, sob o ponto de vista fisiológico, também se encontra continuamente submetido a condições de estresse. Essas condições desfavoráveis ao seu pleno desempenho podem ser amplificadas por equívocos de manejo e, sobretudo, por inadequação de ambiente de produção.

Assim, apesar do milho (*Zea mays* L.) apresentar adaptação satisfatória a diferentes tipos de ambiente, aqueles relacionados a regiões tropicais de baixa altitude, pelas suas características peculiaridades, representadas pela ocorrência de temperaturas elevadas e intensa radiação solar, merecem especial atenção.

2 Estresse

Estresse pode ser conceituado como sendo um “conjunto de reações de um organismo a agressões de ordem física, fisiológica, ou de outra natureza, capaz de interferir em seu estado normal de equilíbrio (homeostase)”.

O fator responsável pela alteração do estado de equilíbrio de um organismo é designado como agente estressante. Portanto, em função da natureza do agente estressante pode-se qualificar o tipo de estresse como biótico (patógenos, insetos-praga, homem, além de outros) e abiótico (água, temperatura, nutrientes, além de outros).

Em suma, o estresse determina um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais podem ser reversíveis, em princípio, mas podem se tornar permanentes, em situações drásticas. Mesmo se uma condição de estresse apresentar caráter temporário, a vitalidade da planta

¹ Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP – 13418-900. Fone: (19) 3429-4115 – ramal: 25. fancelli@esalq.usp.br.

² Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP. 13418-900. dourado@esalq.usp.br. Bolsista CNPq.

torna-se cada vez menor conforme a duração do estado de estresse (Larcher, 2000).

Para Seyle (1973), o estresse pode ser considerado como um estado funcional ou como uma resposta dinâmica do organismo como um todo. Nesta abordagem funcional, o estudo não está restrito ao binômio estressor-resposta específica, mas também abrange efeitos não específicos diversos. O padrão de reação induzido em resposta ao estresse é característico de uma síndrome de estresse e também inclui os processos que levam à resistência. Esses processos são de natureza homeostática, normalizando as funções vitais das plantas e aumentando sua capacidade de resistência. A resposta ao estresse pode ser vista como uma situação de competição entre o esforço da planta para se adaptar e os processos potencialmente letais predominantes no protoplasma. Desta forma, a dinâmica do estresse compreende a perda de estabilidade vital ("diestresse"), bem como a promoção da resistência e do restabelecimento ("eustresse"). Portanto, coerção, adaptação e resistência são componentes inter-relacionados de um mesmo evento (Larcher, 2000).

De acordo com o conceito dinâmico de estresse, o organismo sob esse tipo de condições desfavoráveis atravessa uma sucessão de fases características.

2.1 Fase 1: Alarme

O início do distúrbio é seguido pela perda da estabilidade das estruturas (ex: proteínas biomembranas) e das funções que mantêm as atividades vitais (processos bioquímicos e metabolismo de energia). Neste contexto, a intensificação da ação do estressor resulta em um colapso agudo da integridade celular, antes mesmo que as medidas defensivas possam se tornar efetivas.

2.2 Fase 2. Resistência (ou rustificação)

A situação determinada pela manutenção da ação do agente estressor conduz o organismo estressado ao desenvolvimento de estratégias que levam à tolerância da situação instaurada, conhecida como etapa de restituição. Por outro lado, o início da neutralização do efeito de choque e da retomada das atividades vitais por parte do organismo afetado, configura-se o estado de resistência ou rustificação.

2.3 Fase 3. Ajustamento (ou aclimação)

Após a superação plena da fase crítica (quando possível) e a manifestação da devida resistência, verifica-se a restauração de um novo estado de equilíbrio ou de estabilização, designado por ajustamento.

Todavia, se o organismo for exposto, de forma intensa (aguda) e/ou prolongada (crônica), a uma situação de estresse, poderão se manifestar injúrias irreversíveis. Da mesma forma, essa mesma situação pode tornar a planta mais susceptível à ação de patógenos e insetos-praga que ocorrerão como consequência da diminuição das defesas do hospedeiro, contribuindo para o colapso prematuro do vegetal.

Ressalta-se que qualquer injúria provocada por agentes estressantes poderá ser reparada na etapa de restituição, a qual corresponde ao início da fase de resistência.

O estado de estresse envolve mecanismos específicos de resistência em todos os níveis funcionais e, em muitos casos, eles são induzidos por ação

genética diferenciada, representada pela síntese de proteínas de estresses e de isoenzimas especiais.

Da mesma forma, o estado de estresse impõe a manifestação de diferentes tipos de mecanismos não específicos ou de largo espectro, de acordo com o grau de severidade do distúrbio. Assim, as plantas, poderão promover mudanças nas atividades enzimáticas, aumentando a disponibilidade de peroxidases, catalases, glutadionas e redutases, além de outras; bem como favorecer o acúmulo de antioxidantes (ácido ascórbico e tocoferol); de substâncias osmoticamente ativas (prolina, glicina betaina e poliol); de outras substâncias de metabolismo secundário como os polifenóis e antocianinas e, sobretudo, a biossíntese de poliaminas e de alguns hormônios vegetais, como ácido abscísico, ácido jasmônico e etileno. O ácido abscísico, dentre outras funções, é responsável pela abertura e fechamento dos estômatos; pela síntese de proteínas protetoras e reparadoras das membranas celulares e pelo aumento da condutividade hidráulica das raízes. O etileno é responsável pela senescência de folhas e flores; abortamento de flores e frutos; desenvolvimento de pêlos radiculares e crescimento de plântulas, principalmente. Por outro lado, o ácido jasmônico é o hormônio vegetal que ativa os inúmeros mecanismos de defesa da planta.

Outras manifestações relacionadas às condições de estresse podem ser representadas por alterações significativas no potencial de membrana, no transporte de substâncias, aumento da respiração, redução da taxa fotossintética, redução no acúmulo de matéria seca, distúrbios no crescimento, diminuição da fertilidade e senescência prematura (Larcher, 2000).

O estresse impõe à planta um gasto energético extra, representado pelo custo metabólico despendido na biossíntese de compostos secundários e no estabelecimento das estratégias de adaptação, computado em gramas de CO_2 fixado, que deveriam ser direcionados à produção de biomassa e à manifestação do potencial produtivo da espécie.

3 Ambiente tropical de baixa altitude

A zona climática que um vegetal está submetido reflete o efeito de diferentes balanços de energia relacionados a distintas latitudes. Assim, em latitudes altas e médias predomina o clima sazonal, que, mediante alternância de balanço de energia radiante, positivo no verão e negativo, no inverno, determina estações iluminadas, quentes e com dias longos, no verão; e estações frias, pobres em radiação e com dias curtos, no inverno. Por outro lado, nas zonas tropicais (equatoriais), a duração do dia altera-se muito pouco durante o ano todo, e a maior variação térmica ocorre durante o curso do dia. Ainda, o ambiente tropical de baixa altitude, de forma geral, é caracterizado pela ocorrência de temperaturas médias diárias elevadas, incluindo valores consideravelmente altos, durante parte do período noturno, bem como de radiação intensa, alternada por períodos prolongados de significativa nebulosidade.

Na condição tropical (e/ou equatorial) a vida se processa diuturnamente, exigindo constante aclimação vegetal, bem como favorecendo a ação continuada de fungos, bactérias, nematóides e insetos pragas, principalmente. Da mesma forma, constata-se um aumento na intensidade de radiação ultravioleta (UV) em função do aumento de altitude ou de uma diminuição da latitude.

Todavia, por meio da topografia da região, o clima local (mesoclima) pode ser modificado, visto que o relevo exerce grande influência sobre alguns fatores climáticos direcionais como a radiação e o vento.

4 Principais agentes estressantes em terras baixas

4.1 Água

Normalmente, em condições tropicais de baixa altitude, ocorrem períodos prolongados de baixa disponibilidade de água designados como veranicos. Esses veranicos podem ser responsáveis por perdas expressivas de produtividade da maioria das culturas e, principalmente, do milho.

A água constitui-se num dos mais importantes elementos de seleção do tipo de vegetação que se desenvolve numa região. Desta forma, a necessidade de adequado suprimento hídrico para o pleno desenvolvimento dos vegetais, decorre das múltiplas funções que ela desempenha na fisiologia das plantas, pois, praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pela sua presença. Assim, se deficiências hídricas iniciais podem afetar sensivelmente o processo germinativo comprometendo o estabelecimento da cultura, deficiências posteriores poderão paralisar o crescimento, bem como retardar o desenvolvimento reprodutivo das plantas.

Para o milho, as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão. Todavia, no período compreendido entre a etapa de emborrachamento (pré-pendoamento) e grãos leitosos, o requerimento de suprimento hídrico satisfatório aliado a temperaturas adequadas tornam tal período extremamente crítico. Por essa razão, a mencionada fase deve ser criteriosamente planejada, com o intuito de assegurar sua coincidência com o período estacional que apresente temperaturas favoráveis (25 a 30°C) e chuvas frequentes.

A cultura do milho exige um mínimo de 400-500 mm de precipitação para que produza a contento, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação. Porém, a falta de água está associada à interferência nos processos de síntese de proteína e RNA, resultando no aumento da quantidade de aminoácidos livres e açúcar no protoplasma, principalmente. Da mesma forma, estresses hídricos podem ocasionar a redução no vigor vegetativo, na altura da planta e no índice de área foliar, bem como na produção e fertilidade do pólen e na receptividade dos estilos-estigma.

Condições de estresse representadas pela ocorrência de déficit hídrico, além de nebulosidade prolongada, deficiências nutricionais e elevada população de plantas, afeta o sincronismo pendão-espiga, com conseqüente redução do número final de grãos por espiga, principalmente pelo retardamento da emissão dos estilos-estigma (Tollenaar, 1977). Assim, pode-se inferir que, para regiões de comportamento climático muito variável, o emprego de genótipos protogínicos (*aparecimento dos estilos-estigma anterior à emissão de pólen*), poderá contribuir para a melhoria do desempenho produtivo de plantas de milho.

Para alguns autores, a ocorrência de estresses hídricos moderados, no início do desenvolvimento da cultura, pode concorrer para o estímulo de maior desenvolvimento radicular das plantas, desde que o solo abaixo de 15-20cm da superfície apresente-se abastecido com água disponível. Períodos de deficiência hídrica de uma semana por ocasião do pendramento pode promover, queda de produção ao redor de 50%, ao passo que sob as mesmas

condições, deficiência hídrica posterior à polinização acarretará danos da ordem de 25 a 32%.

O consumo de água por parte do milho, em condições normais, raramente excede $3,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, enquanto a planta estiver com menos que 7-8 folhas. Todavia, durante o período compreendido entre o espigamento e a maturação, o consumo pode se elevar para 5,0 a 7,5 mm diários. Outras observações experimentais referentes a essa cultura, evidenciam índices diários de consumo de água próximos a 10 mm, quando as plantas encontram-se submetidas a condições de intenso calor e baixa umidade relativa do ar (Daker, citado por Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Para fins de planejamento e manejo, recomenda-se considerar 4 a 5 mm.dia^{-1} , como sendo o consumo médio diário de água por parte do milho, independentemente do estágio fenológico considerado.

Cumpra também ressaltar, que a quantidade de água disponível para a cultura, encontra-se na dependência da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água do solo e da densidade radicular da planta. Assim, o manejo racional do solo e da cultura, reveste-se de suma importância para o crescimento e distribuição do sistema radicular, favorecendo o aproveitamento eficiente da água no processo produtivo.

Assim, objetivando evitar a alteração significativa do crescimento e da arquitetura da raiz, bem como ocasionar menor interferência no processo de germinação das sementes, recomenda-se o fornecimento de quantidades inferiores a 50 kg.ha^{-1} de K_2O , na semeadura, na forma de cloreto de potássio (Fancelli, 2003). Tal fato se relaciona ao efeito salino inerente à fonte de potássio mencionada, a qual pode se mostrar extremamente danosa ao desenvolvimento inicial das plantas, em função da quantidade empregada e de sua localização no sulco de semeadura. Assim, atualmente, recomenda-se distanciar o referido adubo, das sementes, no mínimo, 8-10 cm. Contudo, se a quantidade total exigida exceder 50 kg/ha , o restante deverá ser aplicado em pré-semeadura (1 a 8 semanas antes da semeadura) ou em cobertura (até a emissão da 4ª folha do milho).

Neste contexto, Fancelli (2000) relata que o desenvolvimento, crescimento, arquitetura (distribuição de raízes individuais no espaço tridimensional) e funcionamento do sistema radicular poderão ser significativamente alterados por: (i) elevada concentração de nutrientes nas camadas superficiais do solo (representada por situações onde o V% for superior a 60%, acompanhado de baixa concentração de nutrientes em camadas mais profundas); (ii) revolvimento excessivo do solo (desestruturação do solo); (iii) baixa aeração (encrostamento e/ou compactação e/ou encharcamento do solo, resultando na baixa disponibilidade de oxigênio); (iv) elevada concentração de alumínio tóxico (impedimento químico); (v) temperaturas elevadas no ambiente radicular ($>39^\circ\text{C}$) e acentuadas amplitudes térmicas; (vi) acentuada disponibilidade pontual e temporal de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio); (vii) baixa disponibilidade de nitrogênio nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas (principalmente na forma amoniacal); (viii) deficiência de boro (solo); (ix) ausência de cálcio ao longo do perfil do solo (sobretudo na forma de sulfato de cálcio) e (x) índices elevados de salinidade de sulco (proporcionado pelo uso de quantidades elevadas de cloreto de potássio na semeadura, superiores a 50 kg/ha de K_2O).

As evidências acima mencionadas, além de se constituírem em fatores de estresse, dificultarão o aproveitamento de água e nutrientes por parte da planta, com conseqüente redução de seu potencial produtivo.

Entretanto, para estimar o fator umidade no clima de uma região, não bastam as informações de precipitação pluvial, é indispensável considerar as perdas hídricas através da evapotranspiração.

A evapotranspiração pode ser definida como potencial e real. A primeira considera a perda natural da água para a atmosfera, de um solo inteiramente vegetado, sem restrições de umidade, ao passo que a segunda diz respeito à quantidade real de água que retorna à atmosfera, conforme o estado de umidade do solo.

O cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite é baseado em dados de temperatura média e da latitude do lugar, valendo-se para tanto de monogramas e tabelas apropriadas.

Assim, um balanço entre esses processos meteorológicos opostos - a precipitação e a evapotranspiração - denominado Balanço Hídrico, pode indicar de forma mais consistente a disponibilidade hídrica de uma região, no decorrer do ano. Sua implementação contribuirá, efetivamente, no planejamento da cultura, além de propiciar o fornecimento de valiosas informações concernentes à prática da irrigação.

A expansão foliar, conforme relatado por Hasegawa (2004), é um processo movido pelo turgor e extremamente sensível ao déficit hídrico. A expansão celular é descrita pela seguinte equação:

$$GR = m(\Psi_p - Y)$$

em que: **GR** é a taxa de crescimento; **Ψ_p** é o turgor; **Y** é o limiar de resistência à deformação da parede celular e **m** é a extensibilidade da parede (reação da parede à pressão).

A avaliação da equação apresentada demonstra que um decréscimo do turgor da célula resulta no decréscimo de sua taxa de crescimento. O estresse hídrico diminui não apenas o turgor, mas também **m**, além de aumentar **Y**. Ainda, a extensibilidade da parede (**m**) normalmente é maior quando a solução da parede é ligeiramente ácida. Em parte, durante o estresse hídrico ocorre um decréscimo do valor da variável **m**, visto que o **pH** da parede celular se eleva.

Plantas com déficit hídrico tendem a manifestar uma expansão foliar somente à noite, quando se retomam seu equilíbrio hídrico. Ainda, conclui-se que a inibição da expansão celular resulta na redução da taxa de expansão foliar, no início da ocorrência do déficit hídrico, objetivando a garantia de menor área transpiratória.

Outras estratégias utilizadas pela planta objetivando a tolerância ao estresse hídrico, além da redução da expansão foliar, merecem especial destaque: (i) crescimento preferencial das raízes em zonas do solo que permanecem úmidas, mediante alocação direta e preferencial de assimilados; (ii) fechamento dos estômatos, mediante ativação das células-guarda; (iii) Síntese de ABA (ácido abscísico) e sua liberação para o apoplasto; (iv) ajustes osmóticos, determinados por substância como prolina, alcóois de açúcar – manitol e sorbitol, além de uma amina quaternária, a glicina betaína.; (v) Espessamento da cutícula e aumento da deposição de cera na superfície da folha; (vi) diminuição no tamanho das folhas; e (vii) enrolamento de folhas, além de outras.

4.2 Temperatura

Um agroecossistema tropical é constantemente submetido ao aquecimento excessivo, acompanhado ou não de deficiência hídrica, como resultado do influxo de energia característico desse tipo de região. O calor acelera o nível de excitação dos átomos; estimulam as ligações químicas formando as moléculas, fragilizam estruturas e tornam mais fluidas as camadas de lipídios das biomembranas. A ação contundente do calor, porém, é função da intensidade e da duração da referida condição.

A maioria dos tecidos das plantas cultivadas é incapaz de sobreviver a uma prolongada exposição a temperaturas acima de 45°C. Estresses hídricos e térmicos encontram-se relacionados, pois a adequada disponibilidade de água, mediante esfriamento evaporativo, evita que a temperatura da parte aérea das plantas suplante o valor de 45°C.

Plantas apresentando metabolismo C₃ e C₄, são resfriadas pelo processo de transpiração. Esse mecanismo, no entanto, pode ser prejudicado, quando os vegetais encontram-se à temperatura ambiente, sob luz solar plena, próximo ao meio-dia, e a deficiência de água no solo provoca o fechamento parcial dos estômatos ou quando a elevada umidade relativa do ar reduz a taxa transpiratória, diminuindo o potencial de esfriamento evaporativo.

O estresse térmico apresenta maior nível de dano quando aliado à baixa velocidade de circulação de ar e/ou elevada umidade relativa do ar, no ambiente de produção, dificultando a taxa de resfriamento da planta.

Com relação ao milho, inúmeras evidências experimentais apontam que a temperatura constitui-se em um dos fatores de produção mais importante e decisivo para seu desenvolvimento, crescimento e desempenho; embora a água e demais componentes climáticos exerçam diretamente sua influência no processo (Tollennar et al., 1979 e Andrade, 1992).

Assim, regiões cuja temperatura média diária for inferior a 19°C e noites com temperaturas médias abaixo de 12,8°C, não são recomendadas para a referida espécie.

Temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores a 42°C prejudicam sensivelmente o processo de germinação, ao passo que, aquelas situadas entre 25 e 30°C propiciam as melhores condições para o desencadeamento da germinação das sementes e emergência das plântulas.

A produtividade do milho pode ser significativamente reduzida, bem como ser alterada a composição protéica dos grãos, quando o mencionado cereal for submetido a temperaturas superiores a 35°C, na etapa de enchimento de grãos. Tal efeito está relacionado à diminuição da atividade da nitrato-redutase, acarretando consequentemente interferência no processo de assimilação do nitrogênio por parte da planta (Hasegawa, 2004).

Da mesma forma, a elevação da temperatura contribui para a redução da taxa fotossintética líquida em função do aumento da respiração, afetando diretamente o potencial produtivo da cultura.

Neste contexto, temperaturas elevadas prevalentes no período noturno (>24°C) promovem um consumo energético elevado, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda no rendimento da cultura.

A fotossíntese e a respiração são inibidas sob temperaturas elevadas, porém com o aumento da temperatura as taxas fotossintéticas decrescem mais rapidamente que as taxas respiratórias. A temperatura na qual a quantidade de

CO₂ fixado pela fotossíntese iguala à quantidade de CO₂ liberado pela respiração, em um determinado intervalo de tempo, é denominado de ponto de compensação.

Sob temperatura acima do ponto de compensação, a fotossíntese não apresenta capacidade de reposição do carbono usado como substrato para a respiração. Como consequência, as reservas de carboidratos diminuem, resultando na redução do número e na densidade de grãos. Ainda, cumpre salientar que taxas de respiração elevadas, em relação à fotossíntese, sob temperaturas altas, são mais prejudiciais em plantas C₃ do que em plantas C₄ ou CAM, pois as taxas de respiração no escuro e fotorrespiração são aumentadas em plantas C₃ sob temperaturas mais elevadas.

Recentes pesquisas demonstram que plantas e genótipos adaptados a temperaturas amenas ou baixas apresentam reduzida capacidade adaptativa a ambientes de temperaturas altas.

Temperaturas elevadas causam alterações reversíveis no estado físico-químico das biomembranas e na conformação das moléculas de proteínas. Neste contexto, temperaturas elevadas provocam um decréscimo na força das ligações de hidrogênio e das interações eletrostáticas entre os grupos polares de proteína presentes na fase aquosa da membrana. Por essa razão, evidencia-se a alteração na composição e na estrutura das membranas, resultando na perda de íons.

As plantas podem sobreviver ao calor excessivo por meio da proteção (prevenção) e da dissipação em relação ao calor, bem como em função da capacidade do protoplasma de tolerar temperaturas elevadas (>35°C). Mecanismos específicos de resistência envolvem todos os níveis funcionais e em muitos casos eles são induzidos por uma ação genética diferenciada, como síntese de proteínas de estresses e isoenzimas especiais.

Assim, a maneira mais efetiva de proteção ao calor é proporcionada por proteínas específicas, denominadas de Proteínas de Choque de Calor (PCC) ou *Heat Shock Proteins* (HSP), as quais são rapidamente transcritas pelo núcleo celular, sintetizadas no citoplasma e transferidas para os cloroplastos e para as mitocôndrias (Morimoto, 1993). As PCCs apresentam massas moleculares variáveis entre 15 e 104 kDa (quilodáltons) e, com base em seus tamanhos elas podem ser agrupadas em seis classes e localizadas no núcleo, mitocôndrias, cloroplastos, retículo endoplasmático e citosol (Hasegawa, 2004).

A função que as PCCs exercem na tolerância ao calor está aparentemente relacionada à estabilização das estruturas da cromatina e das membranas, bem como à promoção de mecanismos de reparo. Essas proteínas desaparecem em poucas horas após a neutralização do fator de estresse.

Ainda, o estresse térmico pode alterar a taxa de reações metabólicas que consomem e produzem prótons; isso pode afetar a atividade de ATPases de bombeamento de prótons, que bombeiam prótons do citosol para apoplastos ou vacúolos. Esse fato provocaria uma acidificação no citossol, que causaria perturbações metabólicas adicionais durante o estresse, pois normalmente o pH do citossol é levemente alcalino. A calmodulina, substância sinalizadora à base de cálcio, pode contribuir para reverter tal situação.

A resistência ao calor e à seca, depende das mesmas adaptações de parte aérea, tais como: presença de tricomas (pelos) foliares reflexivos, presença de

ceras, ações de enrolamento de folhas, redução do tamanho de folhas, além de outras.

Todavia, recentes trabalhos de pesquisa, como aquele realizado por Musatenko et al. (2003), demonstraram que plântulas de milho mais tolerantes a temperaturas mais altas apresentavam maior conteúdo de ABA e Citocininas em comparação às plântulas de genótipos mais sensíveis, as quais frequentemente apresentavam anormalidades na estrutura lamelar dos cloroplastos. Da mesma forma, Larcher (2000), relata a importância da sílica na proteção da planta contra o calor excessivo e o fogo, em muitos habitats naturais.

4.3 Radiação solar

Com relação à radiação solar, a cultura do milho responde com altos rendimentos a crescentes intensidades luminosas, em virtude de pertencer ao grupo de plantas de metabolismo "C₄", o que lhe confere alta produtividade biológica.

Todavia, radiação intensa, em valores acima do ideal, correspondente à quantidade de energia fotoquímica superior à capacidade de assimilação dessa energia pela planta, durante a fotossíntese, pode resultar na sua baixa utilização quântica, bem como provocar a inibição do processo assimilatório.

Radiação intensa, além de pode causar injúria diretamente nas membranas dos tilacóides e destruir os pigmentos fotossintéticos, também pode contribuir para o favorecimento de concentrações tóxicas de íons ou de metais pesados, com efeito imediato sobre as proteínas enzimáticas.

A fotodestruição de um cloroplasto nas camadas superiores do parênquima palissádico, pode ser considerado um evento comum em condições de estresse, sendo responsável pela significativa redução da capacidade fotossintética das folhas, principalmente na fase de senescência.

Injúrias extensas em tecidos que contêm cloroplastos não são raras e são reconhecidas por meio de manchas descoloridas, acompanhadas ou não por micro-fissuras, nas áreas voltadas para o sol, comumente conhecidas como escaldaduras.

Determinadas espécies, como o milho, apesar de estarem preparadas para tolerar elevados índices de radiação, também poderão ser passíveis de fotoinibição e/ou fotodestruição caso a transferência de energia para o ciclo de Calvin seja impedida ou afetada por alguma razão. Situações desse tipo podem ser comuns caso a planta tenha sofrido um estresse prévio ou um estresse adicional, notadamente se estiver relacionado ao excesso de calor, frio, seca, deficiência de nitrogênio e de micronutrientes (Mn, Zn e Cu).

O principal sítio de anomalias provocadas pela radiação intensa, é o fotossistema II, onde determinados tipos de proteínas são degradadas. Nessa situação, o transporte de elétrons é interrompido e a eficiência fotossintética é significativamente reduzida. (Demming-Adams & Adams, 1992).

Condições desfavoráveis à fotossíntese, relacionadas à radiação intensa, também podem promover o acúmulo de compostos ricos em oxigênio, de natureza deletéria, que destroem os pigmentos dos cloroplastos e a porção lipídica das membranas.

Além dos efeitos da radiação intensa como agente estressante, o aumento da absorção de radiação ultra-violeta (RUV) também poderá causar distúrbios significativos no metabolismo vegetal, mediante processos foto-energéticos.

A energia solar que atinge a Terra é constituída por um conjunto de radiações cujos comprimentos de onda variam de forma, aproximadamente contínua, desde 0,2 a 4 *micra*. O referido conjunto de radiações é denominado de espectro solar. A radiação fotossinteticamente ativa é aquela que induz resposta ao processo da fotossíntese, sendo geralmente relacionada aos limites de 0,4 a 0,7 *micron*.

As radiações de valor fisiológico, presentes no espectro usado na fotossíntese, são absorvidas, primariamente, pela clorofila e, em seguida, utilizada na transformação de CO₂ em carboidratos. O pigmento primário, a clorofila A, é um composto de cadeia tetra-pirrólica unida ao íon magnésio, a qual se encontra concentrada nos *grana* dos cloroplastos. A clorofila B (pigmento acessório) possui estrutura semelhante, porém seu teor de clorofila A corresponde a 1/3, na maioria dos vegetais.

O espectro solar contém determinado tipo de radiação nociva denominada de ultra-violeta (UV). A radiação ultravioleta pode ser classificada como UV-A (315-400nm) e UV-B (280-315nm).

Na natureza, a radiação UV-B ocorre em baixas intensidades, mas poderia ser esperado um aumento se o efeito de filtração de camada de ozônio na estratosfera fosse reduzido de maneira significativa devido à emissão de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonos halogenados.

Cumprе salientar que intensidade de radiação UV que atinge a superfície terrestre pode ser amplificada em função do aumento de altitude ou da diminuição da latitude.

A maior parte da radiação UV que penetra nas células é absorvida e causa injúrias agudas devido à alta quantidade de energia que possui. O comprimento de onda longo UV-A atua, principalmente, como foto-oxidante e a radiação UV-B, além deste efeito, também causa lesões nas biomembranas.

Os danos causados pela radiação ultra-violeta (UV) na planta podem ser identificados pelas mudanças na atividade enzimática (aumento da atividade da peroxidase e inibição da citocromo-oxidase); pelo baixo estado energético da célula (parada da corrente citoplasmática); pelo baixo rendimento fotossintético e pelo crescimento anormal dos vegetais (redução no crescimento em extensão, deformação de folhas e redução no alongamento do tubo polínico).

As células dos vegetais superiores são protegidas da ação dos raios UV devido à efetiva absorção de UV pela camada de cutina, pelo grau de suberização da epiderme e por compostos fenólicos presentes no protoplasma, principalmente flavonóides (Day, 1993).

Ainda, por outro lado, em ambientes tropicais também pode ocorrer períodos prolongados de acentuada nebulosidade, a qual afeta consideravelmente a vida vegetal, principalmente das plantas de metabolismo C₄, como o milho.

A redução de 30 a 40% da intensidade luminosa, na cultura do milho ocasiona um atraso na maturação dos grãos, principalmente em materiais genéticos de ciclo tardio, que se mostram mais sensíveis à carência de luz. Contudo, a maior sensibilidade à estresse de luminosidade é verificada no início da fase reprodutiva, ou seja, no período correspondente a 12-17 dias após o florescimento. Nessa fase, a redução da disponibilidade de radiação luminosa resulta na redução da densidade de grãos e no aumento da taxa de grãos ardidos, além de favorecer a incidência de doenças de colmo e de espigas, conforme relatado por Fancelli & Dourado Neto (2000).

4.4 Assimilação de nutrientes

A assimilação de nutrientes geralmente necessita de grandes quantidades de energia para a conversão dos compostos inorgânicos de baixa energia em compostos de alta energia. Assim, conforme relatado por Bloom, (1997) e citado por Taiz & Zeiger (2004), a redução do nitrato para nitrito e este em amônio, requer a transferência de 10 elétrons e responde por cerca de 25% do total de energia consumida pelas raízes e parte aérea. Assim, conclui-se que o milho pode utilizar um quarto da energia disponível para assimilar o nitrogênio, apesar de se constituir apenas 2 a 3 % do total de matéria seca da planta. Face ao exposto, conclui-se que em condições tropicais a disponibilidade satisfatória de molibdênio (redutase do nitrato), manganês e cobre (cadeia de elétrons), além do fósforo (ATP) são fundamentais para a melhoria da eficiência da assimilação de nutrientes, sobretudo do nitrogênio, em se tratando da cultura do milho.

O estado de estresse, segundo Atkinson & Walton (1967), pode ser relacionado à diminuição intracelular da disponibilidade de energia (devido a distúrbios metabólicos) ou ao aumento do consumo de energia em função da síntese para reparação. O não acoplamento das reações de fosforilação significa que menos ATP é formado, mesmo em meio ao aumento da respiração.

O estado de energia nos vegetais (CEA – carga energética de adenilato) pode ser determinado pela seguinte expressão matemática:

$$CEA = [ATP] + 0,5[ADP] / [ATP] + [ADP] + [AMP]$$

Se o valor de CEA for inferior a 0,6 caracteriza a diminuição da relação ATP/ADP e indica significativo grau de redução da vitalidade da planta. Essa situação impõe ao vegetal considerável dificuldade na absorção e assimilação de nutrientes, em geral, sobretudo em meio à baixa concentração do elemento considerado na solução do solo e à disponibilidade inadequada de água.

A maioria das reações de assimilação ocorre no estroma do cloroplasto, onde é submetida a poderosos agentes redutores, tais como o NADPH, a tioredoxina e a ferredoxina, formados por ocasião da etapa de transporte de elétrons no processo fotossintético (fotoassimilação).

A fotoassimilação e o ciclo de Calvin ocorrem no mesmo compartimento e exigem níveis satisfatórios de luminosidade e baixas concentrações de CO₂. Por essa razão as plantas C₄, como o milho, realizam a maior parte da fotoassimilação nas células do mesófilo, onde as concentrações de dióxido de carbono são baixas (Becker et al., 1993).

5 Estratégias de produção de milho em terras baixas

Face aos efeitos limitantes impostos pelas diferentes condições de estresse relacionadas ao ambiente tropical de baixa altitude, anteriormente discutidos, as principais estratégias para a produção racional de milho, nessas condições, deverão considerar, principalmente: (i) escolha criteriosa do genótipo de forma a evitar a amplificação dos níveis de estresse da planta; (ii) adequação do genótipo ao ambiente de produção e à época de semeadura, objetivando a redução da taxa de respiração desnecessária, bem como a prevenção de estresse biótico (principalmente pragas e doenças); (iii) favorecimento ao desenvolvimento do sistema radicular; (iv) evitar a concentração de nutrientes na camada superficial do solo, representada pela

geração de camadas apresentando transição abrupta de valores de saturação por bases e *pH*; (v) adoção do Sistema de Plantio Direto, objetivando maior conservação de água, maior taxa de micorrização, maior disponibilidade de fósforo e redução da amplitude térmica do solo; (vi) uso de adubação equilibrada, assegurando satisfatório nível de cálcio e enxofre na sementeira; (vii) fornecimento total ou parcial do Potássio exigido em pré-semeadura; (viii) uso de 40 a 50 kg/ha de nitrogênio na sementeira, preferencialmente na forma amoniacal; (ix) antecipação no fornecimento de nitrogênio às plantas; (x) aplicação foliar de Molibdênio (Mo), na 3ª/4ª folha, objetivando a manutenção da atividade da redutase-nitrato em nível satisfatório; (xi) Aplicação foliar de Manganês (Mn) e Cobre (Cu), por ocasião da emissão da 3ª/4ª e da 7ª/8ª folha do milho, visando evitar anormalidades no fotossistema II da fotossíntese, em meio à radiação intensa, bem como reduzir a incidência de pragas e doenças pela síntese de fenóis, quinonas e fitoalexinas; (xii) utilização de bioestimulantes ou fitohormônios, sobretudo citocininas, ácido abscísico, giberilinas e auxinas, de forma a estimular o desenvolvimento radicular, equilibrar a relação raiz/parte aérea e aumentar a tolerância ao calor por parte das plântulas; (xiii) Evitar o emprego de insumos ou defensivos danosos à cutícula e à camada de cera presente nas folhas; (xiv) Incorporar ao sistema de produção fontes de sílica e de fosfito e (xv) Implementar o enfoque sistêmico e integrado de manejo.

6 Considerações finais

A espécie *Zea mays* é considerada como uma das plantas mais bem dotadas fisiologicamente, bem como de elevada capacidade produtiva. Todavia, a manifestação desses atributos depende das condições presentes no ambiente de produção.

Assim, o conhecimento e o respeito às exigências da espécie, o reconhecimento das limitações locais e a visão sistêmica da atividade, aliado ao estabelecimento de estratégias de manejo racionais e eficientes, assume caráter imperioso, na garantia de rendimentos lucrativos e sustentáveis.

7 Referências bibliográficas

- ANDRADE, F.H. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. Instituto Nacional de tecnologia agropecuária. Balcarce, Argentina. 34p. 1992. (Boletín Técnico, 106).
- BECKER, T.W.; PERROT-RECHENMANN, C.; SUZUKI, A.; HIREL, B. Subcellular and immunocytochemical localization of the enzymes involved in ammonia assimilation in mesophyll and bundle-sheath cells of maize leaves. *Planta*. v.19, p.129-136. 1993.
- DAY, T.A. Relating UV-B radiation screening effectiveness of foliage to absorbing-compound concentration and anatomical characteristics in a diverse group of plants. *Oecologia*, v.92, p.513-519. 1993.
- DEMING-ADAMS, B.; ADAMS, W.W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* v.43, p.599-626. 1992.
- FANCELLI, A.L. Plantas Alimentícias: guia para aula, estudo e discussão. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". ESALQ/USP, 1986. 131p.

- FANCELLI, A.L.; Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba. ESALQ/USP. 172 p. 1988 (Tese de Doutorado).
- FANCELLI, A.L. Escolha do tipo de cultivar de milho. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Piracicaba. 8p. 1989.
- FANCELLI, A.L. Milho e feijão: Elementos para manejo em agricultura irrigada. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Piracicaba. 14p. 1994.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Coord.) Tecnologia da produção de Milho. Piracicaba, ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, 1997. 174p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Tecnologia da produção de Milho. Piracicaba, FEALQ, 1999. 301p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Produção de Milho. Guaíba, Editora Agropecuária, 2000. 360 p.
- FANCELLI, A.L.; Tecnologia da Produção de Milho. Passo Fundo, Editora Aldeia Norte, 2003. 460p. (Curso de atualização de conhecimentos à distância).
- HASEGAWA, P.M. Fisiologia do estresse. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3a ed. Artmed Editora. Porto Alegre. 719p. 2004.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. Rima-Artes & Textos. São Carlos. 2000. 531p.
- MORIMOTO, R.I. Cells in stress: transcriptional activation of heat shock genes. **Science**. v.259, p.1409-1410. 1993.
- MUSATENKO, L.I.; VEDENICHEVA, N.P.; VASYUKA, V.A.; GENERALOVA, V.N.; MARTYN, G.I.; SYTNIK, K.M.. Phytohormones in seedlings of maize hybrids differing in their tolerance to high temperatures. **Russian Journal of Plant Physiology**. v.50, n.4, p.444-448,. 2003.
- SEYLE, H. The evolution of the stress concept. **Am. Sci.** v.61, p.693-699. 1973.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3a ed. Artmed Editora. Porto Alegre. 719 p. 2004.
- TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short season environment. **Agronomy Journal**. v.70, p.219-23, 1977.
- TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B.; HUNTER, T.B. Effect of temperature sensitive period for leaf number of maize. **Crop Science**, v.23, p.457-460, 1979.
- UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen and carbonum accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**, v.35, p.183-190. 1995.

POPULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS DE MILHO

Pedro Abel Vieira Junior¹; Durval Dourado Neto²; Antonio Luiz Fancelli³; Paulo Augusto Manfron⁴; Carlos Rodrigues Pereira⁵

1 Introdução

No Brasil, o milho é cultivado em mais de 13 milhões de hectares, e, apesar de sua concentração nos Estados da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, a produção nacional apresenta grande variabilidade de oferta ambiental e tecnologia da produção (Conab, 2005). Corroborando essa afirmação destaca-se que, enquanto o rendimento médio brasileiro é da ordem de 3.000 kg.ha⁻¹, a média mundial é de, aproximadamente, 6.500 kg.ha⁻¹.

Dentre os diversos fatores que contribuem para essa realidade, destaca-se a questão da população e distribuição espacial de plantas. No caso brasileiro, tradicionalmente o espaçamento entre linhas adotado pela maioria dos produtores concentra-se entre 0,80 e 0,90 m, devido, principalmente, à inadequação das colhedoras em sistemas que adotam espaçamentos inferiores a 0,80 m. Entretanto, atualmente, há disponibilidade no mercado brasileiro de semeadoras e colhedoras que permitem a adoção de espaçamentos entre linhas de até 0,45 m, que viabilizou a utilização de até 72.000 plantas de milho por hectare, sob espaçamento entre linhas de 0,55 m, com aumento de produtividade (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Em razão do aumento na interceptação de luz e do melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis, acréscimos na produtividade podem ser obtidos pelo aumento da densidade de semeadura associado à redução do espaçamento entre linhas. A redução da competição inter e intra-específica por esses fatores de produção, obtido pelo melhor arranjo espacial entre as plantas, dá-se pelo aumento da área foliar por unidade de área a partir dos estádios fenológicos iniciais (Johnson et al., 1998; Molin, 2000). Cita-se como exemplo dados de período superior a dez anos em áreas de produção comercial no Estado de Ohio, nos quais o incremento médio de rendimento de grãos de milho alcançado pela redução do espaçamento de 0,76 m para 0,50 m foi de, aproximadamente, 340 kg.hectare⁻¹. Ainda, pesquisas de várias regiões daquele país indicam que o uso de espaçamentos entre 0,38 m e 0,50 m entre fileiras proporcionam um incremento de 5% na produtividade média, quando comparado com espaçamentos de 0,76 m (Farnham et al., 2002a e b).

¹ Pesquisador, M.Sc., Embrapa SNT, Caixa Postal 151. Sete Lagoas, MG, 35.900-470. pavieira@cnpms.embrapa.br.

² Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP. 13418-900. dourado@esalq.usp.br. Bolsista CNPq.

³ Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP – 13418-900. Fone: (19) 3429-4115 – ramal: 25. fancelli@esalq.usp.br.

⁴ Prof. Titular, PhD, Departamento de Bioclimatologia, UFSM.

⁵ Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Professor Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais. Km 7, s/n. Caixa Postal 74516. Departamento de Ciências Ambientais. Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 23.890-000.

1.1 Rendimento, população e distribuição espacial de plantas

No caso do Brasil, em Lavras/MG, a avaliação de 10 genótipos em três espaçamentos (0,45; 0,70 e 0,90 m), combinados em três populações de plantas (55, 70 e 90.000 plantas.ha⁻¹), demonstrou que o espaçamento entre linhas de 0,70 m proporcionou produtividade de grãos 17% superior ao espaçamento de 0,90 m e 33% superior ao espaçamento de 0,45 m. Este último espaçamento, combinado com 70.000 plantas.ha⁻¹, proporcionou produção média 4,8% superior à obtida na combinação com 55.000 plantas.ha⁻¹, podendo-se considerar que, naquelas condições, a redução do espaçamento permitiu o aumento da população final para incremento em produtividade (Sergio et al., 2002).

Em outro exemplo do rendimento de grãos de milho, em Lages/SC, a comparação de dois híbridos duplos das décadas de 70 e 80, com arquitetura de folha prostada e grande número e comprimento de folhas, com um híbrido simples da década de 90, com folhas mais curtas, eretas e em menor número, submetidos ao mesmo espaçamento e às populações de 25, 50, 75 e 100.000 plantas.ha⁻¹, demonstrou que a resposta da produtividade de grãos ao incremento da população foi quadrática para os todos os híbridos testados e o híbrido simples foi mais exigente, requerendo 85.000 plantas.ha⁻¹ para maximizar a produtividade de grãos. Na maior densidade, 5% das plantas dos híbridos duplos não produziram espigas, enquanto todas as plantas do híbrido simples produziram, em razão da sincronia no desenvolvimento floral, minimizando a natureza protândrica da planta em altas densidades. Ainda, a arquitetura foliar ereta do híbrido simples favoreceu a interceptação de radiação, minimizando o sombreamento entre folhas, o que aumentou a disponibilidade de carboidratos durante a floração, suportando o desenvolvimento das espigas e grãos em alta densidade (Sangoi et al., 2001; Sangoi et al., 2002).

Considerando o exposto é possível inferir que a resposta dos genótipos à população e distribuição espacial de plantas é variável em função das condições ambientais, pois, híbridos de milho cultivados, nos Estados Unidos da América, com de 70.000 plantas.ha⁻¹ sob dois espaçamentos (0,38 e 0,76 m), durante três safras consecutivas, no mesmo dia e local em cada safra, apresentaram produtividades variáveis em função da oferta ambiental anual, entretanto, o menor espaçamento resultou em produtividade média 3% superior (Farnham et al., 2002b). No caso brasileiro, Palhares (2003) avaliando o rendimento de grãos em genótipos de arquitetura foliar prostada, semi-ereta e ereta verificou que até 60.000 plantas.ha⁻¹, independentemente do genótipo, a produtividade de grãos é crescente com o aumento da população de plantas, mas, o aumento de 60.000 para 90.000 plantas.ha⁻¹ provocou incremento no rendimento de grãos genótipo de arquitetura ereta, estabilidade nos genótipos de arquitetura semi-ereta e prostada. Ainda, com população de 90.000 plantas.ha⁻¹, a redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m entre fileiras de plantas teve efeito positivo no rendimento de grãos em genótipo de arquitetura foliar prostada.

Considerando o exposto sobre rendimento de grãos, população e distribuição espacial de plantas, é possível inferir que a baixa densidade de plantas reduz a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta, mas reduzindo a produtividade por área (Sangoi, 2001). Com o aumento da população de plantas há redução no tamanho das

espigas, diminuindo também seu índice por planta, entretanto, há compensação na produção, pelo aumento do número de plantas por área. Por outro lado, o adensamento excessivo incrementa a competição intra-específica, o que estimula a dominância apical, aumentando a esterilidade feminina e limitando a produção de grãos por área (Fornasier Filho, 1992). O comportamento descrito pode ser observado na Figura 1, onde a produção de grãos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) aumenta linearmente com o aumento da população de plantas, até um ponto denominado "ponto crítico", o qual varia entre 30 e 90.000 plantas.hectare⁻¹, devido à produção de grãos por planta permanecer constante, nessa faixa de população não há competição intra-específica. Acima da população crítica, devido à competição intra-específica, a produção por planta decresce determinando um ponto de máxima produção por unidade de área (Dourado Neto et al., 2001). Essas questões, relacionando arquitetura do dossel com população e distribuição espacial de plantas, serão tratadas no tópico 2, enquanto as relações entre arquitetura do dossel e localização geográfica serão tratadas no tópico 3.

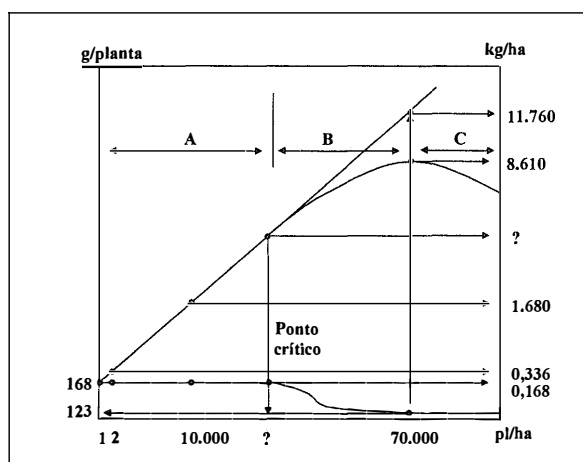


Figura 1. Variação da produção de milho por unidade de planta ($\text{g} \cdot \text{pl}^{-1}$) e por unidade de área ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função da população de plantas (Dourado Neto et al., 2001).

2 Arquitetura do dossel e distribuição espacial de plantas

Analisando-se os avanços obtidos na agricultura mundial verifica-se que os incrementos de rendimentos nas principais espécies vegetais cultivadas não são decorrentes da melhoria na produção fotossintética, mas sim da melhor partição de fotoassimilados com ênfase às partes de aproveitamento econômico, pois, cultivares antigos apresentam produção biológica bastante próxima às cultivares recentes (Machado, 1985; Andrade et al., 1991; Duvick, 1992). A melhoria do processo de fotossíntese é complexa e apresenta como principal limitação o fato da enzima Rubisco apresentar afinidade tanto a CO_2 quanto a O_2 , o que foi vantagem nos primórdios da vida quando a atmosfera era rica em CO_2 . Apesar da reduzida alteração da enzima Rubisco, fato que

demonstra a complexidade para a melhoria de eficiência da fotossíntese, a evolução das espécies resultou em mecanismos de concentração de CO₂, a exemplo de plantas C4 em que a enzima PEP apresenta afinidade apenas a CO₂. As plantas C4, tendo o milho como exemplo, desenvolveram processos que otimizam a fixação de CO₂ e, conseqüentemente, a utilização de água e de nitrogênio, além de sua produção fotossintética, em condições naturais, não apresentar saturação à radiação (Dourado Neto et al., 2001; Horton, 2000; Vieira Jr., 1999; Andrade et al., 1991).

Considerando as dificuldades inerentes à melhoria no processo de fixação do CO₂, sugerem-se alterações na arquitetura do dossel com ênfase na otimização da interceptação e uso pela fotossíntese da radiação (Larcher, 1995; Machado, 1995; Sachulze & Caldwell, 1995; Horton, 2000). Assim, a produção dos vegetais depende de fatores extrínsecos e intrínsecos à planta. Como exemplo de extrínsecos, cita-se a disponibilidade de CO₂, de água, de nutrientes e de radiação, os quais, com exceção da radiação, podem ser manejados pelo Homem e, portanto, não se constituem em empecilho ao aumento de produtividade (Machado, 1985; Duvick, 1992; Machado et al., 2001).

A radiação solar incidente no topo da atmosfera, radiação global diária (Ro, MJ.m⁻².dia⁻¹), em um local caracterizado pela latitude (Φ , °), segundo Pereira et al (1997) e Vianello (2000), é função da declinação solar (δ , °) e do ângulo horário ao nascer do sol (H, °),

$$\delta = 23,45 * \sin[360/365 * (284 + J)]$$

$$H = \arccos(-\tan \phi * \tan \delta)$$

e, desconsiderando a atenuação pela atmosfera, pode ser estimada pela equação

$$R_o = 37,586 * D_r * (\pi/180 * H * \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \sin H)$$

em que Dr refere-se a distancia relativa da terra ao sol em determinado dia juliano (J, dia) sendo estimado por

$$D_r = 1 + 0,033 * \cos(360/365 * J)$$

A radiação global diária (Ro, MJ.m⁻².dia⁻¹) ao passar a atmosfera interage com seus componentes resultando na radiação global incidente sobre uma superfície horizontal na superfície da terra (Rg, MJ.m⁻².dia⁻¹), estimada por

$$R_g = R_o * (0,29 \cos \phi + 0,52 * \frac{n}{N})$$

em que $\frac{n}{N}$ refere-se à duração do brilho solar medido (n, horas) e $\frac{n}{N}$ ao fotoperíodo (N, horas) estimado por

$$N = \frac{2H}{15}$$

Considerando a porção refletida da radiação incidente sobre o dossel, estima-se a porção absorvida e/ou transmitida pelo dossel (Rg_{Dossel}, MJ.m⁻².dia⁻¹) por

$$R_{g_{Dossel}} = R_g * \left[1 - 0,0557 * \left(\frac{2}{1 + 1,6 * \sin Z} \right) \right]$$

em que Z é o ângulo de incidência da radiação solar, ou zênite (Z , °), em determinado horário, caracterizado pelo ângulo horário (h , °), dia (J) e local (Φ , °), sendo dado por

$$\sin Z = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cosh$$

A radiação na superfície terrestre é composta pela fração direta, ângulo de incidência igual ao ângulo solar, e difusa, incidência em diferentes ângulos, sendo que a proporção da radiação difusa (R_{gdf} , MJ.m⁻².dia⁻¹) na radiação da superfície terrestre (R_g , MJ.m⁻².dia⁻¹) depende, principalmente, da composição atmosférica, época do ano e período do dia. Entretanto, segundo Spitters et al (1986A), a fração difusa na radiação da superfície terrestre (τ_{df}) pode ser estimada em função da transmitância na atmosfera (τ_a) por

$$\tau_{df} = 1 \quad \text{Se } \tau_a < 0,07$$

$$\tau_{df} = 1 - 0,23 * (\tau_a - 0,07)^2 \quad \text{Se } 0,07 \leq \tau_a < 0,35$$

$$\tau_{df} = 1,33 - 1,46\tau_a \quad \text{Se } 0,35 \leq \tau_a < 0,75$$

$$\tau_{df} = 0,23 \quad \text{Se } \tau_a \geq 0,75$$

Da radiação no dossel ($R_{gDossel}$, MJ.m⁻².dia⁻¹), cujo espectro está entre 300 a 3000 nm, a faixa entre 400 a 700 nm é fotossinteticamente ativa, correspondendo entre 45 e 55% da radiação global ao nível do solo (R_g , MJ.m⁻².s⁻¹) para dias claros e nublados, respectivamente, sendo 50% mais apropriado (Spitters et al, 1986A). Assim, a produção fotossintética é função do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR, $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), estimada como 50% radiação no dossel ($R_{gDossel}$, MJ.m⁻².dia⁻¹), sendo a razão entre as grandezas MJ.m⁻².dia⁻¹ e $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ igual a 2,02, considerando a unidade de tempo dias e segundos. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR, $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), também é composta das frações direta e difusa, sendo a proporção de radiação PAR difusa (PAR_{df} , $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na radiação PAR total dada por

$$PAR_{df} = PAR * \left[1 + 0,3 * (1 - \tau_{df}^2) \right] * \left(\frac{\tau_{df}}{(1 + 1 - \tau_{df}^2) * \sin^2(Z) * \cos^3(Z)} \right)$$

Com relação aos fatores intrínsecos, citam-se como exemplos o ciclo de fixação de CO₂ e a arquitetura do dossel (Machado, 1985; Duvick, 1992; Machado et al, 2001), que é função da arquitetura da parte aérea e da distribuição espacial das plantas. A melhoria do processo de fotossíntese é complexa apresentando como principal limitação o fato da enzima Rubisco apresentar afinidade tanto a CO₂ quanto a O₂. Entretanto, a evolução das espécies resultou em mecanismos de concentração de CO₂, plantas C₄, em que a enzima PEP apresenta afinidade apenas a CO₂. Assim, plantas C₄, a exemplo do milho, em condições naturais não apresentam saturação da fotossíntese à radiação solar (Andrade et al, 1991; Vieira Júnior, 1999; Horton, 2000), justificando maximizar a interceptação da radiação solar pela área foliar (Dwyer et al, 1992). A planta define a arquitetura de parte aérea em função do ambiente, característica denominada por plasticidade morfológica. A arquitetura da parte aérea da planta é função, principalmente, das dimensões das folhas e dos ângulos entre os planos das folhas e o plano horizontal, bem como, dos ângulos entre os eixos dos comprimentos das folhas e o eixo Norte-Sul (azimute). No caso do milho, quando consideradas as projeções horizontais

das folhas (PHf, cm), o perfil da planta apresenta formato pentagonal (Figura 2), sendo que a espiga principal, em geral, está localizada na folha correspondente aos vértices A ou A', folhas de maior projeção, ou na imediatamente superior (Vieira Junior et al, 2005). Quando o milho é cultivado em linhas, o eixo AA' apresenta desvio máximo de 30° em relação à linha de semeadura, independente da orientação azimutal, sendo esse o limite máximo dessa plasticidade morfológica. Essa característica intensifica-se com o aumento da população de plantas em função da distribuição retangular das plantas, distancia entre-linhas maior que entre-plantas na linha de semeadura, gerando uma distribuição heterogênea da radiação na planta, a qual é caracterizada pela maior incidência nas entre-linhas em relação às linhas de radiação, notadamente na faixa do vermelho (Maddoni et al, 2001; Maddoni et al, 2002). Quanto ao ângulo formado entre o plano da folha e o colmo da planta, ângulo foliar (α , °), em geral, observa-se comportamento sigmoidal ao longo do perfil da planta, sendo o maior valor para a folha superior da planta, diminuindo até a folha da espiga principal (OFEP) ou a imediatamente superior, aumentando até a folha inferior da planta (Vieira Junior et al, 2005).

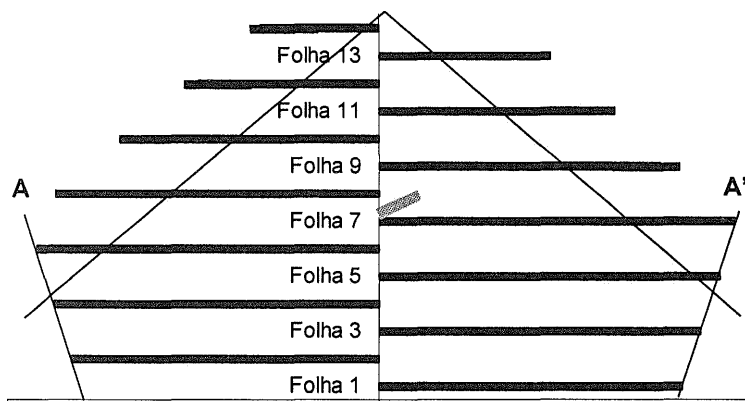


Figura 2. Perfil da planta de milho, consideradas as projeções horizontais das folhas, destacando o formato em pentágono, a posição da espiga (☞) e os vértices A e A'.

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de cada perfil de planta de milho, sendo que em 72,91% de 48 genótipos brasileiros apresentaram perfil de pentágono regular (Figura 3A), 25% apresentaram perfil de pentágono irregular (Figura 3B) e um genótipo, uma linhagem, portanto, não cultivada em escala representativa no país, não se ajustou aos perfis descritos.

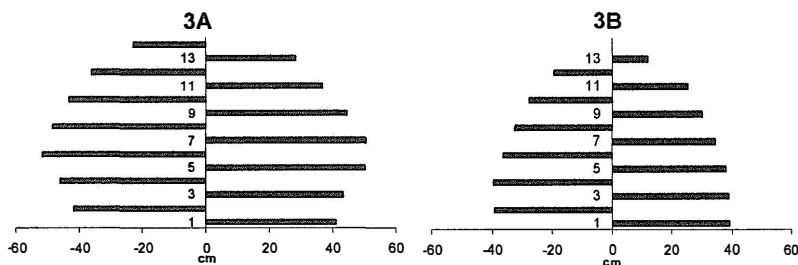


Figura 3. Representação dos perfis em pentágono regular (2A) e irregular (2B) da planta de milho, consideradas as projeções horizontais das folhas (PHf, cm).

Considerando o exposto sobre a arquitetura da planta de milho, é possível inferir que a distribuição espacial ideal de plantas, entre-linhas (EL) de semeadura e entre-plantas (EP) na linha de semeadura, é dada pela maior largura e maior projeção horizontal de folha na planta, sendo as projeções das folhas determinadas por

$$EL = Cf * \cos(90 - \alpha)$$

em que Cf refere-se ao comprimento da folha em centímetros e α ao ângulo foliar em graus. Em geral, a folha da espiga principal, ou a imediatamente inferior, apresentam a maior projeção horizontal, a maior área e o maior comprimento (Vieira Jr. et al., 2005).

Há muito é conhecida a relação entre a área foliar e a produção fotossintética, o que, considerando as dificuldades inerentes à melhoria no processo de fixação do CO_2 , notadamente no caso do milho, sugere alterações na arquitetura do dossel com ênfase na otimização de interceptação da radiação (Machado, 1995; Sachulze & Caldwell, 1995; Horton, 2000). A arquitetura do dossel é caracterizada, principalmente, pela distribuição vertical e horizontal da área foliar (AF, cm^2). A arquitetura do dossel pode ser descrita pelo valor e homogeneidade espacial do Índice de Área Foliar (IAF, $cm^2 \cdot cm^{-2}$), definido como o total de área foliar por área de solo ocupada pela planta ou cultura, em função da população e disposição espacial das plantas.

A transmissão da luz no dossel está relacionada com a transmitância pelas folhas, com a área foliar acumulado na profundidade do dossel e com a profundidade do dossel, sendo que a fotossíntese potencial reduz diretamente em relação à profundidade no dossel. A transmitância pelas folhas é determinada, principalmente, pelas características óticas do mesófilo e pela concentração e disposição dos cloroplastos, sendo variável entre os indivíduos como consequência do ambiente de crescimento das plantas (Horton, 2000; Terashima, 1989).

O número total e a distribuição vertical das folhas no dossel são variáveis entre e dentro das espécies como resultado da adaptação ao meio. Cita-se como exemplo que no milho as folhas situadas acima da inserção da espiga têm maior participação relativa no rendimento de grãos que as situadas abaixo, sendo descrito, em alguns casos, que o par de folhas imediatamente acima do solo apresenta metabolismo C3. As folhas devem estar distribuídas de modo a estabelecer camadas verticais, sendo que as folhas da camada superior devem dispor de aparato fotossintético apto às radiações de maior comprimento de

onda e as camadas inferiores devem ser aptas aos comprimentos transmitidos pelas camadas superiores. Estudos sugerem que a distância vertical entre folhas deve ser no mínimo igual ao dobro do comprimento das folhas. Apesar da importância do fator, no caso do milho, há carência de estudos determinando a transmitância e a refletância da radiação no dossel (Andrade et al., 1991; Vieira Jr., 1999; Dourado Neto et al., 2001).

O estabelecimento de camadas de folhas no dossel, ou seja, área foliar por área de solo ocupada pela planta ($\text{cm}^2 \text{ folha} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ de solo}$), denominado índice de área foliar (IAF), é resultado da disposição espacial das folhas, a qual é consequência da distribuição espacial das plantas. Estudos demonstram que a produção fotossintética não aumenta linearmente com o IAF, sendo limitada pela sobreposição, a qual é mínima durante a fase inicial das culturas. No caso do milho, o IAF ótimo, quando considerada a produção de grãos, é entre 5 a 7, com maior frequência de 6 (Gifford & Evans, 1981; Sachulze & Caldwell, 1995; Stewart & Dwyer, 1999; Vieira Jr., 1999; Pommel et al., 2002).

Para determinação do IAF, há necessidade de medição da área foliar, o qual requer procedimentos laboriosos, morosos e, muitas vezes, imprecisos (Varlet-Grancher et al., 1993). Foram desenvolvidos modelos matemáticos para estimativa da área foliar individual, a exemplo da correção do produto entre o comprimento e a largura da folha por um fator variando entre 0,73 a 0,75 (Montgomery, 1911). Em geral, esses modelos são estudados em genótipos temperados, contudo, Vieira Junior et al (1998), corroborado por Elings (2000), determinaram que o fator 0,75 é o mais indicado para os genótipos tropicais ou subtropicais, predominantes na atualidade no Brasil.

A despeito das vantagens representadas pela aplicação de modelos matemáticos na determinação da área foliar individual, a determinação da área foliar da planta (A_f , m^2), requer a medição das dimensões de comprimento e largura de todas as folhas de uma planta. Para milho, Dwyer et al (1992) desenvolveram equações, com coeficientes de determinação (r^2 , %) maiores que 70%, para estimar as dimensões de comprimento (C_i , cm) e área (A_i , cm^2), da folha de ordem i , contada da base da planta, em função das medidas da folha de ordem m de maior área individual (A_m , cm^2). Posteriormente as equações foram modificadas por Stewart & Dwyer (1999) para

$$A_i = A_m * \exp[x(i - m)^2 + y(i - m)^3]$$

$$C_i = C_m * \exp\left[\frac{x}{2}(i - m)^2 + \frac{y}{2}(i - m)^3\right]$$

sendo x e y dados por

$$x = -0,0664 + 0,00197 * i$$

$$y = -0,00078 + 0,00000449 * i$$

resultando em coeficientes de determinação (r^2 , %) maiores que 80%, precisão corroborada para genótipos tropicais por Elings (2000).

Considerando a relação entre IAF e produção fotossintética, teoricamente, a arquitetura do dossel deve maximizar uniformemente o IAF. Entretanto, no caso do milho, a produção em função do IAF apresenta comportamento quadrático, aumentando linearmente até um máximo, denominado ponto crítico, após o qual é limitada pelo sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores que, em geral, não é crítico até o estágio fenológico de oito folhas, ou seja, radiação PAR mínima de $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Dwyer, 1992; Dourado-

Neto et al., 2001; Maddoni, 2001). Portanto, é possível inferir que a radiação suficiente para saturar as folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese da cultura, havendo necessidade da incidência de radiação sobre as folhas inferiores. Também é razoável considerar a população e distribuição espacial ideais de plantas por ocasião do florescimento, quando a planta atinge o IAF máximo, no caso de milho para a produção de grãos, entre seis a sete (Gifford & Evans, 1981; Sachulze & Caldwell, 1995; Vieira Jr, 1999; Pommel et al., 2002).

A transmissão da PAR no dossel está relacionada com a transmitância das folhas, com a área foliar acumulado na profundidade do dossel, com a profundidade do dossel e com o ângulo de incidência da radiação. A transmitância pelas folhas é função, principalmente, pelas características óticas do mesófilo e pela concentração e disposição dos cloroplastos (Horton, 2000; Terashima, 1989; Allen et al, 1964). No caso do milho, a transmitância da radiação PAR pela folha é de 0,03 (Gates et al, 1965; Breece III & Holmes, 1971; Varlet-Grancher et al., 1993).

Com relação à fração direta da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_{dr} , $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), sua transmitância (τ_{dr}) por determinado Índice de Área Foliar (IAF, $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) do dossel pode ser descrita por equação por

$$\tau_{dr} = PAR_{dr} * \exp^{(-K * [1 - g_{dr} * (1 - a)] * IAF)}$$

em que a refere-se a transmitância da radiação PAR pela folha (0,03), g_{dr} é função do zênite sendo estimado por

$$g_{dr} = \exp^{(-1,5 * ELADP)} * (-0,2 + 0,7Z^2) + 0,2Z^2 + 0,3$$

K refere-se ao coeficiente de extinção da radiação representado pela área de sombra em uma superfície horizontal sob o dossel dividida pela IAF ou a projeção média de Área Foliar (AF, m^2) em uma superfície horizontal (Lange et al, 1985; Campbell, 1986, Wang & Jarvis, 1988, Varlet-Grancher et al, 1993).

Em geral a determinação de K constitui uma limitação, entretanto, considerando que é consequência do IAF e do ângulo de incidência da radiação (Z , °), K pode ser estimado por

$$K_{(ELADP,Z)} = \frac{\sqrt{ELADP + \tan^2 Z}}{ELADP + 1,702 * (ELADP + 1,12)^{-0,708}}$$

em que ELADP refere-se ao modelo elipsoidal de distribuição do ângulo de inclinação (Campbell, 1986, Wang & Jarvis, 1988, Varlet-Grancher et al, 1993), o qual é função das projeções vertical e horizontal das folhas

$$ELADP = \frac{\sin \alpha * Cf}{\cos \alpha * Cf}$$

calculadas em razão do ângulo foliar (α , °) e do comprimento da folha (Cf , cm).

Já a transmitância da PAR difusa (τ_{df}) pelo dossel é estimada por

$$\tau_{df} = PAR_{df} * [\exp^{-L_a} + A_{ELADP} * L_a^3 * \exp^{-B_{ELADP} * L_a^{C_{ELADP}}}]$$

em que A_{ELADP} , B_{ELADP} e C_{ELADP} são determinados por

$$A_{ELADP} = \frac{1}{0,15 * ELADP^{1,38} + 0,007}$$

$$B_{ELADP} = 4,32 + 2,6 * \exp^{-2,75ELADP}$$

$$C_{ELADP} = -0,57 - 0,23 * \exp^{-1,4ELADP}$$

e L_a refere-se ao IAF quando considerado a transmitância da folha (0,03), estimado por

$$L_a = IAF * 0,515$$

Assim, a transmitância da radiação pelo dossel (τ_{dossel}) pode ser estimada por

$$\tau_{dossel} = PAR * \exp^{-K * [1 - g_{dr} * (1 - a) * IAF]} \dots$$

$$- PAR * [\exp^{-L_a} + A_{ELADP} * L_a^3 * \exp^{-B_{ELADP} * L_a^{C_{ELADP}}}]$$

Com a recomendação de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura de milho, vários estudos têm sido realizados para a determinação da melhor população e distribuição espacial de plantas. Em geral, os estudos são morosos, pois, referem-se à avaliação de diferentes distribuições espaciais e populações de plantas de um genótipo em ambientes distintos (Pereira Filho et al., 1998; Duarte & Paterniani, 2000; Maddoni, 2001; Ohio State University, 2004). Assim, Ohio State University (2004), Fancelli & Dourado-Neto (2000) e Molin (2000) consideram essenciais, e ao mesmo tempo escassas, informações para quantificar a interação desses efeitos com a oferta ambiental, notadamente aspectos relacionados à radiação.

Considerando o exposto, Vieira Junior (não publicado) propôs a filosofia para a estimativa da população e distribuição espacial de plantas de milho considerando a radiação solar e a arquitetura de parte aérea da planta. Ainda os autores avaliaram a metodologia proposta por Stewart & Dwyer (1999) para estimativa das dimensões foliares na planta a partir da folha de maior área e as informações de Vieira Junior (2005) sobre o perfil da planta de milho quando consideradas as projeções horizontais das folhas.

Na Tabela 1 são apresentadas a população de plantas recomendada pelos fornecedores de sementes ($População_{rec}$, planta.ha⁻¹) e os resultados médios do total de folhas na planta (TF), da ordem da folha de maior área (OFMA), da ordem da folha correspondente à espiga principal (OFEP) e das medidas médias de comprimento (Cf_{med} , cm), largura (Lf_{med} , cm), área foliar (AF_{med} , cm²), ângulo foliar (α_{med} , °) e projeção horizontal (PHf, cm) da folha de maior área na planta. Observa-se que em 70,83 % dos casos a espiga principal coincidiu com a folha de maior área, coincidindo o restante com a folha imediatamente inferior. Portanto, é possível inferir que medindo as dimensões foliares de comprimento e largura da folha correspondente à espiga principal e a imediatamente inferior, considerando-se o resultado do produto dessas dimensões corrigido por 0,75 para estimativa da área foliar, é possível estabelecer a ordem da folha de maior área foliar requerida pela metodologia proposta por Stewart & Dwyer (1999) nas equações 12 a 15.

Tabela 1. Total de folhas na planta (TF); ordem da folha de maior área (OFMA), da folha correspondente à espiga principal (OFEP) e das medidas médias de comprimento (Cf_{med} , cm), largura (Lf_{med} , cm), área foliar (AF_{med} , cm^2), ângulo foliar (α_{med} , °) e projeção horizontal (PHf, cm) da folha de maior área.

Genótipo	População _{rec} (planta.ha ⁻¹)	TF	OFMA	OFEP	Cf_{med} (cm)	Lf_{med} (cm)	AF_{med} (cm^2)	α_{med} (°)	PHf (cm)
1	80.000	9	5	5	83,0	7,0	435,8	32	44,0
2	75.000	13	6	6	70,5	7,5	396,6	31	36,3
3	60.000	12	6	6	83,0	9,5	591,4	30	41,5
4	65.000	13	7	7	88,0	8,0	528,0	26	38,6
5	80.000	12	5	6	64,5	6,5	314,4	33	35,1
6	100.000	10	5	6	58,0	6,5	282,8	36	34,1
7	70.000	11	5	6	80,0	8,0	480,0	31	41,2
8	100.000	13	6	6	56,0	5,0	210,0	40	36,0
9	100.000	13	5	6	55,5	5,5	228,9	29	26,9
10	75.000	11	5	6	85,0	6,5	414,4	32	45,0
11	50.000	11	6	6	99,0	9,0	668,3	33	53,9
12	100.000	9	4	5	79,5	5,0	298,1	35	45,6
13	80.000	14	7	7	76,5	6,5	372,9	29	37,1
14	85.000	11	6	6	72,5	7,0	380,6	31	37,3
15	70.000	10	4	5	94,0	8,0	564,0	22	35,2
16	70.000	11	6	6	91,5	7,0	480,4	26	40,1
17	90.000	13	4	5	52,5	5,0	196,9	32	27,8
18	75.000	12	6	6	93,0	6,0	418,5	30	46,5
19	55.000	11	5	5	92,0	8,0	552,0	35	52,8
20	100.000	9	5	5	59,5	7,0	312,4	23	23,2
21	50.000	12	6	6	102,0	9,0	688,5	30	51,0
22	90.000	12	6	6	75,0	6,5	365,6	25	31,7
23	65.000	13	6	7	92,0	7,5	517,5	32	48,8
24	65.000	12	6	6	88,5	8,0	531,0	30	44,3
25	100.000	9	3	4	52,0	5,0	195,0	33	28,3
26	100.000	11	4	5	63,0	4,5	212,6	34	35,2
27	100.000	10	3	4	56,5	4,5	190,7	34	31,6
28	85.000	11	4	5	71,0	4,5	239,6	37	42,7
29	65.000	10	4	5	96,0	8,0	576,0	30	48,0
30	45.000	13	7	7	106,0	8,0	636,0	42	70,9
31	90.000	11	6	6	68,0	7,0	357,0	40	43,7
32	55.000	12	6	6	91,0	8,5	580,1	37	54,8
33	100.000	11	5	5	66,5	6,0	299,3	30	33,3
34	50.000	14	7	7	100,0	14,5	1087,5	43	68,2
35	75.000	14	7	7	76,0	7,0	399,0	22	28,5
36	100.000	11	5	5	52,5	5,0	196,9	32	27,8
37	80.000	12	6	6	86,0	6,5	419,3	29	41,7
38	95.000	13	6	6	77,0	6,0	346,5	19	25,1
39	95.000	11	5	5	68,0	7,0	357,0	28	31,9
40	50.000	12	6	6	89,0	10,0	667,5	24	36,2
41	45.000	14	6	6	93,0	8,3	575,4	36	54,7
42	45.000	12	5	5	106,0	11,0	874,5	28	49,8
43	50.000	14	6	6	94,0	9,5	669,8	25	39,7
44	100.000	12	6	6	73,0	6,0	328,5	28	34,3
45	100.000	12	5	5	68,0	6,3	318,8	30	34,0
46	100.000	12	6	6	59,8	7,0	313,7	24	24,3
47	45.000	14	7	7	101,3	10,8	816,3	30	50,6
48	45.000	14	7	7	105,0	11,5	905,6	31	54,1

Com relação à metodologia proposta por Stewart & Dwyer (1999) para estimativa do comprimento (Cf_{est} , cm) e da área foliar (AF_{est} , cm^2), verificou-se que os coeficientes de determinação (r^2 , %) entre os parâmetros medidos e os estimados para o 48 genótipos representativos do germoplasma brasileiro de milho variou entre 80,61 (Figura 4A) a 99,20% (Figura 4C) para o comprimento foliar (Cf , cm) e 80,43 (Figura 4B) a 99,91% (Figura 4D) para a área foliar (AF , cm^2), corroborando os resultados obtidos por Elings (2000), portanto, sendo possível inferir sobre a possibilidade do emprego dessa metodologia para estimativa do IAF na cultura do milho, considerado como o produto da área foliar pela população de plantas.

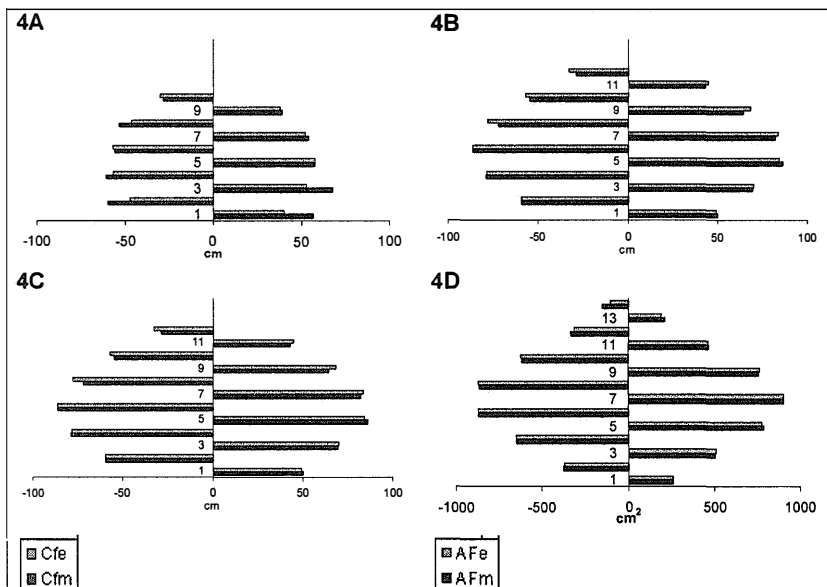


Figura 4. Comprimentos (Cf_m , cm) e área foliares (Af_m , cm^2) medidos e seus respectivos valores de comprimento (Cf_e , cm) e área foliares (Af_e , cm^2) estimados segundo a metodologia proposta por Stewart & Dwyer (1999) para dois genótipos de milho.

Verificou-se ainda que em 75,00 % dos casos a folha da espiga principal apresentou o menor ângulo foliar (α_{med} , °), correspondendo o restante à folha imediatamente superior à da espiga principal. Apesar do menor ângulo foliar (α_{med} , °) ocorrer na folha correspondente à espiga principal ou na imediatamente superior, em 77,08% dos genótipos a maior projeção horizontal foliar (PHf, cm) correspondeu à folha imediatamente inferior à da espiga principal, sendo o restante dos casos coincidente com a folha imediatamente inferior a essa. Considerando-se os perfis pentagonais e, segundo Maddoni et al (2001) e Maddoni et al (2002), a orientação predominantemente perpendicular das folhas à linha de semeadura, é possível inferir sobre a validade da aplicação da largura da folha de maior área e da maior projeção horizontal foliar (PHf, cm) como determinantes das distâncias mínimas entre-

plantas na linha de semeadura ($EP_{\min}$, cm) e entre-linhas de semeadura ($EL_{\min}$, cm), respectivamente, bem como, da população ($População_{\max}$, plantas. ha^{-1}) e IAF ($IAF_{\max}$, $cm^2.cm^{-2}$) máximos. Para tanto, as medidas de comprimento, largura e ângulo da folha da espiga principal e das duas folhas imediatamente inferiores são suficientes, correspondendo a distancia mínima entre-plantas na linha de semeadura ($EP_{\min}$, cm) à largura da folha de maior área e a distancia mínima entre-linhas de semeadura ($EL_{\min}$, cm) à maior projeção horizontal foliar estimada pela equação 11. Considerando as distancias mínimas entre-plantas ($EP_{\min}$, cm) e entre-linhas ($EL_{\min}$, cm) estimou-se a população máxima de plantas ($População_{\max}$, plantas. ha^{-1}), parâmetros apresentados para os 48 genótipos avaliados (Figura 5). Observa-se, com exceção ao genótipo 34 cuja população recomendada foi de 50.000 e a máxima estimada foi de 50.561 plantas. ha^{-1} (1,12%), que os demais resultaram em populações máximas ($População_{\max}$, plantas. ha^{-1}) maiores que o dobro das recomendadas ($População_{rec}$, plantas. ha^{-1}), além de discordar com as citadas por Duarte & Paterniani, 2000 e Fancelli & Dourado-Neto (2000).

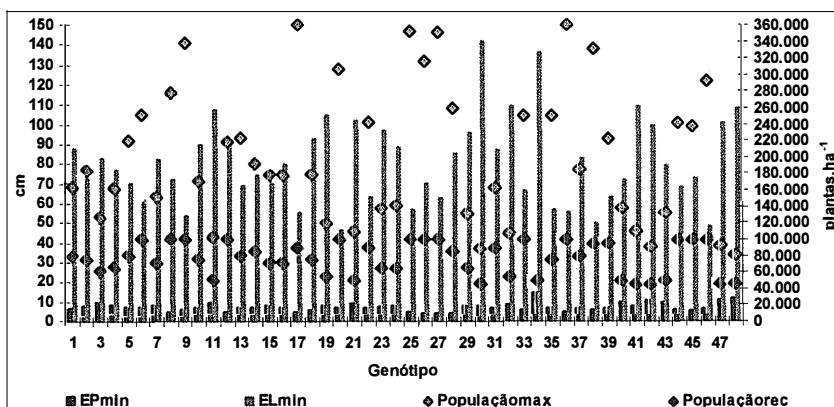


Figura 5. Medidas mínimas entre-plantas ($EP_{\min}$, cm) e entre-linhas ($EL_{\min}$, cm), considerando a largura da folha de maior área e a maior projeção horizontal foliar (PHf, cm), respectivamente, bem como a população de plantas máxima ($População_{\max}$, plantas. ha^{-1}), para 48 genótipos de milho.

Os resultados dos índices de área foliar máximos ($IAF_{\max}$, $cm^2.cm^{-2}$) variaram entre 3,7 a 9,3 $cm^2.cm^{-2}$ enquanto o índice de área foliar real (IAF_{real} , $cm^2.cm^{-2}$), estimado para as populações recomendadas ($População_{rec}$, plantas. ha^{-1}) obtidas nas parcelas, variou entre 1,2 a 4,8 $cm^2.cm^{-2}$, ou seja, com exceção ao genótipo 34 (1,12%), as relações entre os IAF máximo e real ($RIAF$, %) foram superiores à 50% (Figura 6). Portanto, os dados reiteram, a despeito do possível erro inerente à plasticidade morfológica da parte aérea, o super-dimensionamento da população de plantas máxima ($População_{\max}$, plantas. ha^{-1}) pela metodologia empregada.

Entretanto, quando considerada a latitude 22°S (Piracicaba/SP), o dia médio do florescimento (130 dia Juliano), o período de insolação (6 horas) e a atenuação da radiação pelo dossel, verificou-se que, para radiações incidentes

sobre a folha inferior (ordem 1) de $200 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, as populações (População_{otm}, plantas.ha⁻¹) variaram entre 36.540 a 199.773 plantas.ha⁻¹ (Figura 7), sendo que as relações maiores que 50% ocorreram para os genótipos 8, 9, 17, 25 a 28 e 36, todos linhagens, genótipos caracterizados pela sua maior especificidade com o ambiente, cuja população recomendada era 100.000 plantas.ha⁻¹. Nesse caso, é possível que outros fatores intrínsecos à planta, a exemplo de absorção pelo sistema radicular, transporte no sistema xilema-floema ou temperatura basal, apresentem maior interação com a população de plantas que a radiação (Sachulze & Caldwell, 1995; Vieira Junior, 1999; Duarte & Paterniani, 2000; Ohio State University, 2004). Quanto aos demais genótipos, a exceção do genótipo 34 cuja população ótima foi inferior à recomendada (-8,65%), a população ótima estimada foi superior, no máximo, em 50% da recomendada.

O índice de área foliar ótimo (IAF_{otm}, cm².cm⁻²) variou entre 2,3 a 3,3 cm².cm⁻², sendo sua relação (RIAF, %) com o índice de área foliar recomendado (IAF_{rec}, cm².cm⁻²) máxima, também excluindo os genótipos 8, 9, 17, 25 a 28 e 36, foi inferior à 50%. Entretanto, no caso do IAF, além do genótipo 34 (-29,04), os genótipos 42 (-4,11%), 47 (-5,68%) e 48 (-7,72%) apresentaram IAF estimado inferior ao recomendado. Os resultados de IAF corroboram as afirmações sobre a possibilidade da estimativa da população ótima de plantas para determinado local e época do ano, pois, as diferenças, possivelmente, são devidas à fatores intrínsecos e, até mesmo extrínsecos, à planta. Ainda, há que ser considerada a plasticidade morfológica da planta de milho, não considerada nesse estudo. Para tanto, sugere-se determinar a arquitetura da parte aérea da planta em condições ótimas de crescimento, notadamente quanto à competição entre plantas. Assim, sugere-se que arquitetura da parte aérea seja determinada em plantas semeadas em linha, pois, deve ser considerada a distribuição azimutal das folhas em relação à linha de semeadura, entretanto, as linhas e as plantas devem ser espaçadas o suficiente para não promover a competição entre plantas.

Outro aspecto que pode contribuir com as diferenças verificadas é a metodologia proposta considerar o meio do dia para o zênite da radiação (Equação 8), componente das equações 7, 10, 16 e 18 para estimativa da radiação no dossel (R_G_{Dossel}, MJ.m⁻².dia⁻¹), da PAR difusa (PAR_{df}, $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), da transmitância (τ_{dr}) da radiação fotossinteticamente ativa direta e do coeficiente de extinção da radiação (K), respectivamente. Sugere-se, em trabalhos futuros, considerar o zênite da radiação (Z, °) a intervalos horários, integrando ao final do dia os resultados.

Considerando o exposto, a despeito das diferenças encontradas, os resultados indicam a coerência da filosofia proposta em determinar a população de plantas de milho considerando a arquitetura da parte aérea da planta de milho e a transmissão da radiação pelo dossel. A metodologia proposta permite estimar anualmente as distancias entre-linha e entre-planta, além da população de plantas, para determinado local conforme o exemplo apresentado na Figura 9. Essa estimativa é importante para orientar estudos sobre a interação da população e distribuição espacial de plantas de diferentes genótipos de milho com o ambiente, pré-estabelecendo as distancias aproximadas entre-linha e entre-planta, bem como, a população de plantas.

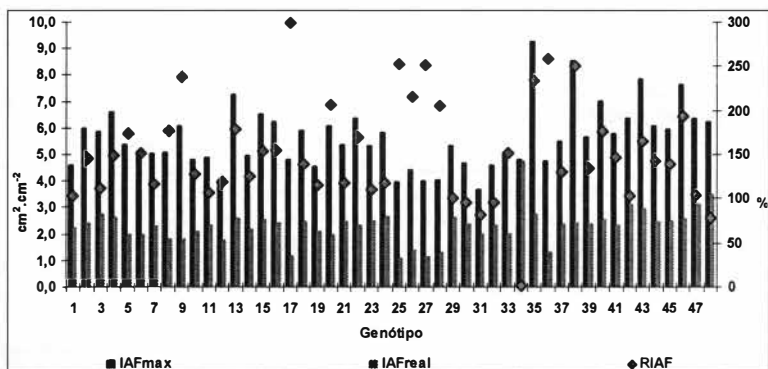


Figura 6. Índices de área foliar máximo (IAF_{max} , $m^2.m^{-2}$), reais (IAF_{real} , $m^2.m^{-2}$) e a relação entre ambos (RIAF, %) para 48 genótipos de milho.

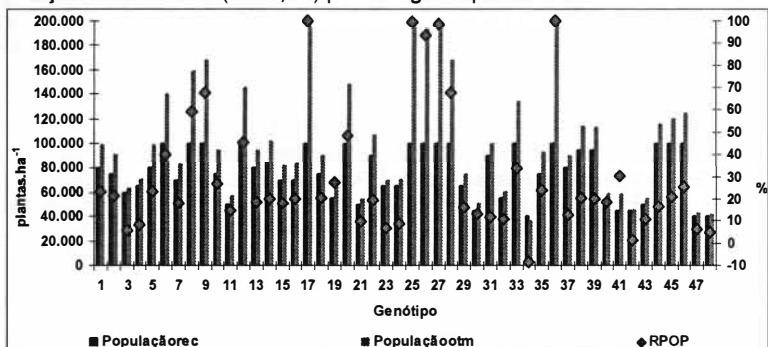


Figura 7. População de plantas recomendada ($População_{rec}$, plantas.ha⁻¹) e ótima ($População_{otm}$, plantas.ha⁻¹) e a relação entre ambas (RPOP, %) para 48 genótipos de milho.

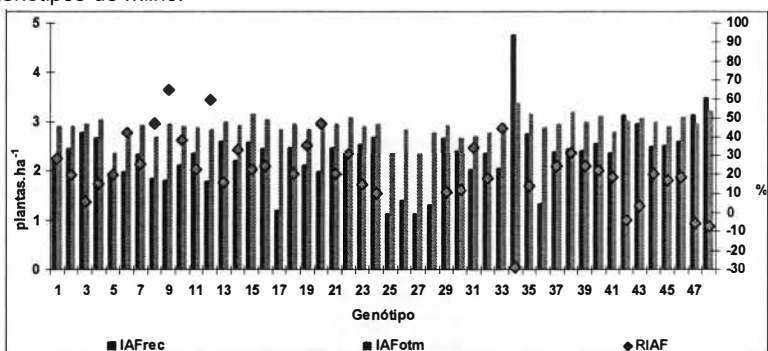


Figura 8. Índice de área foliar recomendado (IAF_{rec} , $m^2.m^{-2}$) e ótimo (IAF_{otm} , $m^2.m^{-2}$) e a relação entre ambas (RIAF, %) para 48 genótipos de milho.

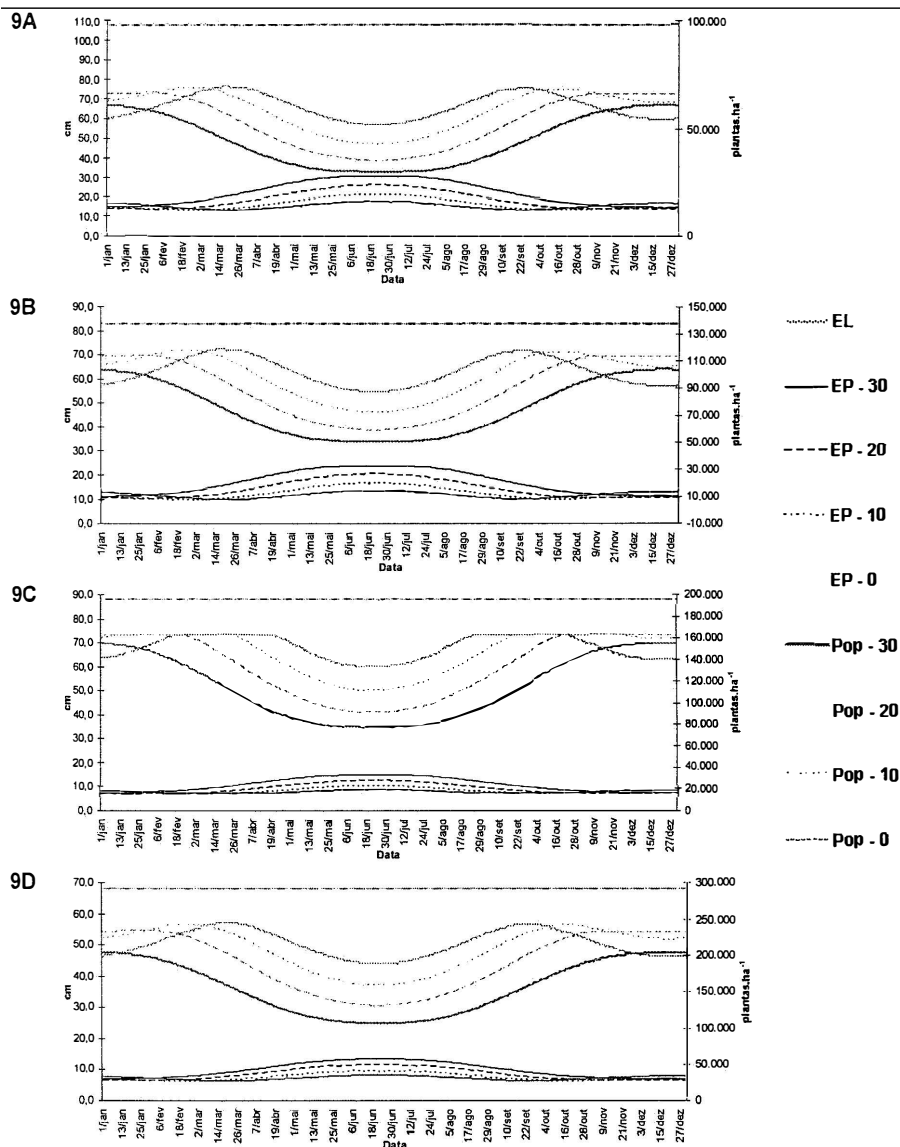


Figura 9. Estimativa anual da medida entre-linha e entre-plantas (EP, cm) para as latitudes zero (EP - 0, cm), 10 (EP - 10, cm), 20 (EP - 20, cm) e 30 (EP - 30, cm) graus Sul, e das populações de plantas também para as latitudes zero (Pop - 0, plantas.ha^{-1}), 10 (Pop - 10, plantas.ha^{-1}), 20 (Pop - 20, plantas.ha^{-1}) e 30 (Pop - 30, plantas.ha^{-1}) graus Sul, para 48 genótipos de milho.

3 Arquitetura do dossel e localização geográfica.

O ângulo de inserção foliar, ângulo formado entre a superfície adaxial da folha e o colmo da planta, afeta a interceptação da radiação pelas folhas e, conseqüentemente, a penetração da radiação no dossel. Teoricamente, o ângulo foliar ideal é aquele que posiciona as superfícies adaxiais das folhas perpendiculares à direção da radiação, pois, simulações demonstram que em baixas latitudes, copas planas e estreitas apresentam maior eficiência na interceptação da radiação, enquanto em latitudes maiores que 50° copas estreitas e verticalmente longas foram mais eficientes (Pukkala & Kuuluvainen, 1987). No milho são observadas diferenças no ângulo foliar entre genótipos, sendo considerado que a espécie não apresenta movimentos heliotrópicos na folha, entretanto, verifica-se que as plantas de mesmo genótipo apresentam variações diaheliotropicas nos ângulos foliares de até 20° segundo o local e a época de cultivo, demonstrando plasticidade morfológica dessa característica para espécie (Sailaja et al., 1997; Maddoni, 2001).

O ângulo da radiação solar sobre um plano horizontal em um dado ponto da superfície terrestre pode ser estimado pelo ângulo zenital (Z , °) (Equação 1), que é resultado da posição da terra em relação ao sol, variando segundo o local, definido pela latitude (φ , °), o ângulo entre o raio vetor do sol e o plano do equador terrestre, denominado declinação (δ , °) (Equação 2) em que n refere-se ao dia juliano variando entre 1 e 365, e a hora do dia, definida pelo ângulo horário (h , °) e estimada pela equação 3 (Vianello, 2000).

$$\cos Z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos h$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right]$$

$$h = (Hora - 12)15$$

Considerando os movimentos relativos do sol e a interceptação da radiação pelas folhas, folhas com formato semi-esférico podem ser consideradas ideais, entretanto, como as folhas de milho são planas, deve-se propor ângulos foliares que maximizem a interceptação da radiação durante os períodos do dia de maior atividade fotossintética (Sailaja et al., 1997).

Com os novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura de milho, estudos têm sido realizados para a determinação do melhor espaçamento e densidade de semeadura (Pereira Filho et al., 1998). Entretanto, Sangoi et al. (2002), Sangoi (2001) e Molin (2000) consideram essenciais, e ao mesmo tempo escassas no Brasil, informações para quantificar o efeito do aumento da população de plantas sobre a cultura. Também foi considerado essencial identificar características morfológicas, fisiológicas, fenológicas e alométricas, notadamente se considerar as modificações introduzidas nos genótipos, como menor estatura das plantas e de inserção da espiga, angulação mais ereta de folhas e elevado potencial produtivo (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Considerando o exposto sobre a importância do IAF e do ângulo foliar sobre o rendimento da cultura do milho, bem como os efeitos da população e distribuição espacial de plantas de milho em função da arquitetura do dossel abordados no tópico anterior, com o propósito de subsidiar a escolha de cultivares em função da época de cultivo e da latitude, bem como programas de melhoramento, Vieira Junior et al (2005) propuseram uma equação para

estimar o ângulo foliar (α , °) que propicie a melhor interceptação da radiação em função da data e do local, definido pela latitude (φ , °). Para tanto, foram feitas as seguintes suposições: (i) o ângulo da radiação solar sobre um plano horizontal, ângulo zenital (Z , °), é definido pela latitude (φ , °), pela declinação (δ , °) e pelo ângulo horário (h , °), conforme equação 5; (ii) o ângulo de um plano perpendicular à orientação da radiação em relação ao plano horizontal local é definido pelo ângulo zenital (equação 5), portanto, o ângulo foliar perpendicular ao vetor da radiação será dado pelo complemento ao ângulo reto do ângulo zenital calculado; (iii) os maiores valores de radiação são obtidos ao meio dia solar, ou seja, quando o ângulo horário (h) for igual a zero; (iv) o melhor ângulo foliar será aquele que definir a superfície adaxial da folha perpendicular ao vetor da radiação ao meio dia solar; e (v) o ângulo foliar do milho apresenta plasticidade morfológica de até 20°.

Considerando as suposições sobre o ângulo foliar, foram estimados os ângulos foliares diários entre 7:00 e 12:00, a intervalos de uma hora, para latitudes (φ), variando a cada 5°, compreendidas entre a linha do equador (0°) e 35° S, ou seja, a região do Brasil em que é cultivado milho. Para tanto, foram calculadas as declinações diárias (δ , °) entre o dia 1° de janeiro e 31 de dezembro e os ângulos horários (h , °) entre 7:00 e 12:00 horas, aplicando-se as equações 2 e 3, respectivamente.

Aplicando-se à equação 1 às latitudes (φ , °) propostas, os valores calculados para a declinação (δ , °) e para os ângulos horários (h , °), foram calculados os co-senos dos ângulos zenitais (Z , °). Os arcos dos ângulos zenitais (Z , °), subtraídos de 90°, resultaram nos ângulos foliares (α , °) em que a superfície adaxial da folha é normal ao vetor da radiação, às 7:00, 8:00, 9:00, 10:00, 11:00 e 12:00 para as latitudes compreendidas entre o equador (0°) e 35°S a cada 5° (Figura 1).

Calculando-se as diferenças diárias entre os ângulos foliares (Figura 2), observa-se que latitudes menores requerem maior plasticidade do ângulo foliar, pois, a exemplo dos casos da linha do equador e 35°S, para que a superfície adaxial da folha permaneça perpendicular à radiação durante todo o dia, ela deverá variar o ângulo foliar em 75° e 53°, respectivamente. Esta característica possibilita que em latitudes maiores a folha permaneça maior período do dia com sua superfície adaxial perpendicular à radiação solar. Tomando-se novamente os exemplos da linha do equador e 35°S e considerando a plasticidade morfológica do ângulo foliar de 20°, observa-se que, para a linha do equador, as superfícies adaxiais das folhas permanecem menos que duas horas e trinta minutos perpendiculares à radiação, destacando que, nos períodos entre os dias 20/2 a 20/4 e 18/8 a 20/10 serão menos que duas horas diárias (Figura 3). Já no caso de 35°S, com exceção do período entre os dias 10/5 a 2/8, as folhas permanecem com suas superfícies adaxiais mais que duas horas e trinta minutos perpendiculares à radiação, chegando em três horas e quarenta minutos (Figura 3). Entretanto, quando considerada a produção fotossintética, é possível que o maior período não compense a diferença na intensidade de radiação entre as localidades.

Na Figura 4 são apresentados os melhores ângulos foliares em função da latitude (φ , °) e do dia. Considerando que a maior demanda por fotoassimilados em milho ocorre durante o período reprodutivo, o qual coincide com a área foliar máxima, e que nos estádios iniciais da cultura não há limitação de radiação por auto-sombreamento, é possível identificar o melhor ângulo foliar

para as diferentes latitudes (ϕ , °). Citam-se como exemplos sementeiras na linha do equador e 35°S em 20/11 e período vegetativo de 60 dias para ambos locais, consultando-se a Figura 4, verifica-se que os melhores ângulos foliares são 58 e 23°, respectivamente, ou seja, os ângulos foliares correspondentes a data do início do período reprodutivo (20/2).

Considerando os melhores ângulos foliares horários para cada latitude e ciclo de 120 dias, observa-se (Figura 5) que as menores latitudes requerem menor variação do ângulo foliar durante o ciclo da planta. No caso da linha do equador, a maior variação durante o ciclo foi de 20°, ou seja, é possível a planta adequar o ângulo foliar durante todo o ciclo. Já no caso de latitudes maiores que 20°S, apenas para sementeiras nos períodos entre os dias 17 de março a 31 de maio e 22 de setembro a 22 de novembro, a variação no ângulo foliar durante o ciclo é menor que o limite da plasticidade.

Considerando o exposto e as limitações por baixas temperaturas em latitudes maiores que 25°S, é possível inferir que nessas latitudes são recomendadas sementeiras entre os dias 22 de setembro a 22 de novembro e cultivares com ângulos foliares próximos a 40°. Já em latitudes menores que 20°S, são recomendadas sementeiras entre 15 de fevereiro a 1° de julho e 20 de setembro a 23 de novembro, sendo os períodos ampliados progressivamente até o equador com sementeira durante todo o ano, utilizando cultivares com ângulos foliares de, aproximadamente, 60 e 50°, respectivamente aos períodos.

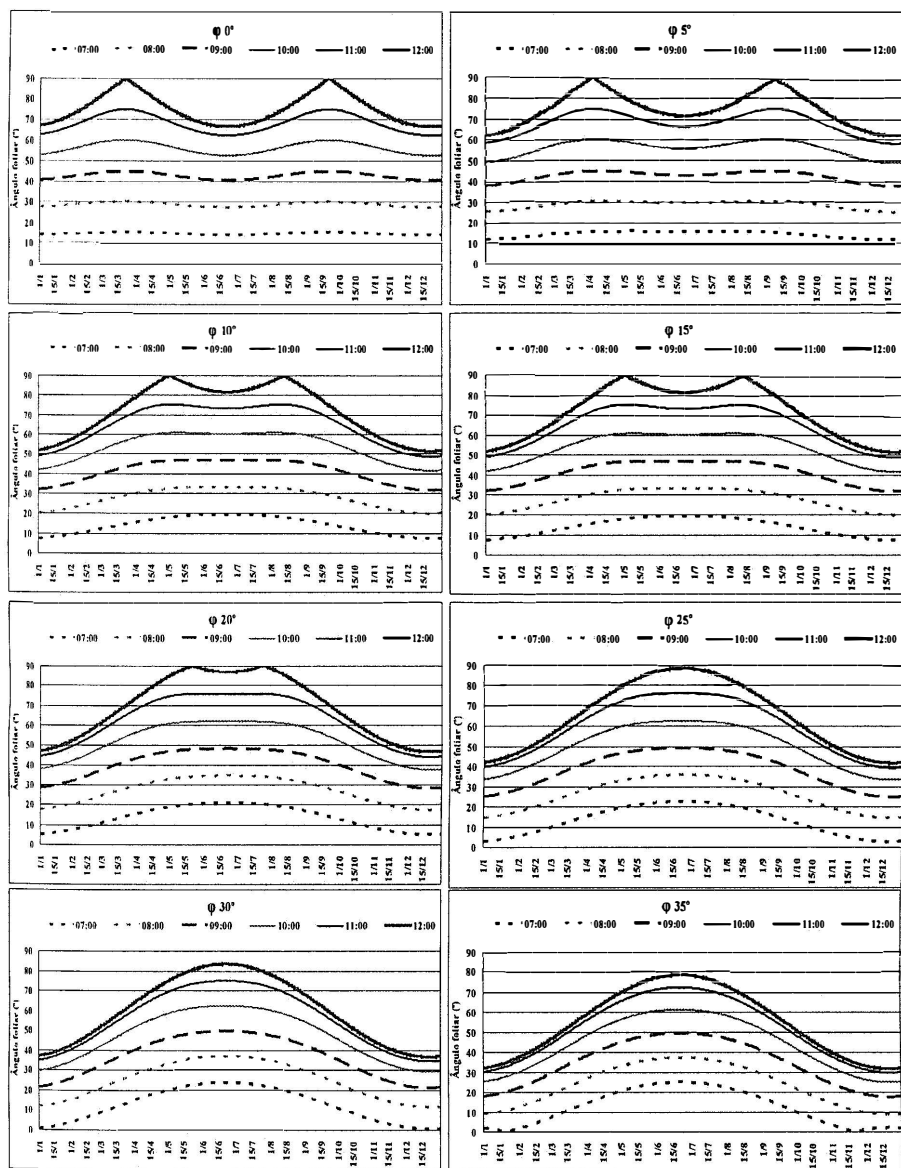


Figura 10. Ângulos foliares (α , °), na linha do equador (ϕ 0°), 5°S (ϕ 5), 10°S (ϕ 10), 15°S (ϕ 15), 20°S (ϕ 20), 25°S (ϕ 25), 30°S (ϕ 30) e 35°S (ϕ 35) cujas superfícies adaxiais das folhas são normais ao vetor da radiação solar às 7:00, 8:00, 9:00, 10:00, 11:00 e 12:00 para diferentes períodos do ano.

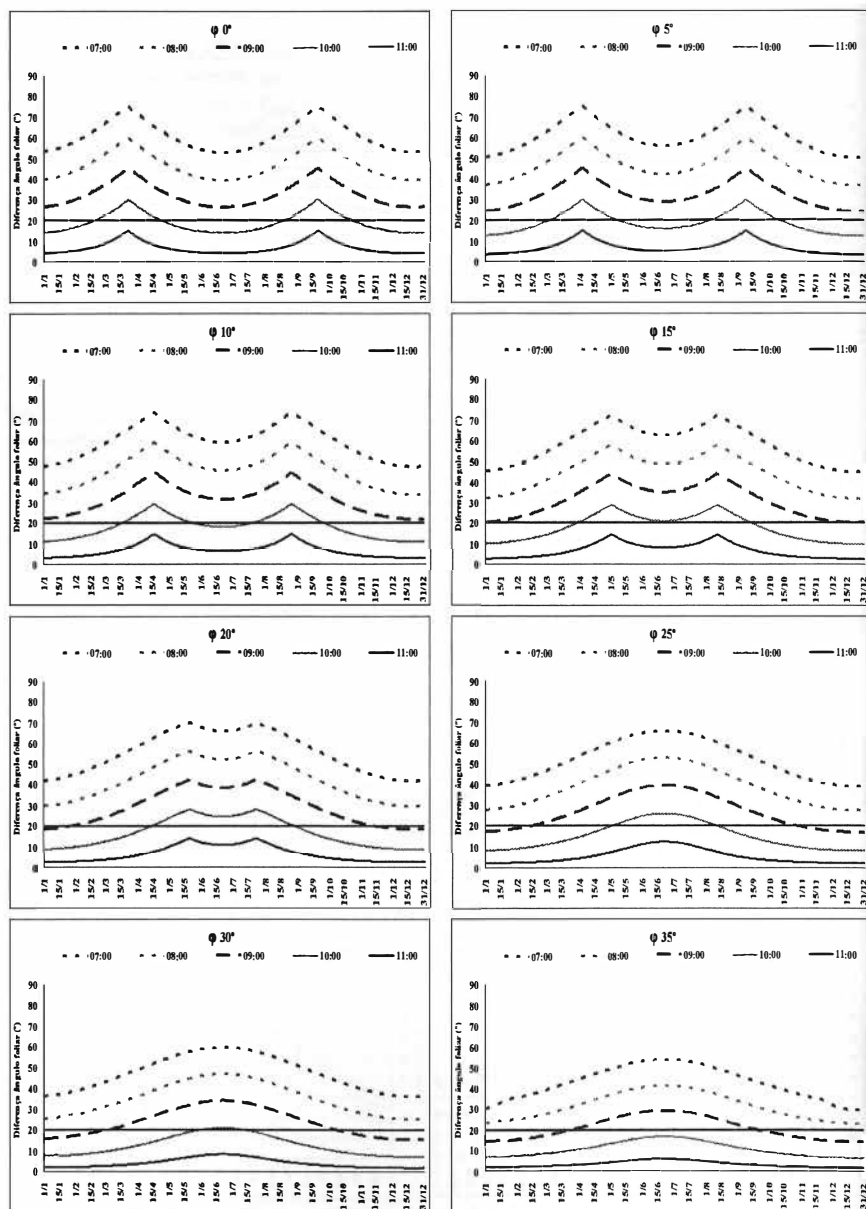


Figura 11. Diferenças entre os ângulos foliares (α , °), na linha do equador (ϕ 0°), 5°S (ϕ 5), 10°S (ϕ 10), 15°S (ϕ 15), 20°S (ϕ 20), 25°S (ϕ 25), 30°S (ϕ 30) e 35°S (ϕ 35) calculados para 7:00, 8:00, 9:00, 10:00, 11:00 e os ângulos foliares (α , °) calculado para 12:00.

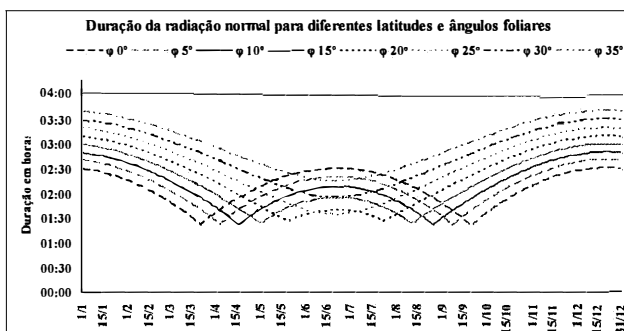


Figura 12. Duração (horas) da superfície adaxial das folhas perpendiculares à radiação para as latitudes (φ) 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35°S.

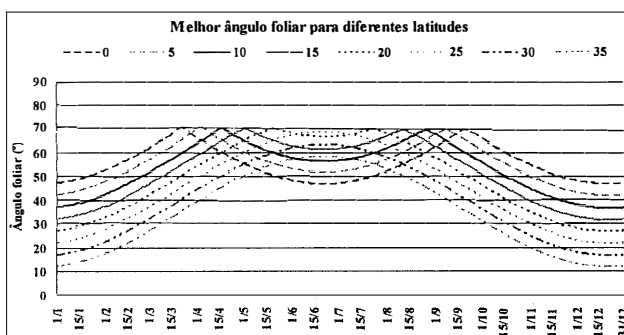


Figura 13. Melhores ângulos foliares em função da latitude (φ) e do dia do ano.

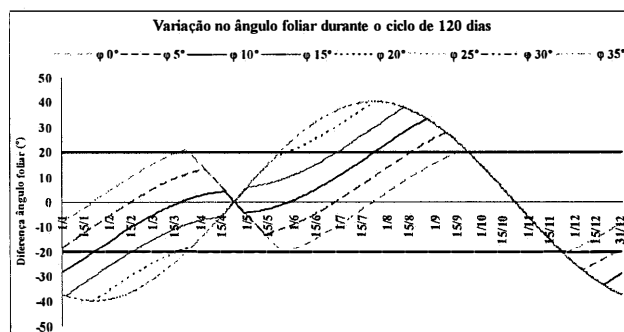


Figura 14. Diferenças de ângulos foliares (α , °) requeridas durante o ciclo, para semeaduras diárias nas latitudes (φ) 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35°S.

4 Referências bibliográficas

- ANDRADE, F.H.; UART, S.; ARGUISSAIN, G. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce: análisis de los factores que lo determinan. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 11p. (Boletim Técnico, 101), 1991.
- BREECE III, H. T.; HOLMES, R. A. Bidirectional scattering characteristics of healthy green soybean and corn leaves in vivo. **Applied Optics**, v.10, n.1, p.119-127, 1971.
- CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.36, p.317-321, 1986.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Safras 2002/03 e 2003/2004. Milho 1a. Safra: Comparativo de Área, Produção e Produtividade. Quadro 11. <http://www.conab.gov.br>. (12 jun. 2005).
- DOURADO NETO, D., FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho: tecnologia da produtividade**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Produção Vegetal, 2001. p.120-125.
- DUARTE, A.P.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas - 1999/2000**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 150p.
- DUVICK D. N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. Maydica: **Bergamo**, v.37, p.69-79, 1992.
- DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; HAMILTON, R.R.; HOUWING, L. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. **Agronomy Journal**, v.84, p. 430-438, 1992.
- ELINGS, A. Estimation of leaf area in tropical maize. **Agronomy Journal**, v.92, p. 436-444, 2000.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FARNHAM, D. E.; MYLI, J.; HADEN, D. Row width and effects on corn yield in Iowa. <http://www.reimangardens.org/farms/2000reports/NW/RowWidthHybridEff-My.pdf>. (14 nov. 2002a).
- FARNHAM, D. E.; MYLI, J.; HADEN, D. Row width effects on corn yield at varying plant densities. <http://www.reimangardens.org/farms/2000reports/mcnay/RowWidthEffectsonCornY.pdf>. (14 nov. 2002b).
- FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied optics**, v.4, p.11-20. 1965.
- GIFFORD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. **Annual Review of Plant Physiology**, v.32, p.485-509, 1981.
- HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p. 475-485. 2000.
- JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.
- LANG, A.R.G.; XIANG YUEQIN, NORMAN, J.M. Crop structure and the penetration of direct sunlight. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.35, p.83-101, 1985.

- LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Productivity and the morphology of crops stands: pattern with leaves. In: EASTIN, J.D. (ed.) **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1969. p.27-47.
- LOVENSTEIN, H.; LANTINGA, E.A.; RABBINGE, R.; KEULEN, H. **Principles of production ecology**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen, 1995. 85p.
- MACHADO, E.C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, Piracicaba, 1985. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1985. p.175-200.
- MACHADO, S.; BYNUM, E.D.; ARCHER, T. L.; LASCANO, R.J.; BORDOVSKY, J.; BRONSON, K.; NESMITH, D.M.; SEGARRA, E.; ROSENOW, D.T. ; PETERSON, G.C.; XU, W. Spatial and temporal variability of sorghum and corn yield: interactions of biotic and abiotic factors. In: International conference on precision agriculture and other resource management, 5, 2000, Minnesota, **Proceedings**. ASA, CSSA, SSSA, 2001, 10p. CD-ROM.
- MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Fields Crops Research**, v.71, p.183-193. 2001.
- MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; Andrieu, B.; Chelle, M.; Casal, J.J. Maize Leaves Turn Away from Neighbors. **Plant Physiology**, v.130, n.3, p.1181-1189, 2002.
- MOLIN, J.P. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro: Fundação ABC, 2000. 72p.
- MONTGOMERY, E.G. Correlation studies in corn. **Neb. Agric. Exp. Stn. Annu. Rep.**, v.24, p.108-159. 1911.
- OHIO STATE UNIVERSITY. Corn production. (Bulletin, 472). <http://www.ohioline.osy.edu/b472/front.html>. Consultado em 08 de janeiro de 2004.
- PALHARES, M. Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho. Piracicaba. ESALQ/USP. 90 p. 2003 (Dissertação Mestrado).
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA FILHO, I.A.P.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. Milho verde: espaçamentos, densidades de plantas, cultivares e épocas de semeadura, influenciando o rendimento e algumas características de espigas comerciais (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 22., Recife, 1998. **Anais**. Recife: Embrapa, 1998.
- POMMEL, B.; MOURAUX, D.; CAPPELLEN, O.; LEDENT, J.F. Influence of delayed emergence and canopy skips on the growth and development of maize plants: a plant scale approach with CERES-Maize. **European Journal of Agronomy**, v.16, n.4, p.263-277, 2002.
- PUKKALA, T.; KUULUVAINEN, T. Effect of crown shape and tree distribution on the spatial- distribution of shade. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.40, p.215-231, 1987.
- SACHULZE, E.D.; CALDWELL, M.M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 576p.
- SAILAJA, M.V.; CHANDRASEKHAR, D.; NARAYANA, D.; RAMA, V.S. Laser-induced chlorophyll fluorescence ratio in certain plants exhibiting leaf heliotropism. **Journal Plant Physiological**, v.24, p.159-164. 1997.

- SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem o rendimento de grãos. (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. **Anais**. Florianópolis: ABMS, 2002.
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural** v.31, p.159-168, 2001.
- SERGIO, G. R.; RENZO, G. V. P.; ANDRE, H. B. Alternativas para o arranjo de plantas na cultura do milho. (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24. Florianópolis, 2002. **Anais**. Florianópolis: ABMS, 2002.
- SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.M.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy photosynthesis. Part I components of incoming radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, p.217-229, 1986A.
- SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.M.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy photosynthesis. Part I components of incoming radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, p.231-242, 1986B.
- STWART, D.W.; DWYER, L.M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, v.39, p.422-427, 1999.
- TERASHIMA, I. Productive structure of a leaf. In: TERASHIMA, I. **Photosynthesis**. New York: Alan Liss Inc, 1989. p.207-226.
- VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H (Ed.). **Crop structure and light microclimate**. Paris: INRA Editions, 1993. 518p.
- VIANELLO, R.L. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa:UFV, 2000. 448p.
- VIEIRA JR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (ed.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p.41-72.
- VIEIRA, P.A.; FARIA, L.A.; JORGE, L.A.C.; MANTOVANI, E.; ANDREOLI, C. Estimativa da área foliar na cultura de milho com emprego da técnica de análise de imagens. In: XXII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 1998, Recife – Pernambuco. **Anais**.
- WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Mean leaf angles for the ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.43, p.319-321, 1988.

MANEJO DE NITROGÊNIO E DE MATÉRIA ORGÂNICA EM MILHO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Heitor Cantarella¹; Aildson Pereira Duarte²; Cristiano Alberto de Andrade¹

1 Introdução

Recentemente, ocorreram importantes mudanças nos sistemas de produção de milho safrinha no Brasil, ressaltando-se o aumento da área com uma segunda cultura no ano agrícola (safrinha) e a expansão do sistema de plantio direto (Duarte et al., 1995).

A adoção do sistema plantio direto alterou a produção e a permanência da biomassa vegetal no solo que, por sua vez, está demandando novos estudos sobre a adubação das culturas, especialmente a nitrogenada. O nitrogênio, além de ser o nutriente fornecido em maior quantidade nas adubações, é o que tem o manejo e recomendação de adubação mais complexa.

O tema adubação nitrogenada não pode ser dissociado do nível tecnológico de produção das culturas. Culturas com diferentes produtividades extraem e exportam quantidades proporcionais de nutrientes e, portanto, necessitam de doses diferentes de adubos.

Por outro lado, muitas lavouras de milho ainda são cultivadas utilizando poucos insumos e, algumas vezes, de maneira inadequada, sendo comum a deficiência de nitrogênio desde os estádios iniciais. Como consequência, a produtividade média da cultura do milho no Brasil é baixa e não reflete o bom nível tecnológico alcançado pelos produtores empresariais (Duarte & Paterniani, 1998).

O presente artigo tem como objetivo discutir o aprimoramento da prática de adubação em lavouras de milho que empregam práticas culturais básicas, visando o aumento da produtividade desta cultura e o aperfeiçoamento dos sistemas de produção na propriedade. Considerando que grande parte destas lavouras é implantada no sistema de plantio direto e, que até recentemente, os conhecimentos sobre a adubação nitrogenada do milho neste sistema eram escassos, compilaram-se resultados de pesquisa específicos sobre o sistema plantio direto.

2 O Sistema plantio direto

O sistema de plantio direto (SPD) é caracterizado pelo não revolvimento do solo, preservando, dessa forma, os resíduos vegetais da cultura anterior sobre a superfície do solo, um componente importante deste sistema. O SPD tem sido uma alternativa para reduzir riscos de degradação ambiental, sem alterar a produtividade das culturas (Conte et al., 2003).

No Brasil, o SPD foi introduzido na região Sul a partir do final da década de 60, visando reduzir perdas de solo ocasionadas por processos erosivos.

¹ Pesquisador Científico, Instituto Agrônomo - IAC, Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais, Av. Barão de Itapura, nº 1481, Caixa Postal 28, 13.001-970 Campinas-SP. cantarella@iac.sp.gov.br; andrade@iac.sp.gov.br

² Pesquisador Científico, Programa Milho IAC, Apt. Médio Paranapanema, Caixa Postal 263, 19.800-000 Assis-SP. aildson@femane.com.br

Dessa região, o SPD se difundiu para o restante do país. A maior expansão do SPD ocorreu na década de 90 e, atualmente, cerca de 17 milhões de hectares são cultivados sob plantio direto no país. Estimativas de áreas agrícolas manejadas no SPD em São Paulo são escassas, mas sabe-se que sua adoção é crescente no Estado.

O SPD divide-se em duas fases: a de instalação, correspondente aos primeiros quatro ou cinco anos após o início do sistema, e a de estabilidade, em que claramente são observadas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

No SPD, em virtude da localização dos fertilizantes adicionados, da concentração de resíduos vegetais e da menor erosão do solo, ocorre, a partir da superfície do solo um gradiente das características químicas, com acúmulo de matéria orgânica (MO), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), fósforo (P) e potássio (K^+) nas camadas mais superficiais, em comparação com o cultivo convencional (Tabela 1).

O acúmulo de MO ou carbono (C) nas camadas superficiais do solo é função do maior aporte de fitomassa no SPD (sucessão ou rotação de culturas) e de diversos fatores associados a redução da taxa de mineralização da MO, dentre eles a preservação da estrutura do solo, que protege fisicamente frações da MO contra o ataque microbiano, e a redução da amplitude de temperatura no solo, que determina menor atividade biológica (Lopes et al., 2004; Sá, 2001).

O efeito dos resíduos culturais na amplitude de temperaturas no solo sob plantio direto é tão marcante que ajuda a atender as diferenças entre o acúmulo de MO em solos da região Sul do Brasil e da região dos Cerrados. A temperatura média mais baixa na região Sul determina taxas de mineralização da MO também menores (Sá, 1993), ou seja, há maior acúmulo de massa sobre a superfície do solo, bem como de MO no solo, em comparação com a região dos Cerrados. Essa dificuldade de manutenção da palhada na superfície do solo nas regiões com inverno seco ao norte do Estado de São Paulo até a região dos Cerrados tem sido uma preocupação, uma vez que o SPD é fundamentado nesse aspecto. Uma alternativa é a seleção e uso de espécies com grande capacidade de produção de fitomassa, relação carbono/nitrogênio (C/N) mais elevada e que se encaixem nos esquemas de sucessão/rotação das culturas de interesse econômico. A pesquisa científica vem trabalhando nesse sentido e parece sinalizar para a utilização de gramíneas forrageiras para produção de farta fitomassa em regiões do Brasil com temperaturas mais elevadas, inclusive com a possibilidade de integração entre lavoura e pecuária (Vilela et al., 2001).

Sá et al. (2001) verificaram que o estoque de C de dois Latossolos, um em Tibagi-PR e outro em Ponta Grossa - PR, aumentaram com o tempo de adoção do plantio direto, em comparação com áreas de vegetação natural, com significativo seqüestro de carbono nos primeiros 10 cm do solo ($9,37 \text{ Tg.C.ano}^{-1}$).

Tabela 1. Algumas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico em função de dois sistemas de manejo: plantio direto (PD) e cultivo convencional com arado de aiveca e grade de discos (CC). Fonte: Santos & Tom (2003).

Manejo	Al ³⁺ mmol _c dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K ⁺ mmol _c dm ⁻³
			0-5 cm	
PD	0,25	38	34,5	7,10
CC	0,44**	29**	13,5**	5,56**
			5-10 cm	
PD	0,40	30	18,8	4,56
CC	0,42	30	11,9**	4,23
			10-15 cm	
PD	0,46	28	12,2	3,44
CC	0,46	29	9,3	3,46
			15-20 cm	
PD	0,53	28	7,9	2,49
CC	0,54	27	8,9	2,51

Com relação ao N, espera-se que solos sob SPD que apresentem acúmulo de MO nas camadas mais superficiais, acumulem também N, uma vez 95% ou mais do total do N do solo encontra-se sob formas orgânicas (Camargo et al., 1999). No entanto, isso não implica necessariamente em maior disponibilidade deste nutriente no SPD. O fator determinante da disponibilidade de N após a adoção do SPD é o balanço entre imobilização e mineralização de N no solo (Sá, 1995). Durante os primeiros anos de implantação do SPD há uma relativa maior imobilização de N que tende a ser reduzida com o tempo de adoção do sistema, concomitantemente, ao aumento da mineralização. Áreas com plantio direto já estabilizado geralmente apresentam maior disponibilidade de N para as culturas (Ceretta & Fries, 1998). Há dúvidas, no entanto, se diferenças significativas na dinâmica do N ocorrem em SPD implantados em regiões onde a persistência da palhada e o acúmulo de MO no solo são pequenos, como nas regiões de inverno seco, tais como em boa parte do Estado de São Paulo, Minas Gerais e da região dos Cerrados do Brasil Central. O baixo acúmulo de palha e de matéria orgânica no solo permite levantar dúvidas se o manejo da adubação, especialmente o da nitrogenada em áreas de plantio direto nessas regiões, pode usar informações obtidas em regiões com pouca restrição hídrica no outono-inverno.

3 O N do solo e as recomendações de adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada tem um papel importante por ser o N o elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho, mas, principalmente, pela dificuldade de avaliar sua disponibilidade no solo devido às múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por microrganismos e afetadas por fatores climáticos de difícil previsão.

Mais de 95% do N do solo está na forma orgânica. O N mineral, e mais especificamente o amônio e o nitrato, são as formas predominantemente absorvidas pelas plantas. Dependendo da atividade dos microrganismos, umidade do solo, disponibilidade de carbono oxidável etc, pode ocorrer maior ou menor disponibilidade de N inorgânico por meio da mineralização da matéria

orgânica ou, inversamente, uma redução drástica no teor de N inorgânico por sua imobilização na fração orgânica. Ademais, algumas das frações do N no solo estão sujeitas a perdas por volatilização (NH_3 , N_2 , N_2O) ou lixiviação (NO_3^-) que, além dos prejuízos ao sistema produtivo, podem ter consequências negativas para o ambiente.

A complexidade das reações de N no solo dificulta o diagnóstico de sua disponibilidade para as plantas com base na análise do solo, ao contrário do que ocorre, com sucesso, para as determinações de acidez e de outros nutrientes, inclusive micronutrientes. O uso do teor de matéria orgânica ou, indiretamente, o teor de N total do solo para a recomendação de adubação nitrogenada pressupõe a liberação de uma porcentagem mais ou menos constante do N do solo para as culturas, razão porque esse índice é pouco usado (Cantarella, 1989).

Há décadas, muitos métodos de análise de solo têm sido pesquisados com o propósito de encontrar uma fração da matéria orgânica do solo que seja correlacionada com o N liberado em curto espaço de tempo para as culturas, mas, a utilização de tais métodos na prática tem sido muito limitada no mundo todo (Cantarella, 1989). No entanto, o assunto continua despertando interesse, pelo menos acadêmico (Mulvaney et al., 2001).

Recentemente, tem havido um interesse na determinação do teor de N mineral na camada até 30 cm de solo, de amostras retiradas pouco antes o período de adubação de cobertura do milho (Blackmer et al., 1989; Fox et al., 1989; Sims et al., 1995). A maior parte das pesquisas está voltada para a definição de valores críticos acima dos quais não há resposta à aplicação de N em cobertura; valores na faixa de 20 a 30 mg.kg^{-1} de N-nítrico na camada de 0 a 30 cm têm sido sugeridos (Magdof et al., 1984; Fox et al., 1989; Sims et al., 1995). Os resultados de tais testes têm sido empregados em recomendações de adubação para o milho em regiões úmidas nos Estados Unidos (Beegle et al., 1994), mas, sua adoção por parte dos agricultores não parece ser extensa. Aparentemente, o teste é útil em áreas tratadas com adubos orgânicos, que tendem a apresentar altos teores de N-nítrico no solo. Nesses casos, a preocupação maior é evitar a contaminação do lençol freático com nitrato, um aspecto que tem recebido atenção em vários países.

No Brasil, apenas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a análise do solo, através da determinação da matéria orgânica, é usada para ajustar a recomendação de N para o milho (Amado et al., 2001; SBCS, 2005) e, mais recentemente, nos Cerrados, onde o N da matéria orgânica é computado na base de 30 kg.ha^{-1} de N liberado para cada 10 g.kg^{-1} de matéria orgânica do solo (Sousa & Lobato, 2002). Mesmo assim, a contribuição do resultado da análise de solo para a definição da dose de N é relativamente pequena.

4 Extração e exportação de N pelo milho

As recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram sensivelmente no Brasil na década de 1990, acompanhando os dados de pesquisa mais recentes e a melhoria geral nas condições de cultivo, que incluem novos híbridos e melhores práticas culturais (Cantarella & Duarte, 2004).

Devido às dificuldades de se utilizar a análise de solo para a recomendação da adubação nitrogenada para o milho, os dois principais critérios empregados são a produtividade esperada e o histórico de uso da

gleba. Este último geralmente não é definido com precisão mas leva em conta que características do solo tais como textura, além da cultura anterior, podem interferir na eficiência de uso do N aplicado ou contribuir mais ou menos com o fornecimento de N para o milho.

Entre as inovações mais importantes está a segmentação de doses de nutrientes conforme a produtividade esperada, a qual pode ser bastante elástica para o milho devido às diferenças de solo, manejo, material genético e época de plantio. Os rendimentos podem variar de 2 t.ha⁻¹ em um cultivo fora de época (safrinha) até 12 ou 15 t.ha⁻¹ em lavouras bem manejadas e em condições de solo e clima favoráveis. Este conceito está estreitamente relacionado ao fato das culturas com maiores rendimentos extraírem e exportarem maiores quantidades de nutrientes e, portanto, necessitarem de doses diferentes de adubos. Ele é especialmente importante para o N, que é o elemento extraído em maiores quantidades pela planta de milho.

A exigência das culturas por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total, principalmente pela existência de picos de máxima absorção pela planta.

O acúmulo de matéria seca do milho se processa de forma contínua até a maturidade dos grãos, existindo período de acumulação mais intensa próximo ao florescimento (Sayre, 1948; Hanway, 1962b e Hay et al., 1953). Para a maioria das cultivares a taxa de absorção do N é mais acentuada em período anterior ao florescimento (Sayre, 1948; Hay et al., 1953), e para alguns genótipos modernos, podem ocorrer dois picos de absorção, um antes do florescimento e outro durante o enchimento dos grãos (Karlen et al., 1988).

Nas nossas condições a quantidade de N acumulada até o florescimento está entre a metade e 2/3 do total (Andrade et al., 1975a; Ulloa, 1982; Duarte et al., 2003). Nos Estados Unidos, Sayre (1948) e Hanway (1962b) observaram que quando a acumulação de matéria seca foi de 50 e 44%, o N acumulou, em média, 66 e 65%, respectivamente.

A maior taxa diária de acúmulo de matéria seca e de nutrientes, juntamente com o aumento da tolerância às altas densidades de plantas, contribuíram para que os híbridos modernos tivessem maior acúmulo de matéria seca e produtividade de grãos por área do que os antigos cultivares. Karlen et al. (1987) verificaram que, no florescimento, o acúmulo de matéria seca foi, em média, de apenas 30% ao passo que, o N acumulou 60% do máximo, respectivamente. Devido a essa baixa acumulação de matéria seca em relação ao acúmulo de nutrientes, Karlen et al. (1987) sugeriram que o primeiro período de acúmulo de nutrientes ocorreu mais rapidamente que nos estudos anteriores. Isso, provavelmente, reflete a melhoria no vigor dos híbridos nos primeiros estádios, mas também refletem o efeito de populações muito altas.

Os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos. A proporção do N translocado das diferentes partes da planta para a espiga depende consideravelmente das condições ambientais (Beauchamp et al., 1976). Dependendo do ano, da adubação nitrogenada do solo e do balanço híbrido, a remobilização do N variou de 20% até 100% do N dos grãos (Ma et al., 1999). Sob condições de baixa fertilidade, o N disponível no solo poderá ser limitante durante o período de enchimento dos grãos e a remobilização de N dos tecidos vegetativos tornar-se particularmente importante.

Tabela 2. Extração de macro e micronutrientes pela parte aérea do milho, em estágio de máximo acúmulo ou no final do ciclo da cultura - Valores médios de quatro trabalhos desenvolvidos no Brasil e compilados por Cantarella & Duarte (2004).

Nutriente	Extração de nutrientes nos trabalhos de			
	Andrade et al. (1975a,b) ⁽¹⁾	Furlani et al. (1977) ⁽²⁾	Vasconcellos et al. (1983) ⁽³⁾	Hiroce et al. (1989) ⁽⁴⁾
	kg.t ⁻¹ grãos			
N	29,2	16,4	19,2	27,7
P	5,0	2,1	3,8	4,6
K	35,2	18,7	8,2	17,6
Ca	5,6	5,5	3,9	4,2
Mg	5,8	2,2	2,6	4,6
S	5,2	8,5	-	2,6
	g.t ⁻¹ grãos			
B	11,4	-	-	17,0
Cu	18,5	-	-	7,2
Zn	41,1	-	34,4	51,4
	t.ha ⁻¹			
MSPA ⁽⁵⁾	16,3	-	11,7	13,5
Grãos	6,2	6,8	5,1	4,9

⁽¹⁾ Piracicaba: média de 5 cultivares; ⁽²⁾ Campinas: média dos híbridos simples HS 1227 e HS 7777; ⁽³⁾ Sete Lagoas: estimativa a partir dos cultivares BR105 e BR 126; ⁽⁴⁾ Campinas: média de 4 híbridos comerciais e 6 populações; ⁽⁵⁾ Matéria seca da parte aérea.

Existe grande variação na literatura entre os valores médios de macronutrientes extraídos para a produção de 1 tonelada de grãos (Tabela 2). Considerando uma produtividade média de 6 t.ha⁻¹ e os valores da tabela 2, tem-se uma produção de matéria seca na parte aérea igual a 14,2 t.ha⁻¹ e uma extração de 139, 23, 120 e 33 kg.ha⁻¹ de N, P, K e S, respectivamente (2,5 t de massa seca da parte aérea por 1 t de grãos). Para produtividade média de 12 t.ha⁻¹ de grãos e 24 t.ha⁻¹ de matéria seca na parte aérea Karlen et al. (1987) estimaram uma extração de 239, 44 e 232 kg.ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente (2,0 t de massa seca da parte aérea por 1 t de grãos). Nos dados obtidos no Brasil, proporcionalmente, a extração de nitrogênio por unidade de grãos produzida e o índice de colheita de grãos foram menores.

5 Contribuição do N das culturas de cobertura

A definição da contribuição do N associada ao histórico da gleba em SPD está ligada principalmente à cultura de cobertura ou cultura antecessora.

Resíduos culturais com elevada relação C/N podem reduzir substancialmente as quantidades de N disponíveis no solo para a cultura em sucessão e, por isso, durante os primeiros 4 a 5 anos de adoção do SPD, a dose de N deve ser da ordem de 20 a 30 % superior à comumente recomendada para a cultura (Bayer, 1983; Lopes et al., 2004). Tal prática visa suprir adequadamente a cultura com N, sem que a fração imobilizada para decomposição da cobertura vegetal, prejudique o rendimento da cultura em sucessão.

De acordo com Sá (1995), após o quarto ano de implantação do plantio direto há o início do estabelecimento do equilíbrio das transformações que

ocorrem com o N no solo e, após nove a doze anos, há maior disponibilização de N, com menor resposta à adubação nitrogenada e, portanto, com a possibilidade de redução das doses desse nutriente.

A seqüência de culturas em rotação também influencia o manejo da adubação nitrogenada. Espécies leguminosas que fixam N_2 atmosférico em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* promovem, para a cultura em sucessão, maior disponibilidade de N no solo. Em função desta disponibilização, pode-se reduzir em cerca de 50% a dose para a cultura em sucessão à leguminosa, como, por exemplo, para o milho cultivado depois de soja (Lopes et al., 2004).

Com a expansão do sistema de plantio direto, há um renovado interesse na contribuição do N das culturas de cobertura de inverno. Rendimentos de milho, sem a adubação nitrogenada, cerca de 2 a 3 t/ha menores quando cultivado após aveia do que após uma leguminosa foram observados por Teixeira et al. (1994), Aita et al. (1994), Ros & Aita (1996) e Amado et al. (2000), o que permite estimar a contribuição aparente das leguminosas usadas (ervilhaca, ervilha forrageira, tremço) em 30 a 60 $kg \cdot ha^{-1}$ de N, compatível com as estimativas de Amado et al. (2000) de 58 $kg \cdot ha^{-1}$ de N para a ervilhaca e 38 $kg \cdot ha^{-1}$ para a ervilhaca cultivada juntamente com a aveia preta. Dados obtidos por Silva (2005), utilizando coberturas de crotalária e de milheto marcadas com ^{15}N em plantio direto permitem inferir que a contribuição do N das culturas de cobertura para o milho cultivado na seqüência variou de 60 a 90 $kg \cdot ha^{-1}$ de N (Figura 1), embora o efeito das culturas de cobertura, especialmente o da crotalária, sobre o rendimento de grãos de milho provavelmente exceda aquele explicado apenas pelo fornecimento de N.

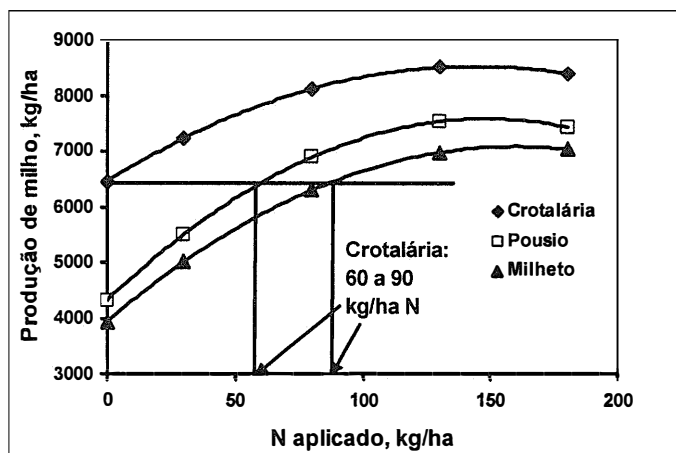


Figura 1. Resposta do milho cultivado em plantio direto à adubação nitrogenada em função de diferentes culturas de cobertura (Adaptado de Silva, 2005).

No estudo conduzido por Aita et al. (1994), o rendimento de grãos de milho plantado após as leguminosas foi semelhante ao obtido com 90 $kg \cdot ha^{-1}$

de adubo nitrogenado, o que pode refletir o fato de haver alguma imobilização de N nas áreas cultivadas após a adubação em plantio direto. Nas condições do estado do Rio Grande do Sul, Amado et al. (2000) observaram que 70% da liberação do N da fitomassa da ervilhaca ocorreu nas primeiras 4 semanas. Porém, nem todo o N das leguminosas é absorvido. A recuperação aparente, pelo milho, do N contido na parte aérea de leguminosas de inverno em plantio direto, variou de 35 a 45% (Aita et al., 1994). Porcentagens menores foram obtidas por Silva (2005) utilizando materiais marcados com ^{15}N : a recuperação pelo milho em SPD do N da crotalaria foi de 15,8% no primeiro ciclo e de apenas 2,6% no milho cultivado no segundo ano. Para o N do milho, a recuperação foi menor: 10,4% no primeiro ano e 2,9% no segundo (Silva, 2005).

A demanda por N em plantio direto é geralmente maior do que em plantio convencional, especialmente em cultivos após gramíneas e nos primeiros anos de implantação do sistema, como demonstram os resultados de Sá (1996). Entre as razões para a maior exigência de N em plantio direto estão a utilização e imobilização do nutriente para a decomposição da palhada e as chances de aumento de perdas de N por desnitrificação e lixiviação, em decorrência do aumento da umidade no solo.

Não é possível fazer generalizações devido a diferenças de manejo e condições locais. Sá (1995b) observou maior liberação de N do solo em SPD consolidado com menores respostas do milho à adubação nitrogenada. No Rio Grande do Sul, Teixeira et al. (1994) observaram um aumento do teor de N orgânico no solo que atingiu até 17,5 cm de profundidade após 10 anos de manejo com culturas de inverno contendo leguminosas ou espécies capazes de reciclar N, comparado com as áreas de vegetação espontânea. Nas áreas com maior acúmulo de N devido aos sistemas de cultura em plantio direto, a magnitude das respostas à adubação nitrogenada diminuiu, apesar dos altos rendimentos obtidos (Teixeira et al., 1994). O mesmo tem sido observado no estado do Paraná, onde o acúmulo de matéria orgânica em sistemas de plantio direto estabilizados, em regiões com condições climáticas favoráveis, têm permitido a obtenção de altas produtividades de milho com a aplicação de quantidades relativamente baixas de N (Fontoura et al., 1998). Esses autores verificaram que, em Guarapuava-PR, após consórcio de nabo forrageiro e ervilhaca como pré-cultura, o milho produziu 11 t.ha^{-1} sem adubação nitrogenada de cobertura e com apenas 24 kg.ha^{-1} de N semeadura. A resposta à aplicação de N em cobertura foi pouco expressiva e com a máxima resposta em torno da dose 50 kg.ha^{-1} . Essas condições, no entanto, não se apresentam na maior parte das áreas em que se cultiva milho no Brasil.

Em anos com excessos hídricos acentuados após a semeadura, o histórico da área pode não permitir diferenciações na resposta da cultura do milho ao N em cobertura. Os experimentos desenvolvidos em 2004/2005 no Vale do Paranapanema, em São Paulo, são esclarecedores: independente do histórico da área, a resposta foi linear em quatro experimentos desenvolvidos em solos argilosos e arenosos (Figura 2).

A recomendação de adubação nitrogenada leva em conta principalmente a produtividade esperada, o que está diretamente relacionado com a extração pela planta e exportação de N pelos grãos e o histórico da gleba. Recomendações usadas no Brasil são ilustradas nas tabelas 3 e 4. Nas recomendações do RS e de SC, o teor de matéria orgânica do solo também é considerado (Tabela 4). Uma recomendação de adubação nitrogenada para o

milho típica nos Estados Unidos é a aplicação de 17,8 (Sims et al., 1995) a 21,4 kg de N por tonelada de grãos a ser produzido, subtraindo desse valor, um crédito de N por conta do cultivo anterior de leguminosas (17 kg de N por tonelada de grãos de soja, até um máximo de 45 kg.ha⁻¹ de N) ou da aplicação de adubos orgânicos ou outras fontes de N (Below, 2000). Esses valores geralmente não levam em conta a contribuição do N do solo e há evidências de que, em muitos casos, estão superestimados (Vanotti & Bundy, 1994; Sims et al., 1995; Below, 2000), pois, aparentemente, as condições ambientais que levam ao aumento de produção de grãos são as mesmas que promovem uma maior mineralização do N do solo. Além disso, tem havido um aumento contínuo nos últimos 25 anos, do rendimento de grãos em regiões como a de Illinois, nos Estados Unidos, ao passo que o consumo de N tem permanecido constante (Below, 2000).

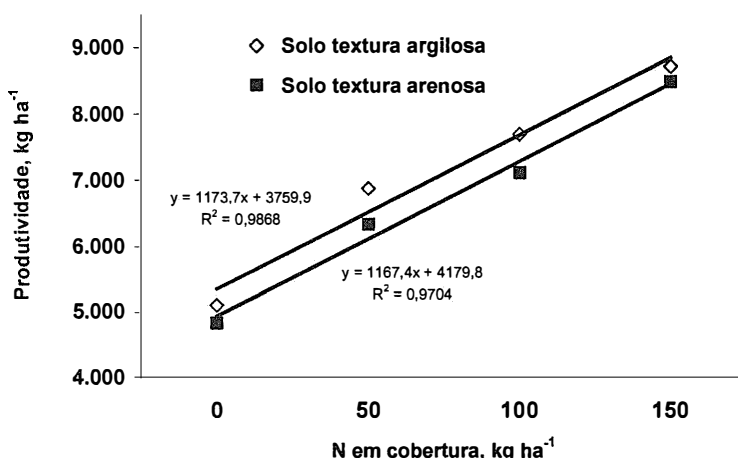


Figura 2. Resposta do milho ao nitrogênio em cobertura em solos de textura argilosa (média de quatro experimentos) e solo de textura arenosa (um experimento) no sistema plantio direto na região paulista do Médio Paranapanema, em 2004/05 (Fonte: Banco de dados do IAC).

Resultados recentes nas condições de plantio direto em São Paulo mostraram que a dose econômica de N em cobertura foi semelhante para a faixa de produtividade de 4 a 8 toneladas por hectare (Figura 3). Ou seja, mesmo quando a produtividade obtida foi inferior a esperada, a dose recomendada de N para produzir 6 a 8 t.ha⁻¹ de grãos continuou proporcionando retorno econômico próximo ao máximo.

Outro aspecto que deve ser levado em conta quando se calcula a dose de N para repor o nutriente removido pela cultura é a eficiência de utilização do elemento pelo milho. No Brasil, foram estimadas as seguintes taxas de recuperação de N pelo milho, utilizando fertilizantes marcados com ¹⁵N: Neptune (1977): 40 a 58%; Reichardt et al. (1979): 89%; Coelho et al. (1991): 56%; Lara-Cabezas et al. (2000): <30% (para uréia). A recuperação do N é

normalmente menor quanto maior a dose aplicada. Fernandes et al. (1998) observaram, em plantio direto, que a parte aérea do milho apresentou recuperação aparente de 12 a 52%, para doses aplicadas de 240 e 60 kg.ha⁻¹ de N. Para milho irrigado, Coelho et al. (1992) observaram valores de recuperação aparente variando de 34 a 68% para doses de N semelhantes às usadas por Fernandes et al. (1998).

Tabela 3. Recomendação de adubação nitrogenada de cobertura para milho no Estado de São Paulo⁽¹⁾.

Produtividade esperada t/ha	Classe de resposta a N ⁽²⁾		
	alta	média kg.ha ⁻¹ N ⁽²⁾	baixa
4-6	60	40	20
6-8	90	60	40
8-10	120	90	50
10-12	140	110	70

⁽¹⁾ Aplicar mais 20 a 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura;

⁽²⁾ Probabilidade de resposta a N: **Alta**: solos corrigidos, cultivo intensivo de gramíneas ou milho contínuo; primeiros anos de plantio direto; solos arenosos sujeitos a altas perdas por lixiviação; **Média**: solos ácidos que serão calcareados antes do cultivo do milho; sucessão com leguminosas; solos em pousio por 2 anos; uso moderado de adubos orgânicos; **Baixa**: solos em pousio por longo tempo; cultivo após pastagens (exceto solos arenosos); cultivo intensivo de leguminosas ou adubo verde; quantidades elevadas de adubos orgânicos.

(Fonte: Raij & Cantarella, 1997).

Tabela 4. Recomendação de adubação nitrogenada para SPD conforme cultura de cobertura, teor de MO do solo e produtividade esperada. Recomendação para 6 a 9 t.ha⁻¹.

Produção de MS da cultura de cobertura antecedente t.ha ⁻¹	N recomendado para teor de MO no solo, g.kg ⁻¹		
	< 25	25 a 50 kg.ha ⁻¹ de N	> 50
Leguminosas (Fabácea)			
< 2	120	90	70
2 a 3	100	60	40
> 3	90	50	30
Gramínea (Poácea)			
< 2	160	100	70
2 a 4	160	110	80
> 4	170	130	90
Pousio de Inverno	160	120	80

¹ Milho em rotação anual com soja no verão: reduzir 20% da recomendação de N

Fonte: Amado et al. (2002)

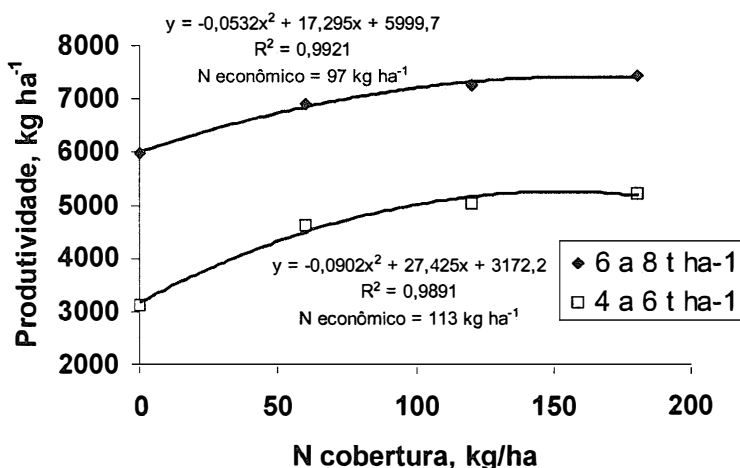


Figura 3. Resposta do milho ao nitrogênio em cobertura de acordo com a faixa de produtividade em 10 experimentos desenvolvidos no sistema plantio direto no Estado de São Paulo (Fonte: Duarte, 2003 e banco de dados do IAC).

Uma alternativa para diagnóstico da disponibilidade de N para o milho que tem recebido bastante atenção é o uso de medidor de clorofila (SPAD, Minolta Co., Japão). Trata-se de um aparelho portátil que produz leituras rápidas. A quantidade de luz vermelha transmitida pela folha indica a quantidade de clorofila, a qual, por sua vez, serve como avaliação indireta do N foliar – de determinação demorada para permitir a pronta correção de deficiências de N. As correlações entre a leitura do clorofilômetro e o N foliar geralmente são altas, mas, são afetadas por diferenças de híbridos e pelo “stress” hídrico (Schepers et al., 1996), idade da planta (Dwyer et al., 1995a), local (Schepers et al., 1996) e posição da leitura na lâmina foliar (Chapman & Barreto, 1997) mas melhora quando se ajusta os valores da leitura ao peso específico da folha (Chapman & Barreto, 1997).

A medida realizada com o clorofilômetro tem se mostrado útil para separar áreas com e sem probabilidade de resposta à adubação nitrogenada para o milho (Piekielek & Fox, 1992; Schepers et al., 1992, 1996; Smeal & Zhang, 1994; Sims et al., 1995; Varvel et al., 1997a). Porém, a estimativa da dose de N a ser aplicada não é definida pela leitura, pois depende de outros fatores. O uso do clorofilômetro tem se mostrado interessante para adubar milho em áreas irrigadas e de alta produtividade, onde são empregadas altas doses de N e a necessidade de sua aplicação pode ser decidida e implementada rapidamente, melhorando assim, a eficiência de uso do N e diminuindo perdas por lixiviação e contaminação de águas subterrâneas (Varvel et al., 1997a).

Como existem variáveis que afetam o valor da leitura do clorofilômetro, não é possível definir um único nível crítico, mesmo porque parece haver diferenças também entre lotes de aparelhos. Para contornar esse problema, Schepers et al. (1992) estiveram entre os primeiros a sugerir o uso de áreas de referência – geralmente algumas ruas de milho, suficientemente adubadas com

N – para definir o valor adequado de leitura para a gleba. Assim, a padronização pode ser feita comparando-se as medidas da área padrão usando o mesmo híbrido, folha, estágio de crescimento, local, horário e condição de umidade. Com a adoção de áreas de referência, ao invés dos níveis críticos de leitura, utilizam-se índices de suficiência (leitura da área avaliada/leitura da área de referência). Considera-se que a gleba tem deficiência de N quando a leitura da área avaliada for menor que 90 ou 95% daquela usada como referência (Varvel et al., 1997a).

6 A adubação nitrogenada no plantio direto

O adubo nitrogenado sólido mais utilizado no Brasil é a uréia, a qual, aplicada sobre a superfície de solos ácidos ou alcalinos – prática comum nas adubações de cobertura – está sujeita a perdas de N por volatilização de amônia, que podem atingir valores superiores a 30% do N aplicado (Terman, 1979).

Em áreas de plantio direto, com o acúmulo de palha na superfície, as perdas de N da uréia por volatilização de amônia tendem a ser mais intensas e rápidas devido à maior atividade da urease nos resíduos vegetais. Uma série de experimentos com milho, em plantio direto, conduzidos por Lara Cabezas et al. (1997a, 1997b, 2000) mostraram perdas que variaram de 40 a 78% do N aplicado sobre a superfície do solo na forma de uréia. A avaliação feita por meio de produção de grãos não mostrou diferenças significativas provavelmente porque a dose usada (100 kg.ha^{-1} de N em cobertura) era suficientemente alta para mascarar as diferenças de fontes.

Cantarella et al. (2003b) compararam a eficiência da uréia e do nitrato de amônio para plantas perenes em solo com cobertura morta, similar ao SPD. As perdas de N por volatilização de amônia variaram entre 26 e 44% do total aplicado via uréia, enquanto essas perdas foram somente da ordem de 4% quando a fonte foi o nitrato de amônio.

A incorporação da uréia ao solo, no entanto, reduz significativamente ou evita tais perdas. Fontes de N na forma de nitrato, ou, em solos ácidos, amônio, não estão sujeitas a perdas importantes por volatilização de amônia.

A aplicação de N em milho tem sido, tradicionalmente, feita no Brasil de forma parcelada, com uma pequena dose no plantio – geralmente correspondente a 30% ou menos do total – e o restante em cobertura. As razões para o parcelamento incluem evitar o excesso de sais no sulco de plantio, mas, principalmente, perdas de N por lixiviação de nitrato.

Coelho et al. (1991) observaram perdas por lixiviação de apenas 4% do N aplicado com uréia (60 kg.ha^{-1} de N) na cultura do milho em um Latossolo vermelho-escuro argiloso e, com base nesse e outros resultados da literatura, sugerem que as perdas por lixiviação não constituem, de forma generalizada, o principal fator que afeta o aproveitamento do N fertilizante pelo milho no Brasil. No entanto, deve-se levar em conta o uso de doses de N relativamente pequenas e parceladas, utilizadas nos poucos estudos conduzidos no País. Atualmente, doses superiores a 100 kg.ha^{-1} de N estão se tornando comuns em cultivos de alto rendimento e a possibilidade de ocorrência de perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos, não pode ser descartada.

Recentemente, no Brasil, tem havido uma tendência de aumento das doses de N no plantio do milho, dos 10 a 20 kg.ha^{-1} empregados há alguns anos, para cerca de 30 a 40 kg.ha^{-1} . Isso é consequência do aumento de

rendimento esperado, mas, reflete também a maior demanda por N das áreas em plantio direto e o reconhecimento da importância do fornecimento de N ao milho nos primeiros estádios de desenvolvimento. Embora o suprimento de N próximo do florescimento seja decisivo, como por exemplo, para garantir um maior número de grãos por espiga por meio da redução do abortamento de grãos (Below, 1995), o potencial de rendimento para essa cultura começa a ser definido no início do período de crescimento vegetativo quando há um rápido aumento da área foliar (Hanway, 1971). Assim, plantas jovens de milho requerem uma ampla disponibilidade de N para não haver limitação de crescimento, o que explica os efeitos positivos da adubação com N no plantio (Schröder et al., 2000).

De fato, Varvel et al. (1997a) não conseguiram atingir a produção máxima de grãos em uma cultura de milho irrigado quando a correção da deficiência de N foi feita durante o desenvolvimento da cultura, somente a partir de V-8, porque o suprimento inicial de N estava abaixo do ótimo e o potencial de rendimento já havia sido reduzido. Os autores do presente texto também verificaram redução do potencial produtivo na ausência da adubação nitrogenada de semeadura (Duarte, 2003) (Figura 4). No entanto, doses muito altas no plantio são desnecessárias, pois, após a emergência, as plantas de milho absorvem N a taxas inferiores a $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, além de haver riscos de fitotoxicidade, como observou Sá (1995b) com a aplicação de 60 kg.ha^{-1} de N.

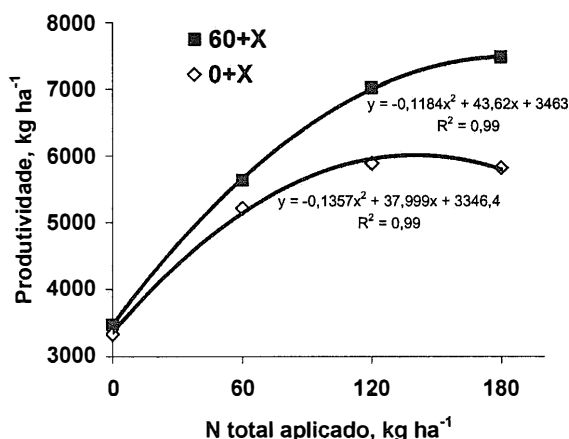


Figura 4. Resposta média dos híbridos DKB 333B e Mater ao nitrogênio aplicado todo em cobertura e parcelado na semeadura (60 kg ha^{-1}) e o restante em cobertura em Votuporanga (solo textura arenosa) no sistema plantio direto em 1998/99 (Duarte, 2003).

Karlen et al. (1987) ressaltaram a importância de quantidades adequadas de nitrogênio no solo, especialmente durante as primeiras fases do ciclo das plantas de milho quando a absorção de nutrientes ocorre rapidamente. A diferenciação floral tem início quando a planta está com a 5ª. folha expandida;

no estádio de 7 a 8 folhas ocorre a definição do número de linhas de grãos na espiga e, por volta da 12ª. folha, o tamanho da espiga é determinado (Fancelli & Dourado Neto, 1996, 2000).

Embora possa ocorrer grande absorção de N após o florescimento, normalmente não é necessário o parcelamento da adubação nitrogenada nesse período devido ao sistema radicular estar bem desenvolvido, permitindo a absorção de N em grande volume de solo, que pode ser oriundo do fertilizante ou não.

A decisão de parcelar a adubação nitrogenada de cobertura, além daquela recomendada para a aplicação no estádio de 4 a 8 folhas, depende do tipo de solo, dose a ser aplicada e manejo da cultura. Basso & Reichardt (1995), com milho fertirrigado no inverno, obtiveram maiores rendimentos com a aplicação parcelada de N com a água de irrigação, em 5 vezes de 34 a 101 dias após a emergência (dae), do que com a aplicação convencional, no solo, até 47 DAE. No entanto, vários estudos têm mostrado não haver vantagem em parcelar a cobertura nitrogenada para aplicação de uma parte próximo do estádio de florescimento, especialmente em solos argilosos (Sangoi & Almeida, 1994; Escosteguy et al., 1997).

7 Antecipação da adubação nitrogenada

A antecipação da adubação nitrogenada de cobertura do milho em plantio direto, para o momento do manejo da espécie cultivada para a produção de palha no outono-inverno tem despertado interesse de pesquisadores e agricultores. Os primeiros estudos visando à antecipação da aplicação de N em milho em plantio direto estabelecido foram conduzidos por Sá (1996) na região dos Campos Gerais, no Estado do Paraná. Essa região se caracteriza por uma boa distribuição de chuvas no inverno, que permite a formação de uma espessa cobertura de palha, que, normalmente, permanece sobre o solo durante todo o verão. Nas áreas sob plantio direto há muitos anos nessa região, é comum se observar uma “perenização” da cobertura de palha sobre o terreno. Sá (1996) aplicou o adubo nitrogenado destinado ao milho por ocasião da semeadura da aveia ou de sua rolagem, que antecedia o milho no sistema de cultivo. A antecipação da aplicação do N não resultou em diminuição dos rendimentos de grãos em relação à aplicação convencional (no plantio do milho e em cobertura, com as plantas com 6-8 folhas) e, em alguns casos, Sá (1996) observou até um pequeno acréscimo de rendimento com a antecipação da adubação nitrogenada.

Esses resultados e outros obtidos em ensaios conduzidos principalmente no sul do Brasil levaram alguns agricultores daquela região a adotar a antecipação da adubação nitrogenada em milho em plantio direto. O principal argumento é que o N aplicado à aveia pode ser imobilizado momentaneamente pela matéria orgânica presente no sistema, em especial pelos resíduos com alta relação C/N, e se tornar disponível para a cultura do milho posteriormente, pois os fatores que favorecem a mineralização do N retido na fração orgânica – alta temperatura e umidade – são os mesmos que promovem o crescimento do milho. Uma razão prática para a adoção deste procedimento é que os agricultores têm tempo e máquinas livres no final do inverno. Nestes casos, a antecipação da adubação do milho é conveniente, pois, na época da adubação de cobertura convencional, muitos agricultores estão ocupados com o plantio da soja ou outra atividade da estação das águas.

Tabela 5. Produção de massa seca de plantas de milho e recuperação do N no estágio de maturação fisiológica, em função da aplicação antecipada ou não do adubo nitrogenado marcado com ^{15}N .

Parte amostrada	Forma de aplicação da uréia ⁽¹⁾	N na planta kg.ha ⁻¹	N total proveniente da uréia %	N recuperado ⁽²⁾ %
<i>SAFRA 1999/00</i>				
Parte aérea	Antecipado	54,8	24,2	16,4 ± 2,0
	Convencional	57,0	34,4	24,5 ± 0,4
Grãos	Antecipado	134,3	17,4	28,9 ± 4,0
	Convencional	121,3	25,0	37,7 ± 1,0
Planta - total	Antecipado	202,5		48,3 ± 6,6
	Convencional	190,2		66,4 ± 0,8
<i>SAFRA 2000/01</i>				
Parte aérea	Antecipado	41,1	24,0	11,6 ± 7,0
	Convencional	52,0	19,8	10,4 ± 1,3
Grãos	Antecipado	122,3	29,0	44,0 ± 5,8
	Convencional	141,8	26,7	47,1 ± 8,3
Planta - total	Antecipado	176,1	-	58,5 ± 8,3
	Convencional	208,9	-	63,0 ± 10,6

Adaptado de Cantarella et al. (2003).

⁽¹⁾ Ureia aplicada na dose de 80 kg ha⁻¹ de N 45 dias, em 1999/00 e 20 dias antes da semeadura do milho, em 2000/01 (antecipada) ou com a planta com 6 folhas totalmente expandidas.

⁽²⁾ Valor médio do ^{15}N da uréia recuperado pela planta ± desvio padrão da média de 3 repetições.

No Estado de São Paulo, Cantarella et al. (2003), em área de Latossolo Vermelho sob SPD no município de Ribeirão Preto, usando uréia marcada com ^{15}N , observaram na safra 1999/00 que a recuperação do N pelo milho, quando a aplicação do adubo nitrogenado foi feita 45 dias antes da semeadura, foi inferior à verificada com o parcelamento tradicional (Tabela 5). Na safra 2000/01 a época de aplicação do N não afetou o aproveitamento do N pelo milho e isso foi atribuído à ocorrência de inverno seco e baixa precipitação no mês de janeiro de 2001, cerca de 1/3 da média histórica, que reduziu as possíveis perdas por lixiviação e favoreceu a absorção do N fertilizante aplicado antecipadamente. O rendimento do milho nas duas safras seguiu o mesmo padrão da recuperação do N, ou seja, a aplicação do N nos períodos convencionais (semeadura e cobertura com 5 folhas) resultou em maior produção de grãos somente na safra 1999/00, mas não no ano com pouca chuva (Tabela 6). Lara Cabezas et al. (2005) também não observaram diferenças no rendimento de milho em SPD em cerrado de Uberlândia, quando o N foi aplicado na rolagem da aveia que antecedeu o milho ou em cobertura no período tradicional.

Este procedimento, que vem sendo adotado em algumas áreas com grande acúmulo de matéria orgânica e palhada na superfície do solo, tem, porém seus riscos. Em anos com precipitação pluvial alta nos meses que antecedem o plantio do milho, os riscos de perdas de N por lixiviação podem

ser sensíveis. Pöttker & Wiethölter (2000) estudaram por 3 anos, na região de Passo Fundo, RS, o rendimento de grãos de milho em função da época de aplicação do N e observaram em uma das safras uma queda substancial da produção quando a maior parte do N foi aplicado em pré-semeadura após a rolagem da aveia ou no plantio do milho, em comparação com a obtida com a aplicação no N em cobertura (Tabela 7). Isto ocorreu em um ano com excesso de chuvas em outubro e novembro. Nos dois outros anos não houve efeito da época de aplicação do N, ou seja, também não houve vantagem na antecipação da adubação sobre o rendimento de grãos (Tabela 7). Resultados semelhantes foram relatados por Basso & Ceretta (2000) que observaram, queda de rendimento de grãos de milho com a aplicação antecipada de N em um ano com muita chuva no início da época de plantio, porém, obtiveram resultados favoráveis com a aplicação do N logo após a dessecação da aveia preta em um ano em que não houve excesso de chuva naquele período.

Tabela 6. Rendimento de grãos de milho em função da aplicação antecipada ou não do adubo nitrogenado marcado com ^{15}N .

Forma de aplicação da uréia ⁽¹⁾	Rendimento de grãos ⁽²⁾
<i>SAFRA 1999/00</i>	kg.ha ⁻¹
Antecipado	9.436 ± 470
Convencional	10.088 ± 487
<i>SAFRA 2000/01</i>	
Sem nitrogênio	6.886 ± 260
Antecipado	7.467 ± 428
Convencional	7.660 ± 700

Adaptado de Cantarella et al. (2003).

⁽¹⁾ Uréia aplicada na dose de 80 kg ha⁻¹ de N 45 dias, em 1999/00 e 20 dias antes da semeadura do milho, em 2000/01 (antecipada) ou com a planta com 6 folhas totalmente expandidas.

⁽²⁾ Valor médio do rendimento de grãos ± desvio padrão da média.

Os autores do presente texto também verificaram que em dois de três ambientes avaliados no Estado de São Paulo em 2001/02, houve redução do potencial produtivo com a aplicação do N na pré-semeadura do milho em áreas de aveia preta no sistema plantio direto (Figura 5). Nesses casos, ocorreram excessos hídricos que lixiviaram o N inorgânico.

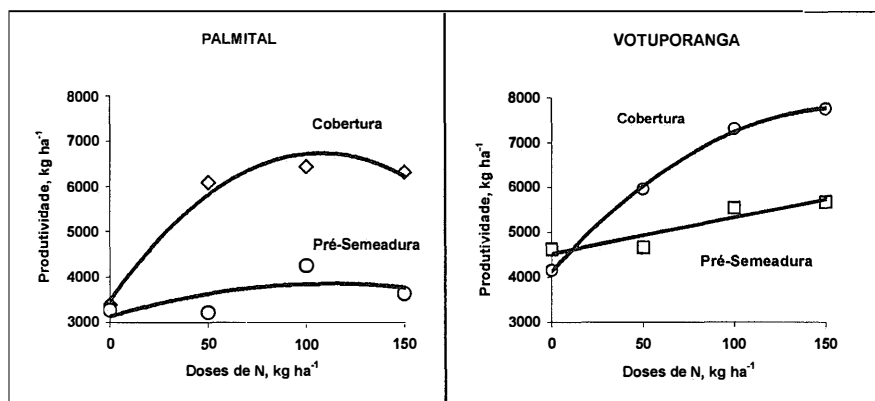


Figura 5. Resposta do híbrido DKB 333B ao nitrogênio aplicado cerca de um mês antes da semeadura do milho (pré-semeadura) e em cobertura, na presença de 30 kg.ha⁻¹ de N na semeadura, no sistema plantio direto em Palmital-SP (solo argiloso) e Votuporanga-SP (solo arenoso) em 2001/2002 (Duarte & Cantarella, não publicado).

Tabela 7. Efeito de épocas e modos de aplicação de N (100 kg.ha⁻¹) sobre o rendimento de grãos de milho, cultivado após aveia preta em sistema de plantio direto em Passo Fundo, RS.

Época de aplicação do N ⁽¹⁾			Rendimento de grãos no ano agrícola		
Pré-semeadura ⁽²⁾	Semeadura do milho kg.ha ⁻¹	Cobertura no milho	1997/98	1998/99	1999/00
			t.ha ⁻¹		
100 la	0	0	6,4 bc	8,6 a	7,3 ab
100 li	0	0	6,9 b	9,1 a	7,4 ab
70 la	30 li	0	6,2 c	9,1 a	7,5 a
70 li	30 li	0	6,7 bc	9,3 a	7,7 a
0	100 la	0	6,5 bc	9,1 a	-
0	70 + 30 ⁽³⁾	0	6,4 bc	9,3 a	7,4 ab
0	30 li	70 la	8,1 a	8,9 a	7,9 a
	30 li	70 inc.	8,5 a	9,1 a	7,2 ab
Testemunha			-	6,6 b	4,7 c

(¹) la: aplicação a lanço; li: aplicação em linhas espaçadas de 0,45 m; inc: incorporado ao solo

(²) Adubo aplicado alguns dias após a dessecação da aveia preta

(³) 70 kg.ha⁻¹ aplicados na entrelinha e 30 kg.ha⁻¹ na linha de plantio.

Médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem pelo teste de Duncan (5%).

(Fonte: Pöttker & Wiethölter, 2000).

A antecipação da aplicação do N pode ser uma prática pouco segura em solos arenosos, mais sujeitos a perdas por lixiviação, como o do ensaio de Votuporanga (Figura 5). Além disso, parece arriscado contar com imobilização

do N na fração orgânica e sua posterior mineralização, altamente dependentes das condições climáticas, geralmente pouco previsíveis. Na verdade, não existem evidências experimentais de que a maior parte do N aplicado antecipadamente seja realmente imobilizada (Lara Cabezas et al., 2005). Os solos onde a antecipação da adubação nitrogenada tem apresentado bons resultados geralmente estão sob plantio direto há vários anos e têm acúmulo de matéria orgânica. Nessas condições, o suprimento natural de N do solo é normalmente alto, como indicam os altos rendimentos obtidos nas parcelas sem a adição de fertilizante nitrogenado, o que pode explicar o pequeno efeito da época de aplicação do N. Deve-se levar em conta que, na maior parte do Brasil, não tem sido observado um grande acúmulo de palha nas áreas em plantio direto em virtude dos invernos secos.

Na maioria dos estudos em que a antecipação da adubação nitrogenada não provocou redução do rendimento de grãos de milho, tampouco elevou a produção. Por outro lado, há muitas evidências experimentais de que a aplicação do N antes do estabelecimento da cultura do milho pode resultar em decréscimos no aproveitamento do N fertilizante e no rendimento de grãos em anos com chuvas normais ou elevadas, comuns no verão (Basso & Ceretta, 2000; Pöttker & Wiethölter, 2002; Cantarella et al., 2003) (Figura 5). Assim, de maneira geral, para a maior parte das áreas cultivadas com milho, existe grande risco na alteração da atual recomendação de parcelamento do N para a cultura do milho, que compreende a aplicação de uma fração menor do N no plantio e uma dose maior em cobertura.

8 Considerações finais

O histórico da área auxilia a previsão da resposta do milho ao nitrogênio no sistema plantio direto, mas quando ocorrem excessos hídricos a resposta ao N é acentuada independente da(s) espécie(s) já cultivada(s) na área. De maneira geral, para o sistema plantio direto no Estado de São Paulo, verificou-se que se deve aplicar cerca de 30 kg ha^{-1} de N na semeadura mais 90 a 120 kg ha^{-1} de N em cobertura para obter produtividades entre 4 a 8 t ha^{-1} . Dentro desta faixa de doses, o N em cobertura deverá ser ajustado de acordo com a textura do solo, histórico da área, cultivar e população de plantas.

A omissão de N na semeadura pode comprometer o potencial produtivo, mesmo quando é feita a adubação no estádio de 6 a 8 folhas. Já, a antecipação da adubação do milho para antes da semeadura apresenta elevada probabilidade de lixiviação de N no solo e, conseqüentemente, deficiência de N e comprometimento da produtividade do milho. Devido ao elevado risco de não dar certo, não é uma prática recomendável nas para a maioria das condições.

9 Referências bibliográficas

- AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.101-108, 1994.

- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A.; FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.299-305, 1999.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.189, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.1, p.241-248, 2002.
- ANDRADE, A.G. de; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. de; SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de macronutrientes. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", v.32, p.115-149, 1975a.
- ANDRADE, A.G. de; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. de; SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) II. Acumulação de micronutrientes. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", v.32, p.151-171, 1975b.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.905-915, 2000.
- BASSO, L.H.; REICHARDT, K. Acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em milho cultivado no período de inverno com aplicação de nitrogênio no solo e via água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.12, p.1361-1373, 1995.
- BAYER, C. Manejo da Fertilidade do solo na cultura do milho. In: BRESOLIN, M. (Ed.) Contribuições para a cultura do milho para o Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fundação de Ciência e Tecnologia, 1993. p.71-93.
- BEAUCHAMP, E.G.; KANNENBERG, L.W.; HUNTER, R.B.. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. **Agronomy Journal**. v.68, p.418-422, 1976.
- BEEGLE, D.; FOX, R.H.; ROTH, G.W.; PIEKIELEK, W.P. Pre-sidedress soil nitrate test for corn. Pennsylvania State University. College of Agricultural Sciences. Cooperative Extension. University Park, 1994. 2p. (Agronomy Facts, 17).
- BELOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. p. 275-301. In PESSARAKLI, M., ed. Handbook of plant and crop physiology. New York, Marcel Dekker. 1995.
- BELOW, F.E. Physiology, nutrition, and nitrogen fertilization of corn in the United States. Simpósio Rotação soja/milho no plantio direto. Anais. Piracicaba, 3-6/7/2000. Piracicaba, POTAFOS. CD-Rom 2.
- BLACKMER, A.M.; POTTKE, D.; CERRATO, M.E.; WEBB, J. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. **J. Prod. Agric.**, v.2, p.103-109, 1989.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap.7, p.117-133.

- CANTARELLA, H. Matéria orgânica e nitrogênio do solo. p. 37-74. In Bull, L.T.; Rosolem, C.A. (ed.) Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. 1989. 360p.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. Tecnologias de produção do milho. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. cap. 5, p.139-182.
- CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando 15N-uréia. XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (CD-Rom) 2003
- CANTARELLA, H.; MATTOS JÚNIOR, D.; QUAGGIO, J.A.; RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.67, p.215-223, 2003b.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. p.111-120.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (15N) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.187-193, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.61-67, 1992.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC.. Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3a. ed. Passo Fundo, SBCS – Núcleo Regional Sul. 1995, 224p.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.893-900, 2003.
- DUARTE, A.P.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. (Coord.) Cultivares de milho no Estado de São Paulo: resultados das avaliações regionais. IAC/CAT/Empresas. Campinas, IAC, 1998. 81p. (Doc. IAC, 62).
- DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-19, 2003.
- DUARTE, A.P.; SAWAZAKI, E.; BRUNINI, O.; KANTHACK, R.D.; SORDI, G. Adaptação de cultivares de milho às semeaduras extemporâneas no Estado de São Paulo, Brasil. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA Y REUNIÓN DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 3., 4., Cochabamba, 1995. Memórias. Cochabamba: Fundación Simon I. Patino, 1995. p.267-282.

- DUATE, A.P. Resposta de Cultivares de Milho ao Nitrogênio no Sistema Plantio Direto e sua Influência na Qualidade dos Grãos. Piracicaba, 2003. 174p. Tese. (Doutorado em Agronomia). ESALQ/USP.
- DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B. L.; STEWART, D. W.; TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, v.75, p.179-182, 1995a.
- ESCOSTEGUY, P. A. V.; RIZZARDI, M. A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.71-77, 1997.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. 2000. Produção de milho. Guaíba, RS, Livraria e Editora Agropecuária. 2000, 360p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In Seminário sobre fisiologia da produção e manejo de água e de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade. Piracicaba, POTAFOS.1996, 29p.
- FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A. de A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.9, p.1691-1698, 1998.
- FONTOURA, S.M.V.; BLUM, M.M.C.; NOVATIZKI, M.R.; CLAZER, E.R. Efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura e da população sobre o rendimento e a qualidade de grãos de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 22., Recife, 1998. Resumos, [CD-Rom]. Recife, ABMS, IPA, Embrapa Milho e Sorgo, 1998. 4p.
- FOX, R.H.; ROTH, G.W.; IVERSEN, K.V.; PIEKIELEK, W..P. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. **Agronomy Journal**, v.81, p.971-974, 1989.
- FURLANI, P.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; SILVA, W.J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, v.36, n.22, p.223-229, 1977.
- HANWAY, J.J. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. **Agronomy Journal**, v.54, p.217-222, 1962b.
- HANWAY, J.J. How a corn plant develops. Ames, Iowa State University Cooperative Extension Service. 1971. 18p. (Special report, 48).
- HAY, R.E.; EATLEY, E.B.; DeTURK, E.E. Concentration and translocation of nitrogen compounds in the corn plant (*Zea mays*) during grain development. **Plant Physiology**, v.28, p.606-621, 1953.
- HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; LIMA, M. Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho. Campinas, Instituto Agrônomo, 1989. 24p. (Boletim Científico, 17).
- 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.
- KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v.80, p.232-242, 1988.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.421-487, 1997.

- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de $N-NH_3$ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.489-496, 1997.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.363-376, 2000.
- LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115p.
- MA, B.L.; DWYER, L. M.; GREGORICH, E.G. Soil Nitrogen Amendment Effects on Nitrogen Uptake and Grain Yield of Maize. **Agronomy Journal**, v.91, p.650-656, 1999.
- MAGDOFF, F.R.; ROSS, D.; AMADON, J. A soil test for nitrogen availability to corn. **Agronomy Journal**, v.48, p.1301-1304, 1984.
- MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; HOEFT, R.G.; BROWN, H.M. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need of nitrogen fertilization. **Soil Sci. Soc. American Journal**, v.65, p.1164-1172, 2001.
- NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar utilizando sulfato de amônio - 15N. **Anais da ESALQ**, v.34, n.1, p.515-39, 1977.
- PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, v.84, p.59-65, 1992.
- PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Antecipação da aplicação de nitrogênio em milho. Fertbio 2000, Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 22, 22 a 26/10/2000. Santa Maria, RS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, CD Rom.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo. 1997, 285p. (Boletim Técnico, 100).
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIÉGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.17-20, 1979.
- ROS, C. O. da; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.135-140, 1996.
- SÁ, J.C. de M. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto. . Piracicaba, 2001. 141p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.
- SÁ, J.C. de M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. Anais. Castro: Fundação ABC, 1995. p.9-20.
- SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, RS. Aldeia Norte Editora. 1996. 24p.

- SÁ, J.C.M. Nitrogênio: Influência da rotação de culturas e resposta da cultura de milho em solos sob plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO. Castro, 1995. Anais. Castro: Fundação ABC, 1995b. p.213-227
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.1, p.13-24, 1994.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v.33, n.3, p.477-486, 2003.
- SAYRE, J.D. Mineral accumulation in corn. **Plant Physiology**, v.23, n.3, p.267-281, 1948.
- SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 10 ed. 2004. 400p.
- SCHEPERS, J. S.; BLACKMER, T. M.; WILHELM, W. W.; RESENDE, M. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. **Journal of Plant Physiology**, v.148, p.523-529, 1996.
- SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.2173-2187, 1992.
- SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v.66, p.164, 2000.
- SILVA, E.C. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado. Tese de Doutorado. Piracicaba. CENA/USP. 2005. 111p.
- SIMS, J. T.; VASILAS, B. L.; GARTLEY, K. L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. Evaluation of soil and plant nitrogen Tests for maize on manured soils of the Atlantic Coastal-Plain. **Agronomy Journal**, v.87, p.213-222, 1995.
- SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1495-1503, 1994.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Cerrado. Correção do solo e adubação. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados. 2002. 416p.
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.207-214, 1994.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Adv. Agronomy**, v.31, p.189-223, 1979.
- ULHOA, A.M.C. Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho. Campinas, Fundação Cargill, 1982. 66p.
- VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **J. Prod. Agric.**, v.7, p.243-249, 1994.

- VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1233-1239, 1997a.
- VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Chlorophyll meter and stalk nitrate techniques as complementary indices for residual nitrogen. **Journal of Production Agriculture**, v.10, p.147-151, 1997b.
- VASCONCELLOS, C.A.; BARBOSA, J.V.A.; SANTOS, H.L. dos; FRANÇA, G.E.de Acumulação de massa seca e de nutrientes por duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.8, p.887-901, 1983.
- VILELA, L.; BARCELLOS, A.O.; SOUSA, D.M.G. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 20p. (Documentos 42, dezembro de 2001).

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DO FÓSFORO EM AGROECOSSISTEMAS

Nelson Horowitz¹; Thercio M. Stella de Freitas²

1 Introdução

Nos últimos anos, a crescente preocupação mundial com a sustentabilidade da exploração agrícola, gerou o desenvolvimento de novos conhecimentos e tecnologias para diferentes agrossistemas. Consoante a isto, a agricultura brasileira tem evoluído visando sistemas mais conservacionistas, no qual o sistema de plantio direto (SPD) apresenta significativa importância.

Nesse contexto, o uso de fertilizantes minerais se destaca devido às alterações na dinâmica dos nutrientes e à sua importância no aumento da produtividade. O conhecimento científico tem acompanhado tal evolução, entretanto ainda existem vários questionamentos.

Os solos do Brasil, na sua maioria, são deficientes de fósforo (P). Porém, quando adubados com fertilizantes fosfatados, estes têm baixa eficiência (Raj, 2004). Isto ocorre por que grande parte do P adicionado se torna indisponível em razão das suas reações com o solo. Neste aspecto, os diferentes agrossistemas utilizados na produção agrícola influenciam na eficiência da adubação fosfatada. Por exemplo, para o SPD, devido ao não revolvimento do solo e ao acúmulo de matéria orgânica remanescente de cultivos anteriores, é esperado que a adubação fosfatada tenha uma melhor eficiência do que em sistema de plantio convencional (SPC).

O objetivo deste artigo é discorrer sobre algumas estratégias de manejo do fósforo em agroecossistemas sob a ótica dos sistemas de cultivo.

2 O manejo do agroecossistema e o fósforo

Um agroecossistema é entendido como um ecossistema onde se encontra a produção agrícola, podendo ser analisado através dos sistemas de produção de alimento como um todo, incluindo seus conjuntos complexos de insumos, produção e as interconexões entre as partes que os compõem (Gliessman, 2000). Já o ecossistema natural, segundo o mesmo autor, pode ser definido como um sistema funcional de relações complementares entre organismos vivos e seu ambiente, delimitado por fronteiras escolhidas arbitrariamente, as quais, no espaço e no tempo, parecem manter um equilíbrio dinâmico, porém estável.

A intervenção antrópica nos ecossistemas, a fim de estabelecer uma produção agrícola, torna os agroecossistemas diferentes dos ecossistemas naturais. Essas diferenças ocorrem em termos das variáveis do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes, dos mecanismos reguladores das diversas populações de organismos, entre outros.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento – Roullier Brasil, Av. Carlos Gomes, 1340/12 andar, Bairro Auxiliadora, 90480-001, Porto Alegre, RS. nelson@roullier.com.br.

² Engenheiro Agrônomo, Mestre, Coordenador de Marketing, Pesquisa e Desenvolvimento – Roullier Brasil, Av. Carlos Gomes, 1340/12 andar, Bairro Auxiliadora, 90480-001, Porto Alegre, RS. thercio@roullier.com.br.

O objetivo do manejo sustentável do agroecossistema, do qual o solo é um importante componente, é estabelecer um sistema de produção que reduza tais perturbações, conservando, ao máximo possível, a estabilidade do sistema original.

O solo é um sistema aberto com permanente troca de matéria e energia com o meio (Addiscott, 1995), tendo como uma de suas funções a disponibilização de nutrientes essenciais à planta, entre estes o P.

A dinâmica do P é alterada pelo manejo do solo, pois dependendo do sistema de cultivo adotado pode ocorrer perda de carbono, o que confere decréscimo da qualidade do solo (Doran, 1997), influenciando na disponibilidade do P para as plantas. Assim, a adoção do sistema de cultivo adequado para cada situação é uma prática fundamental, pois este atua diretamente nas alterações das propriedades físicas e na biociclagem dos nutrientes.

Entre os sistemas de cultivo adotados na agricultura do Brasil destacam-se o SPD e o SPC. O SPD é um processo de semeadura em solo não revolvido e devidamente protegido por resíduos de culturas anteriores, no qual as sementes são colocadas em sulcos ou em covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das mesmas com a terra (Muzilli, 1981), contrariamente ao SPC onde o revolvimento do solo é freqüente, com a incorporação de resíduos orgânicos. Conseqüentemente, a dinâmica do P no solo é afetada pelo tipo de sistema de cultivo adotado.

3 O fósforo no solo e a sua importância para os vegetais

A quantidade de P em um solo nativo é bastante variável conforme o material de origem e o estágio de desenvolvimento do mesmo. Os solos do Brasil são geralmente deficientes neste nutriente, que é essencial às plantas. No solo, o P pode estar em duas formas químicas: a inorgânica (Pi) e a orgânica (Po) (Wietholter, 2004). A forma Pi compreende o P associado a sesquióxidos amorfos e cristalinos de ferro e de alumínio e a compostos contendo cálcio. A forma Po compreende compostos estáveis e relativamente lábeis, cuja importância pode se tornar crescente à medida que o teor de matéria orgânica aumenta (Wietholter, 2004).

A proporção entre Pi e Po no solo é variada. Em ecossistemas naturais, como florestas e campos nativos, o P disponível é controlado pela ciclagem do Po, tendo como componente essencial a biomassa microbiana (Guggenberger et al. 1996). Para solos cultivados, a proporção de Pi e Po pode variar, dependendo do tipo de sistema de cultivo adotado, entre outros fatores.

Quando um fertilizante fosfatado é adicionado ao solo, conforme o esquema seguinte, a sua fração solubilizada passa rapidamente para a forma lábil (em equilíbrio com a solução do solo, disponível à planta). Depois, de uma forma mais lenta, passa para a forma não-lábil, de nula ou baixa disponibilidade.

P-fertilizante → P-solução ↔ P-lábil → P-não lábil (Raij, 2004)

A planta absorve o fósforo da solução do solo, principalmente, na forma de íons ortofosfatos (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), sendo que o contato ion - raiz ocorre, quase que exclusivamente, por difusão.

Manter as plantas bem nutridas com P durante todo seu ciclo é um fator primordial para obtenção de altas produtividades, visto que este nutriente está relacionado aos processos metabólicos da planta como a fotossíntese, a

respiração, a divisão celular e a reprodução. Na planta, o P se concentra nas áreas mais ativas de crescimento e, no final do ciclo, a maior parte do P absorvido é transferido para os grãos ou frutos. Desta maneira, grande parte do fósforo utilizado é exportado, embora a extração total não seja muito elevada quando comparada com outros macronutrientes, como o nitrogênio e o potássio. Para o milho, entre 80% e 90% do P absorvido é translocado e exportado pelos grãos (Vitti, 2003). A deficiência do elemento tem efeitos negativos retardando o crescimento da planta, causando sintomas de deficiência que podem ser visualizados através da coloração arroxeada nas margens das folhas mais velhas e nos caules, resultante do acúmulo de antocianinas.

4 Características do fósforo em sistemas de cultivo

O SPC promove o revolvimento do solo e a incorporação dos resíduos vegetais remanescentes da cultura antecessora. Devido a essa prática, o P se distribui mais homogeneamente no perfil do solo (Bayer, 1996). Por outro lado, o íon ortofosfato é colocado em intenso contato com a superfície das partículas do solo, aumentando a adsorção deste íon com colóides do solo ou a sua precipitação. Conseqüentemente, o P do solo ou adicionado tem sua eficiência reduzida, principalmente após a formação de fósforo não lábil.

Já em SPD, alguns trabalhos (Muzilli, 1983; Centurion et al., 1985; Sidiras & Pavan, 1985; Bayer, 1996) encontraram aumento do teor de fósforo nas camadas superficiais quando comparado a outros sistemas de preparo do solo. Levando em consideração a sua baixa mobilidade no solo, a maior concentração de fósforo nos primeiros cinco centímetros sob SPD deve-se à adição de fertilizantes na superfície, à menor erosão, ao não revolvimento do solo e à reciclagem realizada pelas plantas (Andraski et al., 1985). A tendência de incremento de matéria orgânica no solo neste sistema, resulta em maior eficiência do fósforo adicionado quando comparado ao SPC. Prochnow et al. (2004) apontam as seguintes razões para tal evento: (i) o recobrimento de sítios de fixação de P por radicais orgânicos; (ii) a formação de compostos organofosforados; e (iii) a substituição dos íons fosfatos por íons orgânicos nos sítios de cargas positivas, responsáveis pela adsorção de P no solo.

No SPD, o íon ortofosfato tem contato reduzido com as partículas do solo, devido à colocação do fertilizante ser localizada e ao não revolvimento do solo neste sistema de cultivo. Conseqüentemente, os efeitos de adsorção são menores quando comparados ao SPC, tornando o P adicionado ao sistema mais disponível à absorção do vegetal (Sá, 2004). Além disto, no local de colocação do fertilizante, sua adsorção é menor (Guertal et al., 1991), pois há saturação dos sítios de adsorção de P e devido à diminuição da energia de ligação do fosfato com os colóides do solo, propiciando aumento do P em formas mais lábeis. O aumento na disponibilidade de P nos primeiros centímetros de profundidade do solo no SPD pode resultar em maior transformação do Pi em Po, pois nesta camada há acúmulo de matéria orgânica.

Outro aspecto importante na dinâmica do P em diferentes sistemas de cultivo é quanto à atividade biológica. Os microrganismos do solo desempenham papel fundamental no ciclo biogeoquímico do fósforo e na sua disponibilidade para as plantas, mediante o fluxo de P pela biomassa microbiana, a solubilização do Pi, a mineralização do Po e a associação

micorrízica com as plantas. O acúmulo de material orgânico no SPD resulta em ambiente (temperatura e umidade) favorável ao desenvolvimento da atividade microbiana, conseqüentemente ocorre o aumento de P nesta biomassa, estimulado pela menor perturbação do solo (Rheinheimer, 2000; Carneiro et al., 2004) e pela aplicação de fertilizantes fosfatados, contribuindo para o aumento da disponibilidade de P na superfície do solo (Conte, 2001; Carneiro et al., 2004).

Tais afirmações levam à conclusão de que o SPD é mais eficiente na utilização do fósforo, proporcionando maior disponibilidade deste nutriente (Tokura et al., 2002). Entretanto, algumas particularidades, como o comportamento do P em diferentes texturas de solo, tornam o agroecossistema SPD complexo na determinação da contribuição efetiva do fósforo ao sistema solo-planta. Em solos argilosos com altos teores de óxidos de ferro, pode ocorrer pouca modificação nos teores de Po (Rheinheimer, 2000) e de matéria orgânica (Bayer, 1996), mesmo com a adoção do SPD por vários anos, quando comparados a solos mais arenosos. Essas diferenças entre as formas de fósforo acumuladas em função da textura do solo, também foram observadas por Tokura et al. (2002), que verificaram predomínio de Pi em relação ao Po em solos argilosos quando cultivados no SPD por onze anos.

5 Estratégias de manejo da adubação fosfatada em sistemas de cultivo

A diferença de intensidade de revolvimento do solo nos SPC e SPD resulta em diferentes graus de mistura do solo com o adubo fosfatado. Isto, aliado ao modo de aplicação, à dose e à fonte do fertilizante, influenciam na estratégia do manejo da adubação fosfatada.

Anghinoni (2004) comenta que as pesquisas das formas de aplicação do fósforo nos diferentes sistemas de cultivo, de um modo geral, têm se restringido a comparações de situações extremas como aplicações a lanço, com incorporação ou não, e aplicações em linha. O mesmo autor salienta que para cultivos com grande espaçamento entre linhas, como o milho, métodos de aplicação intermediária (por exemplo, parte do adubo a lanço incorporado e parte no sulco de plantio) podem propiciar maior eficiência do adubo fosfatado. O mesmo é reforçado por Prochnow et al. (2004) que destaca a importância de estudos regionais para determinar a melhor forma de aplicação de adubos fosfatados.

O suprimento de P apenas para parte do sistema radicular da planta, aumenta a eficiência de absorção por unidade de raiz em relação ao suprimento para todo o sistema radicular. Localizando desta forma o fertilizante fosfatado, ocorre também o aumento no crescimento radicular nas frações adubadas do solo, aumentando a eficiência da adubação em relação à mistura do adubo com toda a porção do solo. Porém, segundo Anghinoni & Barber (1980), a fração do solo a ser fertilizada para a máxima eficiência da adubação varia com a capacidade de retenção de P do solo e com a dose de adubo aplicada (Figura 1). Esta figura mostra que quanto maior a capacidade de retenção do fósforo do solo, menor é a fração do solo a ser fertilizada para a máxima eficiência do fertilizante. Da mesma forma, o aumento da dose de P adicionada ao solo, tem sua eficiência aumentada quando misturado com maiores frações do solo (Figura 2).

Do ponto de vista prático, percebe-se que a importância da localização do adubo aumenta com o teor de argila do solo. Porém, quando estes fertilizantes

são aplicados em doses baixas e em solos com baixo teor de P, em geral, se recomenda uma aplicação localizada, na linha de plantio (Prochnow et al., 2004), independente da textura do solo. Entretanto, para a adubação localizada, deve-se ter atenção redobrada para os períodos de déficit hídrico, pois a distribuição do fósforo é conhecida como moduladora da arquitetura radicular, conforme demonstrado por Moreira (2004), afetando também a distribuição das raízes no perfil do solo, e, conseqüentemente, a absorção de outros nutrientes e de água pela planta (Anghinoni, 2004). Sousa & Lobato (2004), recomendam que para doses superiores a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o fertilizante fosfatado seja aplicado a lanço e incorporado, principalmente, para solos muito deficientes deste elemento. Para a mesma condição de solo, a aplicação de doses inferiores a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para culturas anuais, é indicado a localização do fertilizante no sulco de plantio. Os mesmos autores afirmam que para solos com teores de P adequados ou altos, o modo de aplicação pode ser escolhido em função da praticidade da operação. Para o estabelecimento de SPD em novas áreas deficientes de P, a doses recomendadas dos fertilizantes fosfatados podem ser aumentadas e estes devem ser aplicados a lanço e incorporados através de aração e gradagem, principalmente em solos com teores de argila acima de 20%, pois a mobilidade deste elemento no solo é baixa e a elevação posterior de seus teores em toda a camada arável do solo será pouco provável (SBCS/CQFS, 2004).

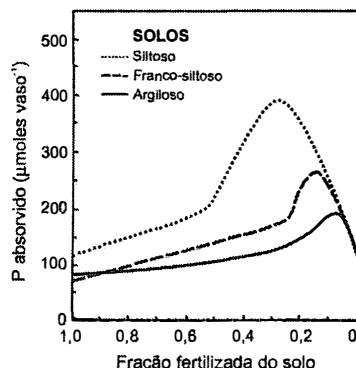


Figura 1. Absorção de fósforo pelo milho predita pelo modelo de Claassen & Barber (1976) em função da adição de 100 mg.kg^{-1} de P em diferentes frações de solos em diferentes capacidades de adsorção de fósforo (Anghinoni & Barber, 1980).

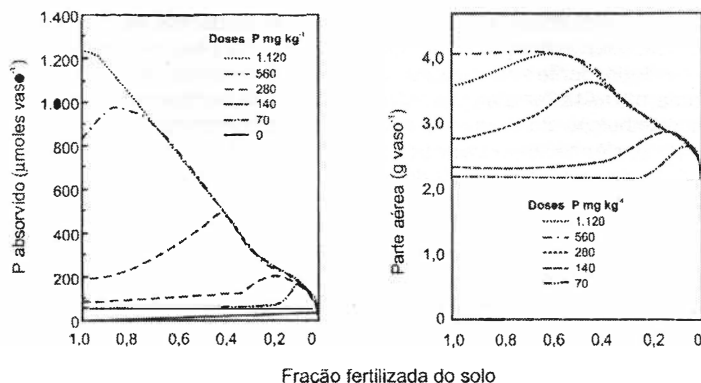


Figura 2. Absorção de fósforo e crescimento de milho, preditos pelo modelo de Claassen & Barber (1976), em função da adição de 100 mg.kg⁻¹ de P, em diferentes frações fertilizadas de solos (Anghinoni & Barber, 1980).

A mobilização freqüente do solo no SPC favorece as reações de adsorção e precipitação do P oriundo de um fosfato com alta solubilidade em água (superfosfatos ou fosfatos de amônio), por este ficar exposto a reações com o solo, reduzindo o seu efeito residual com o tempo. Para manejos conservacionistas, sem a mobilização do solo, como o SPD, a localização do adubo fosfatado de alta solubilidade em água e o aumento de concentração de seus compostos solubilizados em linhas, deve resultar em um aumento do efeito residual, embora com uma maior concentração de raízes nos pontos de maior concentração de P.

Já para fontes de liberação gradual de P, como os fosfatos naturais reativos, deverá ocorrer um aumento de sua eficiência, nos primeiros cultivos, sempre que o manejo com revolvimento do solo for utilizado. Isto ocorre devido ao aumento da área superficial de contato deste fertilizante com o solo, aumentando a sua solubilização Horowitz (1998). Por outro lado, em SPD ocorre o acúmulo de matéria orgânica com o passar dos anos, resultando em diminuição do alumínio tóxico. Com isto, as recomendações oficiais têm indicado uma redução da necessidade de aplicação de calcário quando comparado ao SPC, demonstrando a viabilidade para o SPD em se trabalhar com solos com valores de pH mais ácidos. Conseqüentemente, há um aumento de possibilidade de utilização de fosfatos naturais reativos neste sistema, pois valores de pH mais baixos e teores de matéria orgânica maiores aumentam as taxas de dissolução dos fosfatos naturais reativos (Khasawneh & Doll, 1978).

Sousa et al. (1999), utilizando diferentes modos de aplicação de fosfato natural reativo simulando condições de plantio direto e convencional, demonstraram a importância da incorporação destes fosfatos para se obter boa eficiência agrônômica na sua aplicação (Tabela 1), principalmente para os primeiros cultivos.

Tabela 1. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) do fosfato natural reativo de Gafsa aplicado a lanço e no sulco de plantio, em doses anuais de 80 kg de P_2O_5 ha⁻¹, em quatro cultivos de soja, em área com e sem preparo do solo (SOUSA et al., 1999).

Preparo do solo	Modo de aplicação	IEA (%)			
		Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4
Com	Lanço	66	80	104	110
Com	Sulco	16	53	83	97
Sem	Lanço	0	64	60	63
Sem	Sulco	16	45	45	70

Para o SPD, é necessário precaução quando se espalha a lanço e em superfície o fosfato natural reativo, pois o valor de pH em água da superfície do solo pode estar acima de 6, devido à adição superficial do calcário, o que diminuirá a reatividade do fosfato natural. Horowitz (2004) comenta que para o SPD, os fosfatos naturais reativos devem ser aplicados, preferencialmente, nas linhas de plantio (ao invés de serem aplicados a lanço em superfície) e em culturas de inverno ou que tenham um espaçamento entre linhas pequeno, como por exemplo, o trigo, visando uma maior área superficial de contato do adubo com o solo. De qualquer forma, para ambos os sistemas de cultivo tratados neste artigo, a indicação de utilização destes fosfatos é restrita à adubação corretiva de P ou para solos em que o teor de P esteja classificado como “médio” ou superior (SBCS/CQFS, 2004), no caso de adubação de manutenção. Para solos com baixo P, em que será realizada adubação apenas no sulco de plantio, o uso de fosfatos com alta solubilidade em água é o mais indicado.

6 Diagnóstico e indicações de adubação fosfatada em sistemas de cultivo

Os programas de adubação têm o objetivo de auxiliar no diagnóstico da fertilidade de um solo para fins de tomada de decisão em relação à aplicação de adubos. O método de diagnóstico mais utilizado no Brasil é análise do solo, que é precedido de amostragens do mesmo. Atualmente, com a consolidação do SPD, o diagnóstico do solo mediante amostragens e a posterior indicação da sugestão de adubação deve ser distinto daquele praticado para o SPC, sobretudo, para o fósforo.

O SPD promove a formação de sítios, com diferenças de estágios de P residual em decorrência da adubação fosfatada em sulco de semeadura, com profundidades e espaçamentos diferentes (Sá, 2004). Consequentemente, ocorre o aumento da variabilidade espacial (horizontal e vertical) em atributos da fertilidade do solo (Schlindwein & Anghioni, 2000), principalmente para o fósforo disponível (Bayer, 1996). Isto vai determinar o plano de amostragem do solo para fins de diagnóstico da fertilidade. Salet et al. (1996) e Souza et al. (1998) identificaram aumentos do coeficiente de variação do fósforo disponível no SPD quando comparado com o SPC, o que requer um aumento do número de sub-amostras para compor uma amostra representativa da área (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de variação de fósforo disponível e números de sub-amostras em solos com mais de cinco anos em sistema de preparo do solo convencional (PC) e sistema de plantio direto (PD).

Autores	Sistema de cultivo	Coeficiente de Variação (%)	Número de sub-amostras
Salet et al. (1996)	PC	34	9
	PD	76	43
Souza et al. (1992)	PC	25	5
	PD	32	14

Em SPC e cultivo mínimo, os limites de inferência estatística são atendidos com 10 a 20 sub-amostras seja qual for o instrumento de amostragem de solo (trados ou pás) (SBSC/CQFS, 2004). Já para o SPD, é necessário aumentar o número de amostras, especialmente se forem utilizados trados. Porém, a pá de corte é a mais indicada para amostragens neste sistema de cultivo. Sugere-se a amostragem de zero a 20 cm de profundidade para as áreas de plantio convencional ou em áreas de instalação de SPD (SBSC/CQFS, 2004). Para áreas em SPD já consolidado, podem ser utilizadas amostragens de zero a 10 cm (SBSC/CQFS, 2004). Essas indicações têm sido utilizadas para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, entretanto, deve-se considerar as recomendações locais para determinar o número de amostragens, o amostrador do solo, bem como a profundidade de amostragem, visto que a variabilidade espacial dos nutrientes no solo dependerá do tipo do solo, das questões locais de cultivo e das práticas de manejo. Para amostragens neste sistema, o mesmo também é sugerido por Sá (2004). Porém, para o SPD, é ainda mais importante, quando comparado ao SPC, a realização de um diagnóstico de P no solo com outros instrumentos de diagnose, como a análise foliar da cultura anterior e o histórico da área a ser cultivada.

7 Agradecimento

Os autores agradecem ao Eng. Agr., M.Sc., Thiago Stella de Freitas pelo apoio, pela revisão e pelas sugestões na elaboração deste artigo.

8 Referências bibliográficas

- ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Dordreschster, v.46, p. 161-168, 1995.
- ANDRASKI, B.J.; MULLER, D.H.; DANIEL, T.C. Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. **Soil Science Society of American Journal**, v.49, p.1523-1527, 1985.
- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.537-562, 2004.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.44 p. 1016-1020, 1980.

- BAYER, C. **Dinâmica da material orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 240p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.7, p.661-669, 2004.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I.; FERNANDES, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Campinas, n.9, 267-270, 1985.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S.A. Simulation model for nutrient uptake from the soil by a growing plant root system. **Agronomy Journal**. Madison, v.68, p.961-964, 1976.
- CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fósforo pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto**. Porto Alegre, 2001. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **CD-Rom...** Rio de Janeiro: SBSCS, 1997.
- GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 653 p., 2000.
- GUERTAL, E.A.; ECKERT, D.J.; TRAINA, S.J.; LOGAN, T.J. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, n.2, p.410-413, 1991.
- GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L. & THOMAS, R.J. Assessing the organic phosphorus status of an oxisol under tropical pastures following native savanna using ^{31}P NMR spectroscopy. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.23, p.332-339, 1996.
- HOROWITZ, N. **Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula**. 1998, 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.665-687, 2004.
- KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.30, p.159-206, 1978.
- MOREIRA, M.F. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro comum em função da distribuição e do teor de fósforo no solo**. Piracicaba, 2004. 135 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2004.
- MUZZILI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: **Plantio direto no estado do Paraná**. IAPAR, Londrina, Circular n. 23, 1981.
- MUZZILI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.7, p.95-100, 1983.

- PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.605-663, 2004.
- RAIJ, B. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.107-115, 2004.
- RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 2000. 210p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000
- SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.201-222, 2004.
- SALET, L.R.; KRAY, C.H.; FORNARI, T.G. Variabilidade horizontal e amostragem de solo no sistema plantio direto. In: **Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo**, Lages: NRS/SBCS, p.74-76, 1996.
- SBCS/CQFS. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Comissão de Química e Fertilidade do Solo, Porto Alegre, 400p., 2004.
- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.611-617, 2000.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.9, p.249-254, 1985.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos na Região do Cerrado. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T. E ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.157-196, 2004.
- SOUZA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E.; SOARES, W. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília, DF, **CD-Rom**, Ciência do solo e qualidade de vida. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999.
- SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, 1992. 162 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solos sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.10, p.1467-1476, 2002.
- VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JR. M.C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: **Milho: Estratégias de manejo para alta produtividade**. Ed. FANCELLI, A.L.; NETO DOURADO, D. Piracicaba, ESALQ/USP/LPV, p.134-197, 2003.
- WIETHÖLTER, S. Fósforo na cultura do trigo. In: **Fósforo na agricultura brasileira**, Ed. YAMADA, T.; ABDALLA S.R.S. Piracicaba: POTAFOS, p.457-494, 2004.

MANEJO RACIONAL DE DOENÇAS DO MILHO

Gisèle Maria Fantin¹

1 Introdução

Nos últimos anos, vem sendo observado um aumento da produtividade da cultura do milho no Brasil em função, principalmente, da utilização adequada de híbridos cada vez mais produtivos e da maior profissionalização do agricultor, com melhor emprego de tecnologias básicas de produção. Por outro lado, ao mesmo tempo tem sido notada maior ocorrência de doenças tanto na safra de verão como na safrinha (milho extemporâneo semeado de janeiro a abril), as quais podem acarretar danos à produtividade e diminuição da qualidade dos grãos.

Em lavouras de milho com produções relativamente baixas, os danos causados por doenças eram, muitas vezes, considerados secundários, mas com a evolução da tecnologia e o aumento da produtividade, as doenças passaram a tornar-se fatores limitantes para a cultura.

Além disso, avanços da tecnologia, como a adoção, em larga escala, do sistema de plantio direto, trazem muitos benefícios mas, quando mal utilizados, podem também acarretar o agravamento de doenças, pois a palhada deixada na superfície do solo pode afetar negativamente o controle de algumas doenças do milho, como manchas foliares e podridões, cujos agentes causais têm a capacidade de sobreviver nos restos de cultura e infectar o milho na safra seguinte, sobretudo quando não é praticada a rotação de culturas. Outro exemplo seria o uso de populações de plantas muitas vezes acima da recomendada, que também contribui para o agravamento do quadro de doenças.

Ainda, a maior flexibilidade das épocas de semeadura, tanto com o advento e expansão da safrinha, como com a ampliação de áreas com milho irrigado (notadamente em regiões onde não há limitação térmica para a cultura durante o ano todo) permitiram o cultivo do milho em áreas e épocas antes marginais e possibilitaram maior produção de grãos. Entretanto, esta prática tem criado uma ponte verde entre as safras, devido ao amplo período no qual há instalação de lavouras, proporcionando maior facilidade de disseminação de patógenos e aumento mais rápido das doenças nas culturas mais novas em áreas próximas às lavouras instaladas mais cedo. Doenças como as ferrugens, cujos patógenos obtêm seus nutrientes apenas de plantas vivas, ou aquelas transmitidas por insetos (enfesamentos e viroses), além das manchas foliares e podridões, vêm sendo favorecidas por esta presença constante da cultura no campo.

Por outro lado, em resposta a estes fatos, houve um grande desenvolvimento em relação ao manejo das doenças do milho. Até o início da década de 1990, a única forma recomendada de controle das doenças do milho era o uso de cultivares mais resistentes. Hoje, com a intensificação das doenças, apenas a exploração de fontes de resistência não tem sido suficiente para controlá-las ou mantê-las num nível aceitável, implicando na necessidade

¹ Pesquisador Científico. Instituto Biológico. Caixa Postal 70. Campinas, SP. 13001-970. gisele@biologico.sp.gov.br.

de serem levadas em consideração medidas de manejo complementares para se obter uma boa produtividade da cultura.

É de importância fundamental, para o manejo eficiente da maioria das doenças, o conhecimento adequado de sua etiologia, das condições climáticas que as favorecem, das várias etapas do ciclo da doença (sobrevivência do patógeno fora da cultura hospedeira, sua disseminação, seu modo de infecção, colonização e reprodução na planta) e inclusive das medidas de controle disponíveis.

2 Principais doenças do milho

2.1 Manchas foliares

2.1.1 Mancha de Phaeosphaeria

A mancha de *Phaeosphaeria* é considerada uma doença potencialmente importante na América Central e do Sul, Ásia e África. Nos Estados Unidos foi relatada apenas na década de 90, ocorrendo ao sul da Flórida, onde atualmente ainda se encontra de forma restrita e apresenta importância secundária. Esta doença recentemente está se tornando mais importante na África do Sul e é uma das principais doenças do milho no Brasil.

No Brasil, a mancha de *Phaeosphaeria* é também denominada mancha branca ou pinta branca e destaca-se por causar prejuízos expressivos, tanto pela sua ampla distribuição como pelos danos causados às cultivares suscetíveis. Esta doença inicialmente era considerada como secundária, pois não causava maiores prejuízos econômicos, uma vez que ocorria com maior frequência no final do ciclo da planta. No entanto, a partir de meados da década de 80 e início da década de 90, ela passou a ocorrer de forma mais severa em nosso país.

Apesar de existirem poucas informações precisas no Brasil sobre os danos causados por *P. maydis* sabe-se que estes podem ser de grandes proporções (Sawazaki *et al.*, 1997; Brasil & Carvalho, 1998; Pacheco *et al.*, 1999; Pegoraro *et al.*, 2001, Von Pinho *et al.*, 2002; Fantin *et al.*, 2004), pois condições favoráveis à doença ocorrem com frequência, durante o período no qual se cultiva o milho, em vários estados do Brasil (Fantin, 1994). Os estados em que foram assinalados os maiores danos são Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Minas Gerais, principalmente na região do Triângulo Mineiro (Santos *et al.*, 2002).

Pegoraro *et al.* (2001) em ensaios conduzidos em Santa Catarina, observaram que à medida em que a semeadura foi retardada durante a safra de verão, ocorreu um aumento na severidade da doença em função das condições ambientais adequadas para o desenvolvimento do patógeno.

Na região do Sul de Minas Gerais, abrangida pelos municípios de Três Pontas e São Sebastião do Paraíso, onde o plantio é realizado apenas uma vez por ano, Miguel-Wruck *et al.* (2002) observaram que o potencial de inóculo de *P. maydis* é menor do que nos demais municípios desse Estado. Já na região do Triângulo Mineiro, observa-se um maior potencial de inóculo do patógeno em função do plantio na época do verão, o plantio irrigado e o de safrinha, além de que, em muitas propriedades não se faz a rotação de cultura. Este estudo permitiu concluir que o manejo da cultura teve maior influência do que o clima em relação à severidade da doença.

No Estado de São Paulo, tem-se observado que a mancha de *Phaeosphaeria* apresenta maior severidade principalmente em locais de

maiores altitudes (regiões Centro e Sul do Estado), porém sua ocorrência tem sido generalizada em praticamente todos os anos agrícolas, nas safras de verão e inverno.

O agente etiológico da doença é o fungo *Phaeosphaeria maydis*. Sua disseminação pode se dar através da dispersão dos esporos produzidos nas lesões através do vento e chuva. Este fungo também pode permanecer em restos culturais, de forma que sua sobrevivência é favorecida em áreas onde os restos de cultura não são incorporados ao solo para decomposição, embora não se conheça a importância relativa dos resíduos culturais como fonte de inóculo em relação à disseminação dos esporos de uma lavoura a outra a curtas e longas distâncias.

Quanto ao clima, a mancha de *Phaeosphaeria* é favorecida por umidade elevada, causada por chuvas ou até mesmo noites frias que permitam formação de orvalho por períodos prolongados, sendo geralmente bastante severa quando ocorrem longos períodos chuvosos durante o cultivo do milho. Esta doença pode não progredir se as condições ambientais tornarem-se desfavoráveis ao seu desenvolvimento durante o decorrer do ciclo da cultura. É também bastante favorecida por alta adubação nitrogenada.

Os sintomas iniciam-se por manchas levemente opacas, de formato arredondado, oblongo ou levemente irregular, com 0,3 a 2 cm, e bordos irregulares mas bem definidos. Estas podem passar despercebidas até que se tornem de cor verde-pardo escura, com aspecto encharcado, as quais evoluem rapidamente para tons mais claros e atingem uma coloração esbranquiçada, com bordos escuros, típicos da doença. Sob condições climáticas favoráveis, tem sido observado, no centro de lesões maduras, o aparecimento de pontos escuros, que são as estruturas reprodutivas (pseudotécios e picnídios) do patógeno. Em condições de casa de vegetação observou-se o surgimento das primeiras lesões causadas por *P. maydis* em 3 a 4 semanas após a inoculação (Fantin & Balmer, 1997; Fantin *et al.*, 1999), período maior que para a maioria dos fitopatógenos.

Controle: Dentre as estratégias que auxiliam no controle da mancha de *Phaeosphaeria* tem-se como base o emprego de cultivares resistentes, evitando-se o plantio de cultivares menos resistentes em épocas ou locais muito úmidos ou chuvosos. Este é considerado o método mais eficiente e econômico dentro do manejo da cultura, embora, devido à importância da doença, deva sempre ser complementado pela rotação de culturas, evitando semeaduras escalonadas, entre outras medidas. Em regiões ou épocas em que a doença apresenta com frequência elevada severidade, o manejo da doença pode ser auxiliado pelo uso de fungicidas, como medida complementar.

2.2 Mancha de *Cercospora*

A mancha de *Cercospora*, conhecida como *gray leaf spot*, é uma doença mundialmente importante na cultura do milho há mais de duas décadas e pode causar grande redução de produtividade. Ocorre principalmente nos Estados Unidos e África, e também no México, América Central e do Sul, Europa, Sudoeste da Ásia, Índia, China, Malásia, Filipinas e outros países. No Brasil adquiriu importância no final da década de 90, causando epidemias no centro-oeste do país na safra 1999/2000 (Fernandes & Oliveira, 2000), foi relatada já ocorrendo com alta intensidade no Estado de São Paulo na safra seguinte (Fantin *et al.*, 2001) e vem se evidenciando desde então, sendo mais severa

principalmente nas regiões Sul e do Vale do Paranapanema. (Fantin *et al.*, 2004).

A severidade da doença aumenta em condições de temperatura moderada a alta, entre 22°C e 30°C, umidade relativa elevada, quando há formação de orvalho e, especialmente, pela ocorrência de dias nublados ou chuvosos consecutivos.

Os sintomas da cercosporiose ocorrem principalmente nas folhas e iniciam-se como pequenas manchas irregulares com halo clorótico que gradualmente se alongam. Bekman & Paine (1982) observaram formação das primeiras lesões de *C. zeae-maydis* em condições de casa-de-vegetação aos nove dias após a inoculação. Logo após seu surgimento, as manchas adquirem um aspecto oleoso ou encharcado e, posteriormente, apresentam a forma estreita e alongada, com bordos paralelos às nervuras, típica da doença. As lesões maduras medem, em média, 2 a 4 mm de largura por 1 a 6 cm de comprimento. A aparência retangular, característica das lesões, conferida pelos bordos paralelos, é devida à incapacidade do patógeno de penetrar os tecidos esclerenquimatosos das nervuras secundárias da folha, as quais limitam seu crescimento em largura. As lesões apresentam coloração palha e, posteriormente, após 16 a 20 dias ou mais, sob elevada umidade, sua superfície inferior torna-se coberta por esporos, conferindo-lhes uma coloração acinzentada, daí o nome de *gray leaf spot*. As lesões têm potencial para esporular abundantemente. A dispersão dos conídios do fungo é feita principalmente pelo vento, que pode carregá-los a longas distâncias, disseminando-os para regiões afastadas do ponto inicial da epidemia, e também por respingos de chuva, embora restos de cultura de milho infectado, na superfície do solo, sejam uma importante fonte de inóculo de *C. zeae-maydis* dentro de um campo.

Os sintomas podem variar com os híbridos utilizados, e também aparecer na bainha da folha e na palha da espiga. As lesões mais velhas apresentam-se opacas, quando observadas contra a luz, devido à formação de um tecido estromático (micélio escuro e endurecido) produzido pelo fungo dentro das cavidades sub estomáticas da folha, forma pela qual o patógeno sobrevive em restos de cultura. Esse fungo, assim como vários outros patógenos fúngicos foliares do milho, é um competidor fraco no solo e pode sobreviver nele apenas durante o período em que os restos de milho contaminados estão presentes.

Sob condições desfavoráveis, a doença paralisa seu desenvolvimento, o qual é retomado rapidamente assim que o ambiente volte a ser favorável.

Também foi observado que a severidade da doença aumenta com maiores níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio.

É importante ressaltar que o aumento da severidade da cercosporiose em várias partes do mundo vem sendo associado com o cultivo contínuo de milho suscetível, aliado ao plantio direto, o que pode propiciar presença do hospedeiro vivo durante praticamente o ano todo, e de restos culturais, onde o fungo tem sua principal fonte de sobrevivência na ausência da cultura.

Controle: A principal medida para o controle desta doença é o uso de cultivares mais resistentes. Práticas culturais como rotação e, principalmente, o enterrio de restos de cultura auxiliam bastante a reduzir a sobrevivência do patógeno na palhada, que é a principal fonte de inóculo na ausência da cultura, embora, pela eficiente disseminação dos esporos do patógeno a longas

distâncias, a interrupção do plantio direto pode não surtir os efeitos desejados, podendo ser eficiente somente quando realizada em regiões extensas.

Inúmeros estudos mostram que um ano apenas de rotação de culturas pode reduzir significativamente o inóculo do patógeno em uma área, contribuindo para a redução nos níveis de doença, embora haja evidências de que uma pequena porcentagem do fungo possa sobreviver por dois anos ou mais.

Um outro recurso para o controle da cercosporiose, com o intuito de complementar as medidas anteriores, quando ocorrer clima muito favorável ao desenvolvimento da doença em regiões de alto risco, seria o uso de fungicidas.

2.2.1 Queima de turcicum

A queima ou mancha foliar de *Exserohilum turcicum* (helmintosporiose comum) tem sido mais importante nos plantios do início de safra e também nos de final de safra, quando as condições de temperatura amena favorecem seu desenvolvimento. As lesões típicas sobre as folhas de milho são grandes, alongadas, elípticas, de cor palha, variando de 2,5 a 15 cm de comprimento (média de 6 a 10 cm).

Controle: Recomenda-se o uso de híbridos ou variedades mais resistentes. No sistema de plantio direto deve ser feita a rotação de culturas. Em casos de monocultura, no sistema convencional de manejo de solos, recomenda-se a aração profunda para destruição dos restos culturais.

2.3 Ferrugens

As ferrugens se caracterizam pela formação de pequenas lesões na parte aérea das plantas, denominadas pústulas, as quais, após o rompimento da epiderme, liberam grande quantidade de esporos que lhes conferem uma aparência pulverulenta. São causadas por patógenos biotróficos, isto é, que se alimentam apenas em plantas vivas, e por este fato, o enterrio dos restos de cultura não se constitui num método de controle deste grupo de doenças.

2.3.1 Ferrugem comum

A ferrugem comum é causada por *Puccinia sorghi* e caracteriza-se pela presença de pústulas geralmente alongadas, de coloração marrom, localizadas principalmente nas duas faces das folhas, em discretas faixas transversais. É favorecida por temperaturas amenas e umidade moderada a alta.

Controle: É feito, essencialmente, através do cultivo de materiais com maior resistência, evitando-se a semeadura de cultivares suscetíveis em épocas com temperatura muito amena, principalmente durante a fase vegetativa da cultura. É importante procurar sincronizar as épocas de semeadura do milho em uma região pela grande capacidade de disseminação do patógeno pelo vento, evitando-se a presença de culturas mais jovens próximas às semeadas mais cedo.

2.3.2 Ferrugem polissora

Esta doença é considerada a ferrugem mais destrutiva do milho e tem sido mais danosa nos plantios mais tardios da safra de verão e nos de início da safra, quando ocorrem temperaturas elevadas. Pode se disseminar amplamente em grandes áreas de monocultura com milho suscetível.

Seu agente causal é o fungo *Puccinia polysora*. Os sintomas são pústulas de cor canela, pequenas, circulares a ovais que, em geral, se apresentam densamente distribuídas na superfície superior das folhas.

Controle: O método mais eficiente de controle é a utilização de cultivares mais resistentes, evitando-se a semeadura de cultivares com baixa resistência em regiões onde ocorrem temperatura e umidade elevadas.

2.3.3 Ferrugem tropical

A ferrugem tropical ou branca é favorecida por ambiente úmido e temperatura moderada a alta. É causada por *Physopella zea*. Essa doença forma pústulas brancas a amareladas, em pequenos grupos, principalmente na superfície superior das folhas.

Controle: É feito através do uso de genótipos de milho com maior resistência, em todas as épocas de semeadura. Pode ser complementado, se possível, evitando-se plantios contínuos de milho em datas próximas nas regiões de maior prevalência da doença.

2.4 Carvões

2.4.1 Carvão comum

A frequência com que o carvão comum ocorre varia de sintomas em plantas isoladas até níveis, em geral, de 10%. É favorecido por períodos secos, com temperaturas elevadas, entre 26 a 34°C, principalmente quando a planta passa por um período de estresse na época do florescimento. Espigas mal empalhadas ou com ferimentos apresentam maior predisposição à doença.

O agente causal é *Ustilago maydis*. Os sintomas são mais comuns nos grãos da espiga, embora possam ocorrer em qualquer parte aérea da planta. Caracterizam-se por galhas brancas proeminentes em cujo interior há formação de uma massa negra pulverulenta de esporos do patógeno, os quais são liberados pelo rompimento da membrana envolvente.

Sua disseminação é feita principalmente pelo vento, a partir dos esporos que sobrevivem no solo.

Controle: Recomenda-se o uso de genótipos mais resistentes, evitar doses excessivas de nitrogênio, evitar ao máximo injúrias causadas por tratamentos culturais e realizar rotação de culturas.

2.4.2 Carvão do topo

O carvão do topo é causado por *Sphacelotheca reiliana*. É favorecido por temperatura em torno de 21 a 28°C e moderada a baixa umidade do solo durante a germinação da semente e formação das plântulas. Embora a infecção ocorra nas plântulas, os sintomas são observados apenas na época de emissão das partes florais. As espigas tornam-se levemente arredondadas, com toda parte interna transformada em massa negra pulverulenta de esporos e filamentos enegrecidos. No pendão, ocorre formação de soros que também liberam esporos.

Controle: Pode ser feito pelo uso de cultivares mais resistentes, evitando-se o plantio nos períodos em que prevalecerem temperaturas baixas. A adubação adequada, principalmente nitrogenada no plantio também colabora no controle da doença. A rotação de culturas deve ser feita por vários anos.

2.5 Podridões de colmo

Afetam o processo normal de enchimento de grãos, levando à formação de espigas menores. Indiretamente, podem levar a perdas no número de espigas colhidas, pelo comprometimento de sua qualidade com o apodrecimento pelo contato com o solo úmido ou por afetar a colheita mecânica, levando à necessidade de gastos extras com a catação manual das espigas.

Atenção especial na escolha de cultivares, com relação a resistência às doenças que provocam acamamento e quebraimento de plantas bem como àquelas que depreciam a qualidade dos grãos é requerida no milho safrinha, que, sob condições climáticas do outono-inverno, com menor disponibilidade diária de calor que nos cultivos de verão e com maior estresse, devido à pouca disponibilidade de água para a cultura, apresenta perda de umidade dos grãos mais lenta, fazendo com que o ciclo se alongue em quase um mês, expondo as plantas por mais tempo a condições adversas.

2.5.1 Podridão de colmo por *Colletotrichum*

Esta doença é causada pelo fungo *Colletotrichum graminicola*. Pode ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento das plantas, podendo levá-las à seca prematura, embora seja mais comum logo após o florescimento. Condições predisponentes a esta doença são temperatura moderada a alta e umidade elevada, com extensos períodos chuvosos e nublados. Sua principal forma de disseminação é feita por respingos de chuva.

Controle: Recomenda-se o uso de cultivares mais resistentes, adubação equilibrada e rotação de culturas, principalmente no sistema plantio direto. O enterrio dos restos de cultura, com a destruição das estruturas do patógeno, é um meio eficiente de controle em áreas com alta infestação. É importante o tratamento de sementes.

2.5.2 Podridão do colmo por *Stenocarpella* (*Diplodia*)

Há duas espécies de *Stenocarpella* que podem causar podridão do colmo em milho: *S. maydis* e *S. macrospora*. Esta segunda espécie tem aumentado em importância nos últimos anos e pode também causar lesões foliares com elevada severidade.

Esta doença é bastante comum e ocorre após o florescimento das plantas. É mais severa em regiões com temperaturas moderadas e, principalmente, ambiente úmido. A predisposição a esta doença é aumentada principalmente por deficiência hídrica antes do florescimento seguida de período chuvoso.

Controle: O método mais eficiente de controle é o plantio de cultivares mais resistentes. São importantes, também, práticas que evitam o estresse da planta, principalmente o uso de adubação equilibrada e densidade de plantio adequada. Adubações nitrogenadas em cobertura não afetam a doença, mas devem ser equilibradas, principalmente evitando deficiência de potássio associada a altas doses de nitrogênio. Outros tipos de estresse, como os causados por plantas daninhas e insetos, também devem ser evitados. A colheita na época adequada auxilia a restringir os danos causados pela doença.

Como a disseminação dos esporos é feita principalmente a curtas distâncias, a rotação de culturas é muito importante para diminuir o inóculo do solo e o uso de sementes sadias e o tratamento de sementes evita a introdução da doença em uma área através desta fonte de inóculo.

2.5.3 Podridão do colmo por *Fusarium*

Tem ocorrido com maior intensidade em regiões secas e quentes, principalmente quando a polinização é antecedida por um período seco e seguida por um período chuvoso. É também bastante favorecida por ferimentos, muitas vezes associada a injúrias das plantas por pragas subterrâneas ou nematóides.

Os agentes causais desta doença são *Fusarium verticillioides* (F. moniliforme) e *Fusarium subglutinans*.

Controle: São recomendados para o controle desta doença a resistência da planta complementada por rotação de culturas com espécies não hospedeiras dos patógenos, evitando-se culturas como sorgo, trigo arroz, entre outras, práticas culturais que evitem estresses da planta e, no caso do sistema convencional de manejo do solo, incorporação dos restos de cultura. Devem ser utilizadas sementes tratadas com fungicidas.

2.6 Podridões de espiga

As podridões de espiga chegam a causar danos consideráveis, principalmente em condições de alta umidade no final do ciclo das plantas, como longos períodos chuvosos entre a floração e a colheita. Acamamento de plantas (quando as espigas tocam o chão), espigas sem pedúnculo pendente, mal empalhamento, ataques de insetos e ferimentos em geral tendem a aumentar os danos pela doença. Os prejuízos não são apenas na produtividade, como na qualidade, palatabilidade e valor nutritivo dos grãos. Além disso, vários patógenos também produzem toxinas que podem ter efeito cancerígeno e até letal a aves, animais e ao homem.

Para o agricultor, entre os problemas relacionados à qualidade de grãos, o que tem realmente demandado maior preocupação é a qualidade fitossanitária, expressa pela porcentagem de grãos “ardidos”. O termo grão “ardido” diz respeito aos grãos ou pedaços de grãos que perdem a sua coloração característica em mais de 25%. Os grãos “ardidos” são o reflexo das podridões de espigas.

2.6.1 Podridão de espiga por *Stenocarpella* (*Diplodia*)

Essa doença, causada por *Stenocarpella maydis* (*Diplodia maydis*) e *S. macrospora*, também denominada de podridão seca, é bastante freqüente e considerada a mais destrutiva entre as que afetam a espiga.

É favorecida por seca antes do florescimento, seguida de alta umidade. A infecção não parece ser favorecida por ferimentos ou mal empalhamento das espigas, mas aquelas que não apresentam pedúnculo pendente podem ter sua suscetibilidade aumentada.

Controle: Recomenda-se o uso de cultivares com maior resistência. A rotação de culturas, o manejo adequado de matéria orgânica e, no caso do sistema convencional de manejo do solo, o bom preparo de solo com aração e gradagem, reduzem sensivelmente o potencial de inóculo no solo. O uso de densidade de plantio adequada para o híbrido também é muito importante. Além destas, devem ser utilizadas outras medidas que também reduzem estresses na planta, principalmente o uso de adubação equilibrada e o controle de plantas daninhas. A transmissão do patógeno através das sementes pode ser reduzida pelo tratamento de sementes. A colheita precoce, com o armazenamento adequado, abaixo de 18% de umidade, para as espigas, e de 15%, para os grãos, restringem o desenvolvimento da doença.

2.6.2 Podridão de espiga por *Fusarium*

Também denominada de podridão rosada, é a mais comum e disseminada doença de espigas, sendo encontrada em praticamente todos os campos de milho. Geralmente está associada a danos por insetos, injúrias mecânicas e mau empalhamento das espigas. É favorecida por temperatura

elevada e ambiente seco no início da cultura seguido por condições úmidas (chuvas frequentes) no florescimento.

Os sintomas de podridão geralmente aparecem em grãos isolados ou em grupos e também na base da espiga.

Controle: Recomenda-se o uso de cultivares mais resistentes, rotação de culturas, colheita precoce e armazenamento dos grãos sob condições de umidade relativa abaixo de 15%. O controle de pragas, para evitar ferimentos nas espigas, e a eliminação de plantas daninhas, para diminuir estresses da planta, também são importantes. No sistema convencional de manejo do solo, a aração profunda da área a ser plantada pode ter efeito na diminuição do inóculo do solo.

O tratamento de sementes auxilia na redução do inóculo das sementes e protege as plântulas do patógeno presente no solo. Embora o patógeno esteja frequentemente associado às sementes, estas não são a principal fonte de inóculo.

2.7 Enfezamentos

Os enfezamentos vermelho e pálido chegam a causar severos danos à cultura, principalmente na safrinha e nos plantios tardios da safra de verão. Enfezamentos são transmitidos pelo mesmo vetor, a cigarrinha *Dalbulus maidis*. Apesar de ser comum a presença dos dois tipos de enfezamento na mesma planta, os sintomas mais evidentes geralmente são os do enfezamento vermelho. Em geral, a infecção é tardia, mas, mesmo em plantas com sintomas leves, o enchimento de grãos pode ser bastante prejudicado. Quando há infecção de plantas bem novas, a doença é mais severa e ocorre nanismo acentuado da planta, pelo encurtamento dos internódios, e formação de numerosas espigas pequenas, sem grãos ou com poucos grãos frouxos e pequenos.

2.7.1 Enfezamento vermelho

A incidência desta doença aumentou nesta década, chegando a ser limitante em materiais muito suscetíveis. É favorecida por temperaturas moderadas a altas. Seu agente causal é um fitoplasma.

O sintoma característico mais comum é o avermelhamento dos bordos e pontas das folhas mais novas, o qual posteriormente evolui para uma necrose.

2.7.2 Enfezamento pálido

Essa doença é causada pelo espiroplasma denominado *Spiroplasma kunkelii*. É favorecida por temperaturas mais altas que as que favorecem o enfezamento vermelho e seus sintomas típicos têm sido observados com menor frequência no Estado de São Paulo, os quais são longas faixas de cor amarelo limão a esbranquiçadas, a partir da base das folhas, que podem atingir toda a extensão da folha. Dependendo das condições ambientais, pode ocorrer avermelhamento dos bordos das folhas sem a formação das faixas, dificultando sua distinção do enfezamento vermelho no campo.

Controle: Recomenda-se, tanto para o enfezamento vermelho como o pálido, principalmente, a utilização de cultivares com maior resistência. Se possível, devem ser evitados plantios escalonados, principalmente tardios, pois a cigarrinha, que é constantemente associada ao milho, pode atingir altas populações no decorrer da cultura, e apresentar maiores concentrações do patógeno, disseminando amplamente a doença.

2.8 Víruses

2.8.1 Mosaico comum

O mosaico comum é também denominado mosaico da cana-de-açúcar. A transmissão do vírus, agente causal da doença, pode ser feita por mais de 20 espécies de pulgões, entre eles *Rhopalosiphum maidis*, *Schizaphis graminum* e *Myzus persicae*.

Os sintomas típicos da doença são áreas alongadas de cor verde clara entremeadas às de verde normal das folhas.

Controle: Há diferenças quanto ao nível de resistência entre os materiais cultivados. Deve-se evitar, se possível, plantios tardios, pela maior população de insetos vetores do vírus. Além disto, devem ser eliminadas gramíneas selvagens hospedeiras (capim massambará, colchão, colônia e capim-arroz) e evitada a semeadura do milho nas proximidades de culturas de cana-de-açúcar infectadas com o vírus, as quais podem servir de fonte de inóculo.

2.8.2 Risca do milho

A risca do milho é a virose mais comum nos cultivos de milho em nosso país. Nos últimos anos, tem ocorrido com muita frequência em plantios tardios. A transmissão do vírus da risca é feita pela cigarrinha *Dalbulus maidis* que também transmite os agentes causais dos enfezamentos.

Os sintomas apresentam-se como pontos e linhas cloróticas estreitas e interrompidas nas folhas.

Controle: Os cultivares comerciais de milho apresentam diferentes níveis de resistência ao vírus. Evitar plantios tardios e, se viável, a eliminação de plantas voluntárias de milho também podem contribuir para a redução da incidência da virose.

3 Manejo integrado das doenças do milho

Um controle mais eficiente das doenças da cultura pode ser obtido com o uso adequado de várias medidas de manejo que se complementam, prevenindo sua ocorrência e levando a uma maior produtividade, com melhor qualidade dos grãos.

As medidas mais importantes de controle de doenças, a serem tomadas na instalação e condução de uma cultura estão relacionadas a seguir.

3.1 Uso de cultivares resistentes

É essencial conhecer as principais doenças que ocorrem nos diferentes locais e nas várias épocas de semeadura, possibilitando a utilização de cultivares mais resistentes às doenças potencialmente mais importantes em cada uma delas. Utilizar, de preferência, várias cultivares, de forma a ter maior variabilidade da resistência aos diversos patógenos, retardando o progresso das doenças. Além da maior resistência, é importante que as cultivares tenham também características agrônomicas adaptadas às condições ambientais de cada região para permitir boa expressão de seu potencial produtivo.

Informações sobre resistência de cultivares às doenças podem ser obtidas junto às empresas de sementes, aos órgãos de pesquisa estaduais e federais e ainda pela observação do desempenho dos cultivares em anos agrícolas anteriores na região. No Estado de São Paulo, os Institutos Agrônomico, Biológico e Pólos Regionais da Apta, da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, com a colaboração da CATI, têm conduzido anualmente, ensaios regionais no Estado de São Paulo com cultivares de milho

dentro do “Programa Milho IAC”. Nestes ensaios, são realizadas, conjuntamente às avaliações da intensidade de doenças, avaliações das características agrônômicas e da produtividade dos genótipos. Os resultados obtidos nestes estudos estão disponíveis na *homepage*: <http://www.zeamays.com.br>.

Os experimentos de competição de cultivares do “Programa Milho IAC” têm contribuído para evidenciar a grande importância do uso de cultivares mais resistentes. Na safrinha 2004, quando as condições ambientais do Estado de São Paulo foram muito favoráveis à ocorrência de doenças, a mancha de *Phaeosphaeria* apresentou distribuição generalizada e elevada severidade, principalmente no sul do estado. Nos estudos de resistência a doenças, com 48 a 52 híbridos simples e triplos, Fantin *et al.* (2005a) observaram que a mancha de *Phaeosphaeria* foi uma importante causa de redução da produtividade, entre as demais doenças de ocorrência natural, especialmente nos ensaios conduzidos nos municípios de Itaberá, Capão Bonito, Manduri e Mococa. Encontraram-se diferenças de produtividade ao redor de 900 a 1600 kg/ha para o grupo dos genótipos mais suscetíveis em relação ao das mais resistentes a esta doença, em ensaios com produtividade média de 2600 a 6000 kg/ha, ou seja, uma quebra de produção por volta de 20 a 35% (Figura 1).

Também foi severa a mancha de *Cercospora*, nos ensaios do “Programa Milho IAC” na safrinha 2004, destacando-se em Mococa, Palmital, Cruzália e Ipuã. A diferença de produtividade entre o grupo de cultivares mais suscetíveis em relação ao das mais resistentes foi elevada, variando de 500 a 1800 kg.ha⁻¹ (Figura 2). A ferrugem comum destacou-se, de forma mais localizada, principalmente em Florínea, onde o grupo de cultivares mais suscetíveis apresentou redução de 1700 kg/ha em relação ao das cultivares mais resistentes (Figura 3).

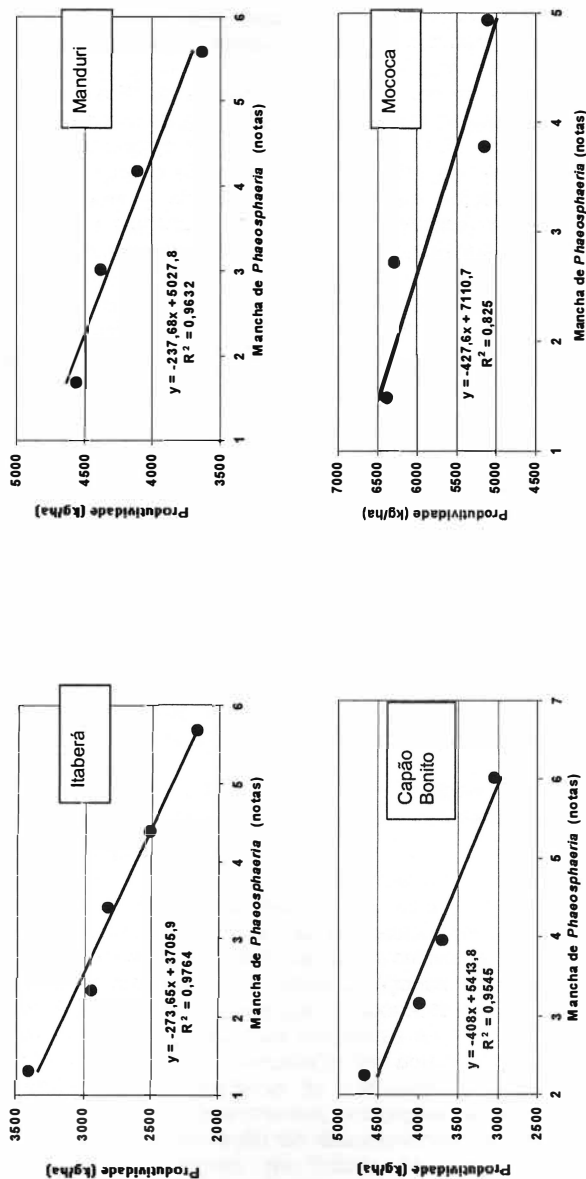


Figura 1. Severidade da mancha de Phaeosphaeria e produtividade de grupos de cultivares com diferentes graus de resistência à doença em experimentos em experimentos com 48 a 52 cultivares na safinha 2004 (Notas de 1 a 9 correspondendo, respectivamente, às porcentagens de área foliar afetada de 0; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 75 e mais de 75% da mancha de Phaeosphaeria na planta inteira).

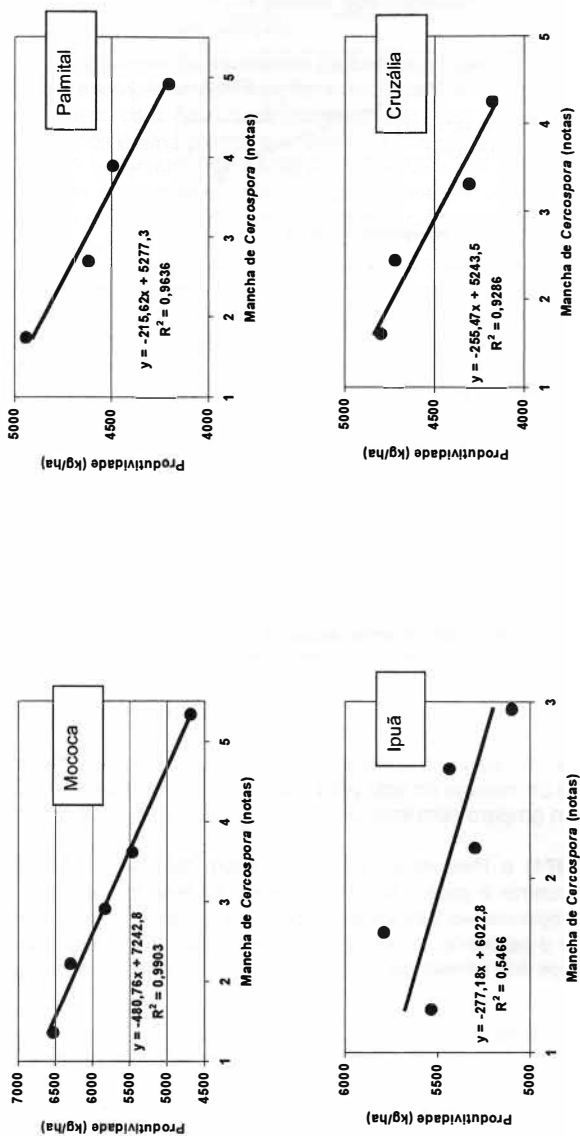


Figura 2. Severidade da mancha de Cercospora e produtividade de grupos de cultivares com diferentes graus de resistência à doença em experimentos em experimentos com 48 a 52 cultivares na safinha 2004 (Notas de 1 a 9 correspondendo, respectivamente, às porcentagens de área foliar afetada de 0; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 75 e mais de 75% da mancha de Cercospora na planta inteira).

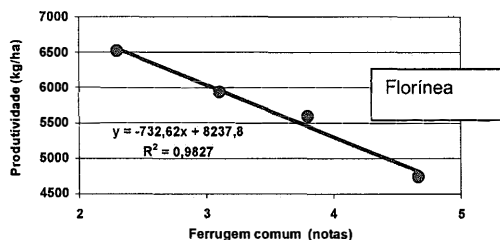


Figura 3. Severidade da ferrugem comum e produtividade de grupos de cultivares com diferentes graus de resistência à doença em experimento com 52 cultivares na safra 2004 (Notas de 1 a 9 correspondendo, respectivamente, às porcentagens de área foliar afetada de 0; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 75 e mais de 75% da ferrugem comum na planta inteira).

3.2 Emprego de rotação de culturas

Uma segunda medida mais importante, que deve estar associada à primeira, é realizar rotação de culturas. A rotação deve ser feita com culturas que não sejam hospedeiras dos mesmos patógenos que estão afetando o milho, sendo em geral mais indicadas culturas como soja, feijão, girassol, algodão, amendoim entre outras. Esta prática cultural visa evitar expor a nova cultura do milho diretamente aos patógenos que sobrevivem nos restos culturais após a colheita da cultura anterior. É importante destacar que rotação de culturas é a semeadura de uma mesma espécie vegetal na mesma área após pelo menos dois anos, ou até a completa decomposição da palhada. Durante o período de ausência da planta hospedeira numa área e após a decomposição dos restos culturais, há grande redução da população da maioria dos patógenos por inanição.

Nos casos em que for realizada a monocultura, deve-se dar preferência ao sistema convencional de manejo do solo para a instalação da safra de verão seguinte, realizando bom preparo com incorporação para destruição dos restos culturais.

Baker & Cook (1974) e Reis *et al.* (2004) sugerem que a rotação de culturas também pode contribuir para o desenvolvimento da supressividade do solo, interferindo nas propriedades biológicas, promovendo um equilíbrio, que geralmente desfavorece o patógeno, o que também teria efeito na redução da população dos patógenos habitantes de solo, além dos que sobrevivem nos restos culturais.

3.3 Evitar plantios escalonados

Outra medida bastante importante é evitar plantios da cultura do milho em várias épocas em áreas adjacentes numa mesma safra, procurando sincronizar as datas de semeadura do milho em uma região. Este cuidado visa prevenir altas taxas de disseminação de propágulos de patógenos das culturas instaladas mais cedo para as mais tardias e desta forma limitar o rápido aumento da intensidade das doenças nos campos mais novos. Esta medida é válida para a maioria das doenças, sendo especialmente importante para

restringir a disseminação de patógenos que apresentam elevadas taxas de dispersão pelo vento, como os agentes causais de ferrugens e também aqueles transmitidos por insetos que dependem necessariamente da planta de milho viva para sua nutrição.

3.4 Utilização de sementes de boa qualidade

Favorecer a germinação e emergência das plântulas pela utilização de sementes com boa qualidade sanitária, física e fisiológica e tratadas com fungicidas é uma prática que deve ser observada.

O tratamento de sementes é de fácil aplicação, baixo custo e pequeno impacto ambiental. É eficiente para controle de patógenos veiculados pelas sementes e de patógenos do solo que causam podridão de sementes e morte de plântulas.

As sementes comercializadas pelas empresas produtoras de sementes de milho são previamente tratadas com fungicidas. São bastante utilizadas misturas de Fludioxonil + Metalaxyl com Thiabendazol e de Captan com Thiabendazol. Em várias situações também se usa Carboxin + Thiram.

Os fungicidas registrados no Brasil para a cultura do milho e para tratamento de sementes de milho, com respectiva indicação de controle, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Fungicidas registrados para a cultura do milho¹.

Produto comercial (p.c.)	Ingrediente ativo (i.a.)	Grupo químico	Concentração (g/L ou kg)	Formulação ²	Classe toxicológica ³	Dose (p.c./100kg sementes)	Indicação de controle	Recomendação de aplicação	Empresa registrante
Captan 200 SC	Captan	Dicarb- ximida	200	SC	I	375 mL	Tombamento causado por <i>Pythium</i> spp <i>Rhizoctonia solani</i>	Diluir 1 litro do produto em 3,25 litros de água e misturar às sementes sob agitação constante.	Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.
Orthocide 500	Captan	Dicarb- ximida	500	PM	III	240 g	Podridão de sementes e raízes por <i>Pythium</i> spp. <i>Rhizoctonia</i> sp.	As sementes deverão ser tratadas a seco ou previamente umedecidas, pouco antes do plantio.	Hokko do Brasil Ind. e Agrop. Ltda.
Captan 750 TS	Captan + derivados correlatos	Dicarb- ximida	709 + 41	PS	III	160 g	Tombamento ou podridão de sementes por: <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Stenocarpella maydis</i>	Aplicar via seca ou úmida. As sementes deverão ser tratadas no mesmo dia em que forem utilizadas.	Hokko do Brasil Ind. e Quím. Agrop. Ltda.
Maxim	Fludioxonil	Fenil- pirrol	25	SC	IV	150 mL	Tombamento por: <i>Fusarium moniliforme</i>	Fazer uma única aplicação às sementes antes da semeadura. Diluir. Em geral considera-se 500 mL calda/100 kg sementes.	Syngenta Proteção Cultivos Ltda.
Plantacol	Quintozene ou PCNB	Nitro- benzeno	750	PM	III	250 g	Tombamento por: <i>Pythium</i> spp. <i>Rhizoctonia solani</i>	Pode ser usado tanto antes da semeadura, como na época da colheita. Fazer mistura bem homogênea às sementes por 20 a 30 min.	Laboratórios da Pfizer Ltda. - Divisão Agropecuária
Tecto 600	Thiabendazol	Benzimi- dazol	600	PM	IV	15 a 76 g	Podridão dos grãos armazenados por: <i>Aspergillus flavus</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium digitatum</i>	Tratamento de grãos ou sementes imediatamente após a colheita. Diluir em água, utilizando 500 mL calda/100 kg grãos.	Syngenta Proteção Cultivos Ltda.

¹Fonte: Compêndio de Defensivos Agrícolas – Andrei, 6ª edição, 1999 e atualização 2003, Relação de produtos por cultura, SAA/CDA (dezembro/2004), Sistema de Informações sobre Agrotóxicos – ANVISA (on line) e SINDAG (on line). ²Formulação: PM = pó molhável, PS = pó seco, SC = suspensão concentrada. ³Classe toxicológica: I = extremamente tóxico, II = altamente tóxico, III = medianamente tóxico, IV = pouco tóxico.

Tabela 2. Fungicidas registrados para tratamento de sementes de milho¹.

Produto comercial	Ingrediente ativo (i.a.)	Grupo químico	Concentração (g/L ou kg)	Formulação ²	Classe toxicológica ³	Dose (p.c./100kg sementes)	Indicação de controle	Recomendação de aplicação	Empresa registrante
Euparen 500 PM	Tolyfluand	Fenilsulfamida	500	PM	III	150 g	<i>Aspergillus moniliforme</i> spp. <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium digitatum</i> <i>Penicillium oxalicum</i>	Misturar às sementes por 10 minutos para distribuição uniforme.	Bayer CropScience Ltda.
Maxim XL	Fludioxonil + Metalaxyl-M	Fenilpirrol + Acilalaninato	25 + 10	SC	III	100 a 150 mL	Tombamento por: <i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Pythium aphanidermatum</i>	por: Apresentar ação residual. Fazer uma única aplicação às sementes antes da semeadura. Diluir (em geral considera-se 500 mL calda/100g sementes)	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Tecto 100	Thiabendazol	Benzimidazol	100	PS	IV	100 a 200 g	Tombamento por: <i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium digitatum</i> <i>Penicillium oxalicum</i>	por: Fungicida sistêmico. Tratar por via seca, misturando uniformemente às sementes. Tratar uma única vez antes da semeadura.	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Mayran	Thiram	Dimetilditiocarbamato	700	PS	III	200 a 300 g	<i>Fusarium moniliforme</i> <i>Stenocarpella maydis</i>	Para tratamento, na forma de pó seco, de sementes secas, para armazenamento ou na época do plantio.	Enro Industrial Ltda.
Thiram 480 TS	Thiram	Dimetilditiocarbamato	480	SC	IV	350 mL	<i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium oxalicum</i> Podridão	Tratamento de sementes para o armazenamento e para o plantio. Realizar distribuição homogênea do produto.	Crompton Ltda.
Vitavax-Thiram Uniroyal	Carboxin + Thiram	Carboxanilida + Dimetilditiocarbamato	375 + 375	PM	III	250 a 400 g	<i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Acromonium strictum</i> <i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium oxalicum</i> Podridão	por: Fungicida com ação sistêmica e de contato. Aplicado via seca ou úmida. Recomenda-se tratar imediatamente antes do plantio ou armazenamento.	Crompton Ltda.
Vitavax-Thiram SC	Carboxin + Thiram	Carboxanilida + Dimetilditiocarbamato	200 + 200	SC	IV	250 a 300 mL	<i>Aspergillus moniliforme</i> <i>Acromonium strictum</i> <i>Aspergillus flavidus</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Penicillium oxalicum</i> Podridão	por: Fungicida com ação sistêmica e de contato para tratamento de sementes antes da semeadura ou para armazenamento.	Crompton Ltda.

¹Fonte: Compêndio de Defensores Agrícolas - Andrei, 6ª edição, 1999 e atualiz. 2003, Relação de prod. por cultura, SAA/CDA (dez/2004), SIA - ANVISA e SINDAG (on line). ²Formulação: PM = pó molhável, PS = pó seco, SC = suspensão concentrada. ³Classe toxicológica: I = extremamente tóxico, II = altamente tóxico, III = medianamente tóxico, IV = pouco tóxico.

Evitar estresses às plantas, através de: (i) Manejo adequado do solo para propiciar boa germinação das sementes e bom desenvolvimento das plantas; (ii) uso de densidade de semeadura recomendada para o cultivar utilizado, evitando competição excessiva entre plantas e também a formação de um microclima com umidade mais elevada, que favorece o desenvolvimento dos patógenos; (iii) emprego de adubação, de modo a fornecer os nutrientes em quantidade e proporção adequadas às plantas; (iv) controle de plantas daninhas e voluntárias, evitando a mato-competição e também a manutenção de patógenos em hospedeiros alternativos; (v) manejo das pragas, evitando destruição de tecidos por lagartas e perfurações por brocas e percevejos, as quais também servem como portas de entrada para patógenos; e (vi) em lavouras irrigadas, o uso adequado da irrigação.

3.5 Uso de fungicidas na parte aérea das plantas

Para um controle economicamente viável, os fungicidas para tratamento de doenças da parte aérea das plantas apenas devem ser utilizados em lavouras bem conduzidas e com bom potencial produtivo, que estejam instaladas em áreas de risco e, importante, quando os principais métodos de controle não estiverem sendo suficientes. Em condições de elevada pressão de inóculo do patógeno e clima favorável ao desenvolvimento de epidemias, levando ao início precoce da doença na cultura, pode ser viável recorrer ao uso de fungicidas, sendo que estes apenas devem ser utilizados quando os possíveis danos estimados justificarem o custo do controle (fungicida + aplicação). Para observar o surgimento e monitorar o avanço das doenças nas lavouras, estas devem ser vistoriadas periodicamente.

Milhos especiais, como milho pipoca, pelo fato de serem menos rústicos que o milho comum, comumente apresentam maior suscetibilidade a doenças. Há também menor número de híbridos e variedades disponíveis no mercado que para o milho comum, restringindo a opção de escolha por genótipos mais resistentes às doenças de importância local. Além disso, o preço de comercialização destes tipos de milho normalmente é superior ao do milho comum, justificando o custo do tratamento químico.

Cumpra ainda lembrar que, se os fungicidas forem utilizados indiscriminadamente, há a possibilidade dos patógenos desenvolverem resistência a estes produtos, o que reforça a importância da prática do manejo integrado de doenças para minimizar a necessidade do controle químico.

Na Tabela 3 estão apresentados os fungicidas registrados no Ministério da Agricultura para pulverização foliar de plantas de milho.

Tabela 3. Fungicidas registrados para pulverização foliar do milho¹.

Produto comercial (p.c.)	Ingrediente ativo (i.a.)	Grupo químico	Concentração (g/L ou kg)	Formulação	Classe toxicológica ²	Dose (p.c./100kg sementes)	Indicação de controle	Recomendação de aplicação	Empresa registrante
Folcur 200 CE	Tebuconazol	Triazol	200	CE	III	1 L/ha	Mancha <i>Exserohilum turcicum</i> Ferrugem polissora <i>Puccinia polysora</i> Ferrugem comum <i>Puccinia sorghi</i>	por Fungicida sistêmico com ação preventiva e curativa para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações aos primeiros sintomas.	Bayer CropScience Ltda.
Constant	Tebuconazol	Triazol	200	CE	III	1 L/ha	Mancha <i>Exserohilum turcicum</i> Ferrugem polissora <i>Puccinia polysora</i> Ferrugem comum <i>Puccinia sorghi</i>	por Fungicida sistêmico com ação preventiva e curativa para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações aos primeiros sintomas.	Bayer CropScience Ltda.
Tilt	Propiconazol	Triazol	250	CE	III	0,5 L/ha	Mancha <i>Exserohilum turcicum</i> Ferrugem tropical <i>Physopella zeae</i>	por Fungicida sistêmico para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações aos primeiros sintomas.	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Stratego 250 EC	Propiconazol + Trifloxystro-bina	Triazol + Estrobilurina	125 + 125	CE	II	0,6 a 0,8 L/ha	Cercosporiose <i>Cercospora zeae-maydis</i> ; Ferrugem comum por terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações próximas ao foliar por <i>Phaeosphaeria maydis</i>	por Fungicida sistêmico + mesostômico para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações próximas ao pendoamento ou aos primeiros sintomas.	Bayer CropScience Ltda.
Opera	Epoxiconazol + Piraclostrobina	Triazol + Estrobilurina	50 + 133	SE	II	0,75 L/ha	Mancha <i>Phaeosphaeria maydis</i> Ferrugem polissora <i>Puccinia polysora</i>	por Fungicida sistêmico + protetor com ação protetiva, curativa e erradicante para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações preventivamente aos primeiros sintomas.	Basf S.A.
Comet	Piraclostrobina	Estrobilurina	250	CE	II	0,6 L/ha	Mancha <i>Phaeosphaeria maydis</i> Ferrugem polissora <i>Puccinia polysora</i>	por Fungicida sistêmico com ação protetiva para aplicações terrestres e aéreas. Iniciar as pulverizações preventivamente aos primeiros sintomas.	Basf S.A.

¹Fonte: Compêndio de Defensivos Agrícolas - Andrei, 6ª edição, 1999 e atualização 2003. Relação de produtos por cultura, SAA/CDA (dezembro/2004), SIA - ANVISA (on line) e SINDAG (on line). ²Formulação: CE = concentrado emulsificável, SE = suspenso-emulsão. ³Classe toxicológica: I = extremamente tóxico, II = altamente tóxico, III = medianamente tóxico, IV = pouco tóxico.

Estudos realizados por Fantin *et al.* (2005b) com aplicação de fungicidas em milho pipoca para controle da ferrugem comum, conduzidos em Taquarivaí e Capão Bonito, ao sul do Estado de São Paulo, e Paulínia, ao centro do estado, na safra 2003/04, permitiram observar, em Taquarivaí, onde houve intensidade moderada da doença, aumento da produtividade em até 800 kg/ha com o controle químico, em relação à testemunha sem aplicação de fungicidas (Figura 4).

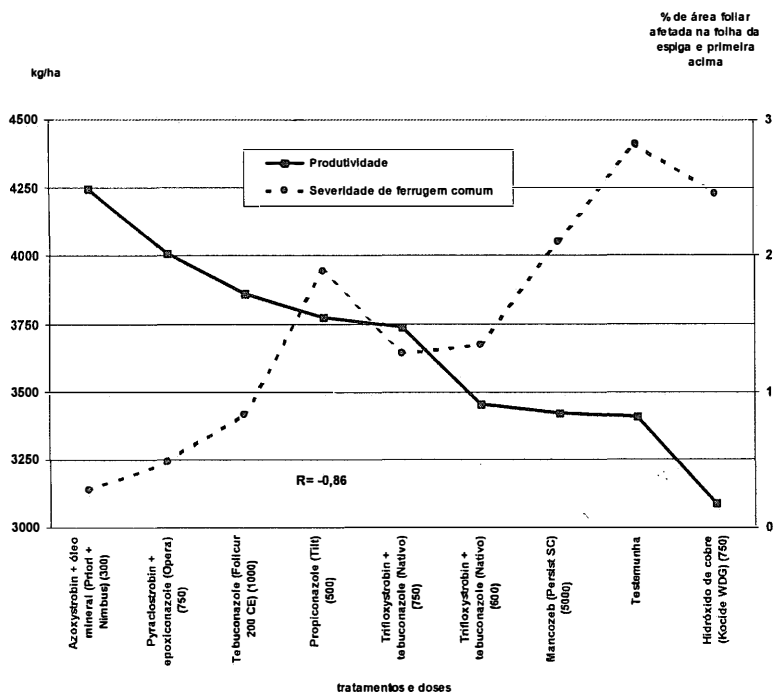


Figura 4. Severidade da ferrugem comum e produtividade do híbrido de milho pipoca IAC 112 com diferentes tratamentos fungicidas em experimento na safra 2003/2004 em Taquarivaí-SP.

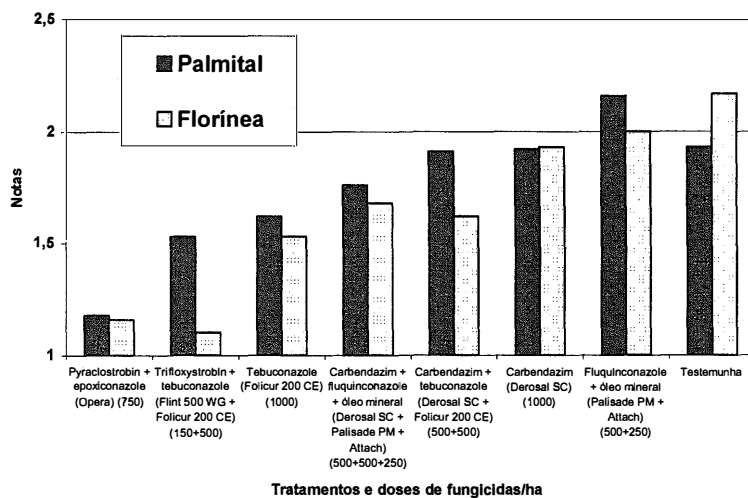


Figura 5. Severidade da mancha de *Phaeosphaeria* com o uso de fungicidas no híbrido duplo de milho Balu 184 na safrinha 2002.

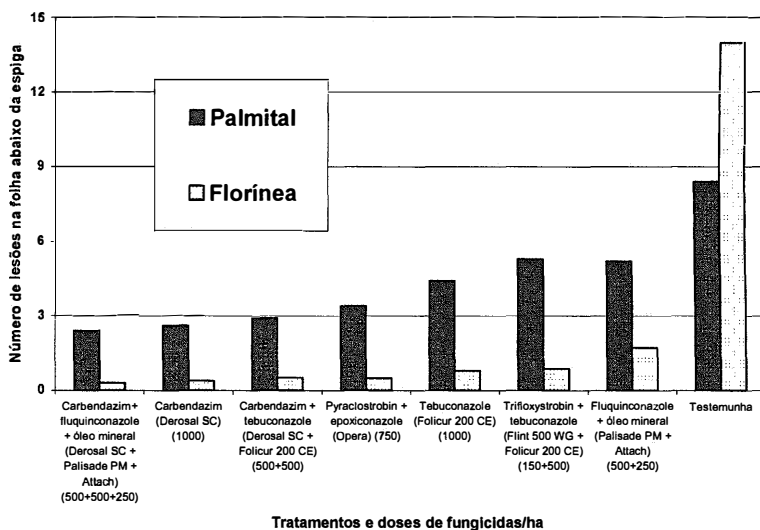


Figura 6. Severidade da mancha de *Cercospora* com o uso de fungicidas no híbrido duplo de milho Balu 184 na safrinha 2002.

Fantin *et al.* (2003) observaram, também, redução da severidade das manchas de *Phaeosphaeria* e de *Cercospora* com o uso de fungicidas em ensaios conduzidos em Florínea (aplicação no pré-florescimento) e Palmital (aplicação durante o florescimento), no Vale do Paranapanema, na safrinha 2002, embora, devido a uma longa estiagem, houve pequena evolução da severidade das doenças e não foram observadas diferenças na produtividade com o uso do controle químico. Notou-se, entretanto, quanto à mancha de *Cercospora* que, em Florínea, onde as plantas receberam o tratamento fungicida em estágio mais jovem que em Palmital, com severidade inicial da doença mais baixa, apesar da severidade final na testemunha ter sido maior que a de Palmital, as parcelas tratadas apresentaram severidade final menor que em Palmital. O mesmo não foi encontrado para a mancha de *Phaeosphaeria*, cuja intensidade inicial era maior que a da mancha de *Cercospora*, mas também apresentava diferença de severidade inicial nos dois locais (Figuras 5 e 6).

Resultados como estes sugerem a grande influência do ambiente na severidade das doenças, dificultando a tomada de decisão para a aplicação de fungicidas, principalmente quando ocorrem veranicos, excesso de chuvas ou outras alterações climáticas no decorrer do ciclo da cultura, alterando de forma diferenciada o desenvolvimento de cada uma das doenças do milho.

3.6 Realizar colheita precoce

Não atrasar a operação de colheita e, se necessário, realizá-la antecipadamente, evitando longa exposição dos grãos ao ambiente e patógenos.

3.7 Armazenar adequadamente as sementes ou grãos

Proceder à secagem e armazenagem logo após a colheita, procurar manter níveis de umidade abaixo do ótimo para o crescimento de fungos de armazenamento (13%), evitar o desenvolvimento de insetos na massa de grãos e realizar tratamento das sementes com fungicidas de acordo com recomendação da empresa registrante.

As medidas de controle de doenças aqui discutidas apresentam efeitos maiores ou menores sobre as diferentes doenças, podendo variar, também, em eficiência, de acordo com outros fatores como as condições ambientais ou a presença e quantidade das fontes de inóculo.

4 Referências bibliográficas

- ANDREI, E. (Coord.) **Compêndio de defensivos agrícolas**. 6.ed. São Paulo: Organização Andrei Ltda, 1999. 672p.
- ANDREI, E. (Coord.) **Compêndio de defensivos agrícolas**. 6.ed. São Paulo: Organização Andrei Ltda, v.2. Complemento de atualização 2003. 302p.
- BAKER, K.F.; COOK, R.J. *Biological control of plant pathogens*. San Francisco. Freeman. 1974.
- BECKMAN, P.M.; PAYNE, G.A. External Growth, Penetration e Development of *Cercospora zeae-maydis* in Corn Leaves. **Phytopathology**, v.72, p.810-815, 1982.
- BRASIL, E.M.; CARVALHO, Y. Comportamento de Híbridos de Milho em Relação a *Phaeosphaeria maydis* em Diferentes Épocas de Plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1977-1981, 1998.

- CASA, R.T.; REIS, E.M.; ZAMBOLIM, L. Decomposição dos restos culturais de milho e sobrevivência saprofítica de *Stenocarpella macrospora* e *S. maydis*. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n.4., p.355-361, 2003.
- CASELA, C.R. Manejo de doenças na cultura do milho. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.S86-S88. Suplemento.
- COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – GRUPO DE DEFESA SANITÁRIA VEGETAL – Centro de Fiscalização de Insumos e Conservação do Solo. **Relação de produtos registrados por cultura**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento – Campinas, 2005. Arquivo gerado em 01/03/2005.
- COSTA, F.M.P.C.; DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Caracterização da severidade de *Phaeosphaeria maydis* em milho (*Zea mays* L.) em diferentes épocas de semeadura e doses de nitrogênio. **Summa Phytopathologica**, v.30, p.116, 2004.
- DENTI, E.A.; REIS, E.M. Levantamento de fungos associados às podridões do colmo e quantificação de danos em lavouras de milho do planalto médio gaúcho e dos campos gerais do Paraná. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n.6., p.585-590, 2003.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FANTIN, G.M. Avanço da Cercospora. **Cultivar - Grandes Culturas**, v.6, p.28-31, 2004.
- FANTIN, G.M. Mancha de *Phaeosphaeria*, doença do milho que vem aumentando sua importância. **Biológico**, v.56, p.39, 1994.
- FANTIN, G.M. & BALMER, E. Método de inoculação e evolução de sintomas da mancha foliar de *Phaeosphaeria maydis* em milho. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.64-65, 1997.
- FANTIN, G.M.; BERNARDI, A.C.C.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito de doses de nitrogênio na severidade da mancha de *Phaeosphaeria* do milho em casa-de-vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v.24, p.282, 1999. Suplemento.
- FANTIN, G.M.; BRUNELLI, K.R.; RESENDE, I.C.; DUARTE, A.P. **A Mancha de Cercospora do Milho**. Campinas: IAC, 2001. 19p. (Boletim Técnico, 192).
- FANTIN, G.M.; DUARTE, A.P.; PINTO, R.A. Controle químico da cercosporiose do milho ns safrinha. *Revista de Agricultura*, v.78.,n.2, p.90-99, 2003.
- FANTIN, G.M.; DUDIENAS, C.; CASTRO, J.L.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A.P. Avaliação da severidade das manchas de *Phaeosphaeria* e de *Cercospora* do milho em cultivo de safrinha. *Revista de Agricultura*, v.79,n.1,p.135-154, 2004.
- FANTIN, G.M.; DUDIENAS, C.; DUARTE, A.P.; SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. *et al.* Doenças do milho. In: DUARTE, A.P. (Coord.) *Cultura do Milho*. 2005a. Disponível em <http://www.zeamays.com.br> (Acesso em 2005).
- FANTIN, G.M.; SAWAZAKI, E.; CASTRO, J.L.; MORAES, O.S. Controle químico da ferrugem comum em milho pipoca. **Summa Phytopathologica**, v.31, n.1, 2005b.
- FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. de. **A mancha por Cercospora em milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA, maio/2000. 1p. (Comunicado Técnico, 16)
- FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. de. **Principais doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1997. 80p. (Circular Técnica, 26)
- LUZ, W.C. **Diagnose e controle das doenças da espiga de milho no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 1995. 28p. (Circular Técnica, 5)

- MIGUEL-WRUCK, D.S.; PAES, J.M.V.; ZITO, R.K.; SOUZA J.A. Avaliação da Severidade de *Phaeosphaeria* sp. e *Cercospora* sp. em cultivares de milho no ano agrícola 2001/2002 (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24, Florianópolis, 2002. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri. 2002. 4p.
- NAULT, L.R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v.70, n.7, p.659-662. 1980.
- PACHECO, A.C.; VIEIRA, L.C.; GUIMARÃES, D.R.; CANTON, T. Reação de Híbridos de Milho à Mancha Foliar de *Phaeosphaeria*. **Agrop. Catarinense**, v.12, p.14-16, 1999.
- PARENTONI, S.N.; FERNANDES, F.T.; GAMA, E.E.G.; LOPES, M.A.; EVARISTO, P.E.O.; SANTOS, M.X.; SILVA, A.E. Efeito de níveis de nitrogênio sobre a severidade da doença foliar causada por *Phaeosphaeria maydis* em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina: IAPAR, 1996. Resumos. 1996. p.164.
- PEGORARO, D.G.; VACARO, E.; NUSS, C.N.; DAL SOGLIO, F.K.; SERENO, M.J.C.M.; BARBOSA NETO, J.F. Efeito de Épocas de Semeadura e Adubação na Mancha Foliar de *Phaeosphaeria* em Milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1037-1042, 2001.
- PEREIRA, O.A.P. Análise da situação atual de doenças de milho no Brasil e disponibilidade de germoplasma resistente. **Summa Phytopathologica**, v.21, n.1, p.67-69, 1995.
- PEREIRA, O.A.P. Doenças do milho. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agron. Ceres, 1997. v.2, cap.52, p.538-555.
- REIS, E.M.; CASA, R.T. Controle de doenças fúngicas na cultura do milho no sul do Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DO MILHO, Passo Fundo, 2000. BORGES, G.; BORGES, L.D. (Ed.). **Tecnologia de produção da cultura do milho – Resumo de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2000. p.62-71.
- REIS, E.M.; CASA, R.T. **Manual de identificação e controle de doenças do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 80p.
- REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. Manual de diagnose e controle de doenças do milho. Lages: Graphel, 2004. 141p.
- SANTOS, P.G.; JULIATTI, F.C.; BUIATTI, A.L.; HAMAWAKI, O.T. Avaliação do Desempenho Agronômico de Híbridos de Milho em Uberlândia-MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.597-602, 2002.
- SAWAZAKI, E.; DUDIENAS, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GALVÃO, J.C.C.; CASTRO, J.L.; PEREIRA, J. Reação de cultivares de milho à mancha de *Phaeosphaeria* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.585-589, 1997.
- SHURTLEFF, M.C. (Ed.) **Compendium of corn diseases**. 2.ed. St. Paul: American Phytopathological Press, 1992. 105p.
- SILVA, H.P. & MENTEN, J.O.M. Manejo integrado de doenças na cultura do milho. In: FANCELLI e DOURADO NETO (Coord.) **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, p.40-56, 1997.

- SILVA, H.P.; FANTIN, G.M.; RESENDE, I.C.; PINTO, N.F.J.A.; CARVALHO, R.V. Manejo integrado de doenças na cultura do milho de safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 6, Londrina, 2001. SHIOGA, P.S.; BARROS, A.S.R. (Coord.) **A cultura do milho safrinha**. Londrina: IAPAR, 2001. p.113-144.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE AGROTÓXICOS - Agência Nacional de Vigilância Sanitária – SIA-ANVISA. 2004. http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm_dados_agrotoxico.asp Acesso em 30/07/04.
- VON PINHO, R.G.; STEOLA, A.G.; GROSS, M.R.; SOUZA, J.P. Reação de Cultivares e Danos Causados pela Mancha Branca do Milho (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24, Florianópolis, 2002. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002 5p.
- WARD, J.M.J.; STROMBERG, E.L.; NOWELL, D.C.; NUTTER Jr., F.W. Gray leaf spot: a disease of global importance in maize production. **Plant Disease**, v.83, n.10, p.884-895, 1999.
- WHITE, D.G. (Ed.) **Compendium of Corn Diseases**. 3.ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2000. 78p.

NITROGÊNIO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Flávio Murilo Pereira da Costa¹; Durval Dourado Neto²; Antonio Luiz Fancelli³; Reinaldo Antonio Garcia Bonnacarrère¹; Pedro Jacob Christoffoleti⁴

1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Em termos de produção, o Brasil é o terceiro maior produtor (FAO, 1998). Essa cultura, quando comparada a outras espécies cultivadas, tem obtido significativos avanços nas diferentes áreas do conhecimento agrônomo, o qual tem possibilitado melhor compreensão de suas interações com o ambiente (relação entre a planta e os diferentes agentes bióticos e abióticos do sistema produtivo). Tal fato é fundamental para nortear a intervenção eficiente (manejo) do Homem no processo produtivo.

No Brasil, o rendimento médio da cultura do milho é de apenas 2.760 kg.ha⁻¹ (FNP, 2000). Todavia, práticas corretas de manejo podem ser determinantes para a condução adequada da cultura, visto que a integração de informações sobre a planta e os elementos bióticos (pragas e doenças, principalmente) e abióticos (clima e solo) pode auxiliar tanto o produtor quanto o pesquisador no desenvolvimento de tecnologia de produção (Dourado Neto, 1999).

Apesar do custo ser mais elevado nas regiões Centro-Sul e Centro-Oeste principalmente, a exploração tecnificada emprega prioritariamente sementes de milho híbrido. Tal utilização proporciona variavelmente, maior rendimento e lucratividade ao produtor. Entretanto, existe grande variação nos genótipos disponíveis no mercado quanto ao padrão de resposta ao nível de tecnologia empregado, desde híbridos de excelente potencial de produtividade até materiais pouco adaptados a extrema variabilidade de condições ambientais das regiões produtoras de milho.

O ciclo da cultura é aquele período compreendido entre a semeadura e a colheita (para efeito prático) ou entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica (para efeito de planejamento) em função de graus-dia (Fancelli & Dourado Neto, 2000), sendo que o estágio fenológico representa a caracterização morfológica do material genético em função dos eventos fisiológicos da planta.

A alteração na performance relativa dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente é denominada interação entre genótipo e ambiente. Para detectar a

¹ Doutorando em Fitotecnia. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP. 13.418-900.

² Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP. 13.418-900. dourado@esalq.usp.br. Bolsista CNPq.

³ Engenheiro Agrônomo. MSc. Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Caixa Postal: 9. Piracicaba, SP – 13418-900. Fone: (19) 3429-4115 – ramal:25. fancelli@esalq.usp.br.

⁴ Professor Associado, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, USP/ESALQ, Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 09, CEP - 13.418-900, Piracicaba - SP, e-mail - pjchrist@esalq.usp.br, fone - 19 3429 4190, fax - 19 3429 4385.

referida interação, os diferentes genótipos devem ser avaliados em dois ou mais ambientes contrastantes, que podem também ser denominados de "microambientes", quando se utilizam em um mesmo local, mas em épocas distintas de avaliações (Borém, 1997). Afirmar-se que há interação entre o genótipo e o ambiente quando o desempenho relativo dos genótipos é inconstante de um ambiente para outro (Chaves, 2001).

O estresse ambiental deve ser entendido como qualquer fator do ambiente que possa causar dano à planta e que venha limitar o seu crescimento e desenvolvimento (Monteiro, 1995). A temperatura, regime de chuvas, ventos, luz e umidade estão entre os principais fatores do clima.

Estresses nutricionais ocasionam decréscimos no rendimento e na qualidade do produto colhido. Portanto, sempre que possível, o controle das desordens nutricionais deve ser realizado de forma integrada com os métodos de correção e prevenção, pois esse procedimento minimiza os custos de fertilizantes e corretivos. Mais que a ação de cada nutriente, o equilíbrio nutricional parece ser de suma importância à sanidade vegetal, devido à complexidade dos efeitos antagônicos e/ou sinérgicos existentes entre os macros e os micronutrientes.

O nitrogênio é o nutriente que proporciona maior aumento de rendimento de grãos na cultura do milho por ser constituinte de moléculas de proteínas (enzimas e coenzimas), ácidos nucleicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila (Neptune et al., 1982). Bull (1993) cita que vários autores ressaltam os efeitos do nitrogênio no aumento do rendimento de grãos da cultura de milho. O aumento do rendimento proporcionado pelo nitrogênio pode ser atribuído, também, aos seus efeitos sobre o crescimento do sistema radicular, sobre o aumento do comprimento da espiga e do número de espigas por planta.

O nitrogênio, sob a ótica da nutrição mineral das plantas, é quase sempre analisado em termos de aumento de produtividade. No entanto, essa prática também tem efeito na qualidade do produto colhido e na resistência a ataques de pragas e doenças (Yamada, 1995). A alta concentração de nitrogênio reduz a produção de compostos fenólicos (fungiostáticos) e de lignina das folhas, diminuindo a resistência aos patógenos.

O aumento de temperatura, principalmente noturna, além de aumentar a taxa respiratória, contribui para um maior acúmulo de graus-dia em menor espaço de tempo. Dessa maneira, esse aumento contribui para o encurtamento do ciclo da cultura e à redução do aparato fotossintético que, diretamente, diminui a quantidade de radiação interceptada, bem como reduz o potencial de produção (Fancelli & Dourado Neto, 1997).

A redução da taxa fotossintética após o florescimento pode ser ocasionada por seca, excesso de chuva, nebulosidade prolongada, relação desfavorável entre N e K (excesso de nitrogênio), destruição de área foliar (doenças e pragas) e população excessiva. Essa situação implicará na necessidade da utilização de reservas do colmo no enchimento dos grãos que, conforme o nível de estresse gerado, poderá favorecer a incidência de fungos de solo (Fancelli, 1994).

Atualmente, os genótipos disponíveis no mercado brasileiro são classificados, quanto à fase vegetativa (período entre a emergência e o florescimento), em superprecoces, precoces e normais, apresentando, respectivamente, soma calórica inferior a 830°C.dia (Graus-dia), entre 830 e 900°C.dia e acima de 900°C.dia para o florescimento (Vieira Júnior, 1999).

O prolongamento ou a redução do período vegetativo compromete o rendimento de grãos (Fancelli & Dourado Neto, 1996).

Os principais fatores de produção referentes à cultura de milho são: população de plantas, material genético, clima e adubação nitrogenada.

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar e quantificar o efeito da adubação nitrogenada (foram utilizadas cinco doses crescentes de nitrogênio) no rendimento de grãos de alguns genótipos (foram utilizados cinco diferentes genótipos) de milho em diferentes ambientes (foram utilizadas 2 épocas de semeaduras no mesmo local).

2 Experimento de campo

O presente trabalho foi conduzido na área experimental sob a égide do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba, SP (22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 546 m de altitude), sob condições irrigadas (sistema por aspersão do tipo pivô central). No local foram conduzidos dois experimentos, caracterizados pelas respectivas datas de semeadura (S) e de colheita (C): Experimento 1 - 11/09/00 (S) e 26/01/01 (C); Experimento 2 - 29/11/00 (S) e 20/04/01 (C).

Foram utilizados cinco híbridos simples comerciais de milho, conforme informação fornecida pelas empresas produtoras (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição sucinta dos cinco genótipos utilizados nos quatro experimentos (informação fornecida pelas empresas produtoras).

Genótipo	Híbrido	Tipo ¹	GD ²	Classificação comercial
1	P-30F45	S	850	Precoce
2	C-333B	SM	970	Normal
3	P-30K75	S	878	Precoce
4	CO-9560	S	825	Superprecoces
5	C-909	S	810	Superprecoces

Genótipo	Indicação ³	Semeadura ⁴	Grão	
			Cor	Tipo
1	TR/TS	2;3	Laranja	Flint
2	TR/TS/ST	2;3;4	Laranja	Flint
3	TR/TS/ST	2;3	Laranja	Semiduro
4	TR/TS/ST	2;3;4	Laranja	Semiduro
5	TR/TS/ST	1;2;3;4	Laranja	Flint

¹ Tipo: S: híbrido simples; SM: híbrido simples modificado. ² GD: número de graus-dia para o florescimento (°C.dia). ³ Indicação: TR: Tropical; TS: Transição e ST: Subtropical.

⁴ Semeadura: 1: cedo, 2: normal, 3: tardio e 4: safrinha (recomendação das empresas produtoras)

Os cinco genótipos utilizados estiveram sob a influência de cinco doses crescentes de adubação nitrogenada (0; 60; 120; 180 e 240 kg.ha⁻¹ de nitrogênio), utilizando o fertilizante uréia como fonte.

Nos dois experimentos foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se de combinações dos fatores genótipos e doses de nitrogênio, arranjados no esquema fatorial, totalizando 25 tratamentos em cada época de semeadura.

Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas de 4,0m de comprimento, com espaçamento de 0,75m entre linhas, resultando a seguinte população: 70.000 plantas.ha⁻¹. As duas linhas extremas de semeadura foram consideradas bordaduras, totalizando, portanto, quatro linhas centrais de parcela útil. As duas linhas centrais foram reservadas para a determinação do rendimento de grãos (área útil: 6,0m²).

Foi realizada análise de variância para as variáveis rendimento (R), de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + G_j + B_k + DG_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que onde Y_{ijk} é o valor da variável resposta correspondente à dose i ($i=0$; 60; 120; 180 ou 240 kg.ha⁻¹ de nitrogênio), genótipo j ($j=1,2,3,4$ ou 5) (Tabela 1) e bloco k ($k=1,2$ ou 3); μ é a média geral da variável Y ; D_i , G_j e B_k os efeitos da dose i , no genótipo j , no bloco k , respectivamente; DG_{ij} o efeito da interação entre a dose i e o genótipo j ; ε_{ijk} o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

Foram calculadas correlações para a variável rendimento em função de doses de nitrogênio. Para as variáveis onde o efeito de dose de nitrogênio foi significativo, foram ajustados modelos de regressão para quantificar o efeito do nitrogênio sobre as variáveis resposta, em cada um dos genótipos. A significância dos parâmetros dos modelos de regressão foi avaliada pelo teste t para contrastes.

A análise da propriedade física e química do solo foi realizada no Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo). O resultado da análise química de solo da localidade estudada pode ser assim descrito: pH: 5,2 (CaCl₂); MO: 25 (g/dm³); P: 24 (mg/dm³); S-SO₄: 41 (mg/dm³); K: 4,8 (mmol/dm³); Ca: 48 (mmol/dm³); Mg: 17 (mmol/dm³); Al: 0 (mmol/dm³); H+Al: 31 (mmol/dm³); SB: 69,9 (mmol/dm³); T: 100,8 (mmol/dm³); e V: 69%.

O solo da localidade é classificado como uma Terra Roxa estruturada eutrófica, textura argilosa/muito argilosa (Vidal Torrado & Sparovek, 1993).

O preparo do solo constituiu-se de cultivo mínimo, através de escarificação e gradagem, às vésperas da semeadura dos experimentos.

As aplicações de adubos na semeadura foram feitas manualmente nos sulcos, espaçados de 0,75m entre si, abertos com sulcador tracionado por trator.

A adubação básica mineral, para todos os tratamentos, foi feita de acordo com o resultado da referida análise química do solo e em função do rendimento almejado.

A adubação nitrogenada obedeceu a seguinte recomendação: (i) 30% na semeadura e o restante entre os estádios fenológicos 1 e 2 (5 a 6 folhas).

A semeadura foi realizada manualmente, nas referidas épocas, dispondo-se duas sementes por cova na linha de 4m de comprimento, que por ocasião da terceira folha completamente desdobrada, realizou-se o desbaste, deixando-se vinte e uma plantas em cada parcela experimental (seis linhas de 4m de comprimento) utilizando a população máxima para os materiais genéticos relacionados.

Durante o ciclo da cultura, para cada experimento, foram avaliados os estádios fenológicos para a caracterização das fases vegetativa (emergência

ao florescimento) e reprodutiva (florescimento ao ponto de maturidade fisiológica) (Fancelli & Dourado Neto, 1996).

Para obtenção do número de graus-dia (GD) (ou soma calórica) até o *n*-ésimo dia após a emergência, foi utilizada a seguinte equação:

$$GD_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{máx_i} + T_{mín_i}}{2} - T_b \right) \quad (\text{se } T_{mín_i} \geq T_b \text{ e } T_{máx_i} \leq T_m)$$

em que *n* se refere ao número de dias após a emergência referente ao florescimento (estádio 5), *T_b* e *T_m* às temperaturas basais mínima (10°C) e máxima (35°C), respectivamente, da cultura de milho; *T_{mín_i}* e *T_{máx_i}* às temperaturas mínima e máxima do ar, respectivamente, no *i*-ésimo dia após a emergência.

Para o componente rendimento de grãos foi mensurada a massa total de grãos na área útil da parcela (kg/parcela) nas duas linhas centrais de 4m de comprimento. O rendimento foi convertido em kg.ha⁻¹, para o teor de água no grão de 13%. A determinação da umidade do grão foi feita imediatamente após a debulha manual de todas as espigas da parcela utilizando o método padrão de estufa (Brasil, 1992).

3 Resultados experimentais

Os valores médios mensais das observações (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e chuva) estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores mensais de temperatura (°C) do ar (média das máximas e das mínimas e média geral), umidade relativa (%) do ar (média das máximas e das mínimas e média geral), radiação global média (MJ/m².dia) e chuva (mm/mês), nos diferentes períodos dos quatro experimentos (E).

E	Período	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)			Rad. Global MJ/m ² .dia	Precipitação	
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		mm	Dias de chuva
1	11/set-30/set	28,4	15,9	21,5	99,1	50,2	79,44	17,97	38,70	7
	1/out-31/out	31,6	18,1	24,2	99,3	41,9	75,46	20,24	102,70	9
	1/nov-30/nov	29,3	17,7	22,6	99,6	53,8	85,02	19,85	228,50	17
	1/dez-31/dez	29,3	18,9	23,2	99,9	60,7	88,52	19,15	187,50	18
	1/jan-14/jan	31,1	18,9	24,1	99,9	49,3	82,49	22,82	39,70	6
2	29/nov-30/nov	29,6	18,9	23,2	100,0	59,2	89,70	21,03	38,70	2
	1/dez-31/dez	29,3	18,9	23,2	99,9	60,7	88,52	19,15	187,50	18
	1/jan-31/jan	31,1	19,6	24,4	99,8	52,4	84,35	22,04	214,00	18
	1/fev-28/fev	31,0	20,3	24,4	99,9	57,9	88,77	19,28	87,20	17
	1/mar-31/mar	30,7	19,3	24,1	100,0	55,1	86,82	18,93	160,80	14
3	27/dez-31/dez	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/jan-31/jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/fev-28/fev	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/mar-31/mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/abr-21/abr	29,8	16,4	22,4	100,0	55,3	88,52	18,57	-	-
4	22/fev-28/fev	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/mar-31/mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/abr-30/abr	30,0	16,5	22,5	100,0	53,5	88,61	17,54	-	-
	1/mai-31/mai	24,6	12,3	17,6	100,0	63,58	93,18	12,30	-	-
	1/jun-18/jun	26,4	13,1	18,6	100,0	58,99	93,17	12,27	-	-

A fenologia determinada no presente trabalho é referente às parcelas dos tratamentos (cinco genótipos) na dose de 120 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (bloco III),

nos quatro experimentos. O estágio 5 (florescimento geral) foi determinado em todas as parcelas para todos os experimentos (Tabela 3).

Tabela 3. Número de dias após a emergência (DAE) para o florescimento geral e para o ponto de maturidade fisiológica referente aos cinco genótipos nos quatro experimentos (média de 3 repetições).

Quatro experimentos (média de 3 repetições):							
Genótipo	Experimento	Dias após a semeadura (DAS) para o Florescimento					Média
		Doses (kg.ha ⁻¹ N)					
		0	60	120	180	240	
P-30F45	1	67	62	60	60	59	62
	2	64	58	56	55	54	58
	3	65	56	54	54	53	56
	4	57	56	54	54	52	55
C-333B	1	72	66	64	62	61	65
	2	72	62	61	58	58	62
	3	67	58	56	54	54	58
	4	59	57	56	56	56	57
P-30K75	1	65	59	58	58	57	59
	2	60	56	54	54	54	56
	3	60	54	53	52	52	54
	4	57	52	51	52	51	53
CO-9560	1	68	61	59	58	58	61
	2	62	56	55	54	54	56
	3	59	54	53	53	53	54
	4	56	52	51	53	51	53
C-909	1	67	60	58	57	57	60
	2	60	56	55	54	54	56
	3	62	55	54	53	53	55
	4	56	56	54	53	53	54

Para todos os genótipos e em todos os experimentos, há uma tendência de redução da fase vegetativa (período entre a emergência e o florescimento) com o aumento da dose de nitrogênio, bem como com o atraso da época de semeadura.

De acordo com Berger (1962) e Fancelli & Dourado Neto (1997), temperaturas médias diárias elevadas durante o crescimento e desenvolvimento das plantas podem antecipar o estágio 5 (florescimento), principalmente se estiverem associadas a uma inadequada disponibilidade de água no solo e à radiação solar. Nas diferentes épocas de semeadura, a redução da fase vegetativa ocorreu devido ao aumento das temperaturas médias observadas.

3.1 Rendimento de grãos de milho

As Figuras 1 e 2 a seguir ilustram a variação do rendimento de grãos (kg.ha⁻¹) em função de doses crescentes de nitrogênio nos quatro experimentos (dois locais em quatro épocas de semeadura).

A disponibilidade do nitrogênio no solo para a cultura de milho possui fundamental relação para o aumento do rendimento de grãos. A aplicação do nutriente pode proporcionar aumentos significativos quando da utilização de genótipos com alto potencial de resposta, associada ou não a fatores (bióticos e abióticos) que favoreçam o bom crescimento e desenvolvimento das plantas.

Essa situação pode ser observada nos experimentos 1 e 2 (local 1), onde praticamente todas as condições foram favoráveis para o bom desempenho

dos genótipos utilizados. Houve resposta da aplicação crescente de doses do nutriente nas referidas épocas de semeadura, sendo que os rendimentos para os genótipos 1 (P-30F45), 2 (C-333B) e 5 (C-909) foram linearmente crescentes e, para os genótipos 3 (P-30K75) e 4 (CO-9560), o efeito de doses está representado pelas equações quadráticas.

Sendo assim, ficou verificado que nos experimentos 3 e 4 (local 2), a aplicação doses de nitrogênio não obedeceu a mesma curva de resposta observada nos dois primeiros experimentos. Algumas situações de estresse podem ter contribuído para o baixo desempenho dos genótipos. Um primeiro fator poderia estar relacionado ao tipo de solo. Um segundo fator, de crucial efeito, estaria relacionado com a época de semeadura a que foram submetidos os dois últimos ensaios para o referido local. Períodos de altas temperaturas (principalmente noturnas) foram observados durante os meses de janeiro e fevereiro, coincidindo com os períodos da fase vegetativa do experimento 3, o que repercutiu diretamente no encurtamento do período para o florescimento dos genótipos, especialmente àqueles considerados superprecoces para atingir o florescimento. Um terceiro fator adicional estaria relacionado com a incidência e a severidade doenças foliares.

Cumpra salientar que para os experimentos 3 e 4 (semeadura de dezembro e fevereiro), decréscimos no rendimento foram verificados nas doses de 180 e 240 kg.ha^{-1} de nitrogênio, devido ao surgimento de podridões da espiga em genótipos susceptíveis e de ciclo curto (superprecoces), não recomendados para o período.

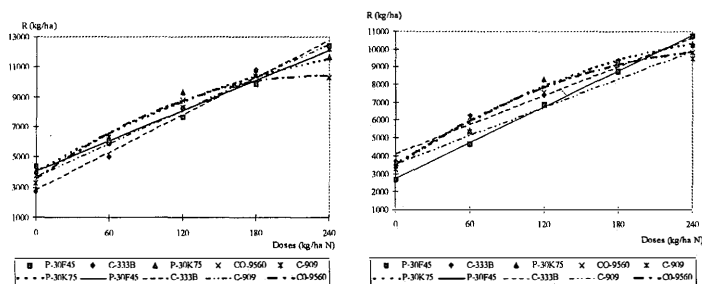


Figura 1 - Rendimento de grãos de milho (R , kg.ha^{-1}) em função de doses crescentes de nitrogênio. Experimento 1 e 2. Data de semeadura: 11/09/00 e 29/11/00.

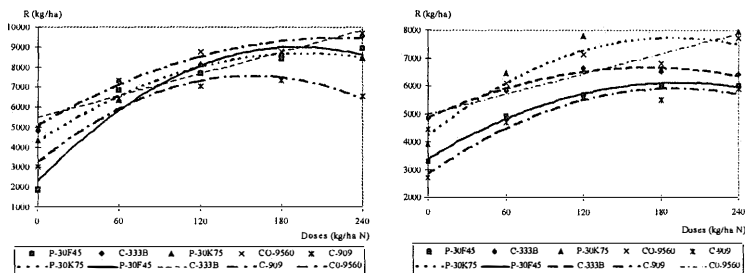


Figura 2 - Rendimento de grãos de milho (R , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função de doses crescentes de nitrogênio. Experimento 3 e 4. Data de semeadura: 27/12/00 e 22/02/01.

3.2 Interação entre genótipo e ambiente

A Tabela 4 apresenta os dados de rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) obtidos nos quatro ambientes (experimentos), e as estimativas dos efeitos principais dos tratamentos (genótipos em combinação com as diferentes doses de nitrogênio) (última coluna da Tabela 4) e dos ambientes (última linha da Tabela 4).

Pode-se verificar valores relativos negativos da estimativa do efeito do ambiente no experimento 4 (diferença entre os rendimentos), o qual representa a época de semeadura comumente denominada por "safrinha". Os valores indicam que o decréscimo no rendimento médio dos genótipos pode ser devido, em primeira instância, ao fator climático (em função da época de semeadura). Para pelo menos dois genótipos, o fator doença pode ter contribuído para a redução do rendimento médio de grãos.

Para as estimativas dos efeitos genotípicos, constata-se que a maioria dos genótipos utilizada possui um bom potencial de resposta à aplicação do fertilizante nitrogenado, acima da dose de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Porém, a referida dose de nitrogênio aplicada não se justifica em termos da relação custo-benefício, para os ambientes 3 e 4 (localidade 2), conforme observado na Tabela 4.

Para os ambientes 3 e 4, não seria recomendada a utilização dos tipos de genótipos testados (híbrido simples), pelo fato de que a maior restrição à utilização de técnicas para obtenção de elevados rendimentos estaria condicionada ao material genético inadequado. Talvez outros materiais (híbridos duplos e/ou tripos) apresentem uma maior adaptabilidade às condições impostas pelo ambiente, pois mesmo os genótipos (C-333B, P-30K75 e CO-9560) considerados tolerantes às principais doenças do milho, não obtiveram desempenho satisfatório (em termos de rendimentos de grãos).

Tabela 4. Rendimento médio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e estimativa dos efeitos principais dos genótipos dentro de dose de nitrogênio dos quatro diferentes ambientes (experimentos 1, 2, 3 e 4).

Genótipo	Dose ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Experimento				Média ($\bar{Y}_i$)	Efeito Genotípico ($\hat{g}_i$)
		1	2	3	4		
P-30F45	0	4352,64	2663,37	1835,29	3318,81	3042,53	-3967,57
	60	5942,95	4664,47	6859,93	4928,28	5598,91	-1411,19
	120	7650,63	6916,81	7710,02	5692,64	6992,52	-17,58
	180	9878,80	8759,01	8402,33	6019,18	8264,83	1254,73
	240	12424,53	10726,36	8937,49	6010,96	9524,83	2514,73
C-333B	0	2694,42	3692,87	4783,38	4848,40	4004,77	-3005,33
	60	5043,96	6220,77	7282,03	5839,36	6096,53	-913,57
	120	8246,92	7419,42	8144,97	6643,29	7613,65	603,55
	180	10777,56	9349,89	8605,70	6530,46	8815,90	1805,80
	240	12291,95	10266,39	9540,83	6400,21	9624,84	2614,74
P-30K75	0	4066,19	3601,81	4337,88	3909,15	3978,76	-3031,34
	60	6171,85	5414,98	6353,31	6473,84	6103,49	-906,61
	120	9326,21	8315,29	8148,48	7791,42	8395,35	1385,25
	180	9826,36	9310,47	8654,73	6620,82	8603,10	1593,00
	240	11679,68	10257,47	8450,74	7938,28	9581,54	2571,44
CO-9560	0	3720,04	3428,27	4942,94	4432,25	4130,87	-2879,23
	60	6144,58	6163,11	7307,83	6084,43	6424,99	-585,11
	120	8775,25	7568,95	8770,38	7124,78	8059,84	1049,74
	180	10401,06	9269,25	8754,04	6813,71	8809,51	1799,41
	240	10241,71	9809,45	9672,47	7714,49	9359,53	2349,43
C-909	0	3240,11	3228,40	3007,07	2687,98	3040,89	-3969,21
	60	6282,64	5325,77	6437,65	4692,73	5684,70	-1325,40
	120	8294,80	6870,83	7036,98	5605,19	6951,95	-58,15
	180	10530,20	8738,85	7325,33	5519,68	8028,52	1018,42
	240	12191,09	9448,63	6552,10	5889,13	8520,24	1510,14
Média ($\bar{Y}_j$)		8007,84	7097,24	7114,16	5821,18	-	7010,10
Efeito Ambiental	($\hat{a}_j$)	997,74	87,14	104,06	-1188,92	-	-

3.3 Considerações finais

De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que:

(i) o desempenho do genótipo é dependente da época de semeadura, sendo que a adubação nitrogenada propicia maior aumento no rendimento de grãos quando a condição ambiental não é limitante: (i.1.) para o genótipo 1 (P-30F45), quando são comparados os dois locais, o rendimento médio do local 2 (terceira e quarta épocas) foi 65% do obtido no local 1 (primeira e segunda épocas); (i.2.) para os demais (genótipos 2: C-333B, 3: P-30K75, 4: CO-9560 e 5: C-909), quando são comparados os dois locais, o rendimento médio do local 2 (terceira e quarta épocas) foi 75% (variação de 60% - C-909 - a 82% - CO-9560) do obtido no local 1 (primeira e segunda épocas); (i.3) para condição ambiental menos limitante (ambiente 1: época 1 e local 1), a adubação nitrogenada propiciou aumento de rendimento médio (para todos os genótipos) de 236% (variação de 175% a 356%); (i.4) para condição ambiental mais limitante (ambiente 4: época 4 e local 2), a adubação nitrogenada propiciou aumento de rendimento médio (para todos os genótipos) de 82% (variação de 32 a 119%); e (i.5) para o genótipo susceptível (P-30F45) sob altas doses de nitrogênio e em condições de *safrinha* (elevada incidência do patógeno), o rendimento médio foi de 48% quando comparada com a semeadura antecipada (ambiente 1: época 1 e local 1).

4 Referências bibliográficas

- BERGER, J. **Maize production and the manuring of maizes**. Zurich: Gonzelt & Herber, 1962. p.38-41.
- BOREM, A. Interação genótipo x ambiente. In: BOREM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 1997. p.123-133.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análises de sementes**. Brasília, 1992. 365p.
- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.73-79.
- CHAVES, L.J. Interação de genótipos com ambientes. In: **Recursos genéticos e melhoramento: Plantas**. NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.673-713.
- DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho. Piracicaba, 1999. 229p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FANCELLI, A.L. **Milho e feijão: elementos para manejo em agricultura irrigada**. Piracicaba: ESALQ, Departamento. Agricultura, 1994. 14p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. In: SEMINÁRIO SOBRE FISILOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE, Piracicaba, 1996. **Informações Agrônomicas**. POTAFOS, n. 73, p.1-4, 1996.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: Ecofisiologia e rendimento. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1997. p.157-168.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 387p.

- FAO. **Production Yearbook**. v.52, p.71, 1998.
- FNP - CONSULTORIA E COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2000**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo, Editora Argos Comunicação, 2000. p.436.
- MONTEIRO, J.A. Estresse ambiental: considerações econômicas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, Sete Lagoas, 1995. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS, 1995. p.13-37.
- NEPTUNE, A.M.L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L.C.; SOUZA, E.A. Efeitos de doses não equidistantes de N, P, K nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho (*Zea mays*). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.39, p.917-941, 1982.
- VIDAL TORRADO, P.; SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do Campus "Luiz de Queiroz"**. Piracicaba: ESALQ, 1993. (escala 1:10.000).
- VIEIRA JÚNIOR, P.A. Milho (*Zea mays*). In: CASTRO, P.R.C.; KUGLE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: NOBEL, 1999. p.41-68.
- YAMADA, T. A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças. **Informações Agronômicas POTAFOS**, n.72, p.1-3, 1995.

Evolução do melhoramento genético do milho: otimização gênica para agricultura sustentável

Joaquim A. Machado¹

1 Introdução

O Melhoramento Genético é produto natural da interveniência humana na co-evolução, que originou o fenômeno do "*redesign*" de plantas, animais e microorganismos objetivando o consumo. O melhoramento genético sempre se valeu do fato de que a recombinação genética é um procedimento de busca ("*search procedure*") determinado a obter otimizações em um espaço de oportunidades, onde os fenômenos primordiais são a mutação e a seleção. Essa busca de otimização de processos biológicos e estéticos é portanto, uma alteridade.

A Biotecnologia é a filha diletta da Automação de Processos. De todas as definições de Biotecnologia para usos diversos, essa é caracteristicamente instrutiva, uma vez que explicita a internalização em Biologia de rotinas de automação da produção, desde as mais simples observadas no passado, até as mais sofisticadas interações da Informática com a Bioquímica e a Genética, hoje implementadas.

Há, portanto, uma curva de progressão das atividades humanas em Melhoramento Genético e Biotecnologia, à qual se ajustam com maior ou menor precisão, os diversos esforços encontrados na literatura especializada, decorrentes da interação entre as necessidades e desejos estéticos das sociedades humanas e o nível de capacitação para o adequado desenvolvimento científico e tecnológico.

Machado & Salles-Filho (1996), tentaram uma primeira aproximação sobre os requerimentos para a capacitação em melhoramento de plantas face ao advento das primeiras técnicas consideradas como de Biotecnologia Moderna. Recordavam o debate observado por volta de 1985, "senão estéril", ao menos bastante desvirtuado, sobre o futuro da Biotecnologia e do Melhoramento Genético Convencional". Destacavam a necessidade de contextualizar as mudanças observadas, indicando que "as transformações econômicas, sociais, culturais e científicas são de magnitude e alcance proporcionais aos grande pontos de inflexão registrados na história", concluindo por um cenário descrito como "reconverter ou perecer", quanto às necessidades de adequação e capacitação de especialistas em Melhoramento Genético. Entre outras peculiaridades, o texto imaginava o possível advento de analisadores biológicos semelhantes ao "Tricorders" observados na série Jornada nas Estrelas, destacando a automação e a portabilidade intensivas, como fenômenos de internalização recente em Biologia.

Uma década depois, constata-se em Shreeve (2004), que os microorganismos, observados como recursos genéticos, representam a matéria - escura da Vida, em associação com aquela predominante no Universo conceitual, indicando o autor a imensurável quantidade de Informação existente em sistemas vivos, e a imensidão da tarefa de conhecê-la e bem utilizá-la,

¹ Syngenta.

mostrando-se otimista em face do "armamentarium" à disposição dos biólogos e geneticistas. Essas tecnologias permitem mesmo que, ao se planejar o Fluxo Tecnológico em Melhoramento Genético, se inclua a atividade de evolução gênica e a biologia sintética como procedimentos de rotina, algo impossível até o final da década de 90.

Esta Monografia busca recuperar o conceito de "pontos de inflexão registrados na história", conforme expresso por Machado e Salles – Filho (1996), desenvolvendo a idéia de que existem espaços de inflexão na evolução sócio-econômica, os quais facilitam ou mesmo induzem a adoção de novas tecnologias. O conceito de OGMs (Organismos Geneticamente Modificados) terá nesta análise uma definição expandida, incluindo aqueles produtos gênicos oriundos de recombinação *in vitro* bem como genes produzidos sinteticamente.

Esses espaços de inflexão co-evolutiva são aqui tratados em sentido amplo, para incluir, além do ambiente biótico e abiótico contextual onde se pratica o melhoramento genético de uma determinada espécie, também os fenômenos culturais e de economia de mercado quanto à influência que exercem na escolha de objetivos em programas de melhoramento genético, bem como na maior ou menor estringência das barreiras de entrada dos produtos no mercado consumidor. Daí a indicação observada no Título da Monografia, onde a conhecida interação $G \times E$ (Genótipo $\times$ Ambiente) terá tratamento expandido, sendo então indicada por E^* .

Essa expansão, se não inovadora, uma vez que os melhoristas sempre utilizaram um critério no mínimo subjetivo de um Índice de Seleção mais ou menos amplo, tem, entretanto, o mérito de estimular os melhoristas a melhor compreender a dinâmica do contexto da seleção por eles praticada, em tempos onde o ciclo de vida do produto no mercado consumidor, fenômeno antropológico global, pode rapidamente induzir a obsolescência de práticas e métodos de melhoramento. Práticas e métodos que, atualizados quanto à existência de novas tecnologias, continuarão a ser fundamentais na seleção de microorganismos, plantas e animais.

Watson e Caldwell (2005), bem como Fabris (2003), demonstram a exaustão as mudanças contemporâneas na "persona" dos consumidores, a ponto de assumirem a grande influência da atual "política do indivíduo" e da maior influência do estilo sobre o "status" nas estratégias de produção de alimento. Essa cadeia reversa de influências certamente impacta o melhoramento genético, o que gera um ciclo saudável de demanda – estímulo – adoção de novos procedimentos de seleção de genes e seus produtos. Esses novos procedimentos, mais do que necessariamente baseados na tecnologia dos transgênicos, utilizam um grupo novo de técnicas que são provenientes mais da Informática que da Biologia. Portanto, examinar o potencial de impacto dessas tecnologias no melhoramento genético, é fundamental para o país que inicia um esforço de se alçar ao grupo dos mais competitivos em Biotecnologia. Isso representa a necessidade de obter capacitação e domínio real em áreas complexas da Tecnologia da Informação e da Genômica.

De todo modo, há que se implementar e adequar essas tecnologias em programas de melhoramento. Esses programas, e aqueles que os executam, são direcionados de forma absoluta para o procedimento de Seleção. Portanto, melhoristas devem receber a informação sobre o potencial de novas técnicas,

dentro de uma visão de utilidade para a prática aprimorada da Seleção de organismos superiores.

Nesta Monografia, o Organismo Modificado Geneticamente (OGM) particularmente definido como "transgênico", é tratado como apenas um dos componentes de um conjunto de tecnologias genômicas de caráter disruptivo, e provavelmente não a mais importante. Assim, o advento dos transgênicos promove necessidade de adequação não tão intensiva nos procedimentos de melhoramento genético, e mais nas relações de adoção dessa tecnologia, bem como nas relações de mercado. Na verdade, a transformação de plantas por genes heterólogos ("*gene bashing*"), conforme demonstra Morton (2005), apresentará, em médio prazo, impacto geral bastante menor do que as técnicas de otimização gênica e de biologia sintética.

2 Revisitando alguns princípios dos métodos de melhoramento genético

Lamkey (2004) reitera que a Seleção é uma das ferramentas mais poderosas disponíveis em Biologia. A Seleção é usada nas ciências da vida para testar muitas das hipóteses construídas quanto aos modelos de Genética Quantitativa, e também para testar os limites da Seleção. Assim, desenvolveu-se uma área de estudos sobre os aspectos empíricos e teóricos da Seleção, onde alguns estudos se destacam, tais como os efeitos da ação gênica. Na prática do melhoramento, o poder da Seleção é bem demonstrado quanto a resultados observados na resposta à seleção de indivíduos superiores. Casos clássicos são o aumento da produção de milho por área nos EUA, em torno de 5 vezes em um período de 70 anos (passando de 1,6 toneladas por hectare na década de 1930, a 8,6 toneladas por hectare no período de 1998 a 2002). Da mesma forma, a produção de leite por animal em lactação no gado holandês, dobrou em um período de 44 anos. Certamente todo esse incremento é devido também a práticas modernas de nutrição e sanidade, o que não diminui o impacto do melhoramento genético do potencial de resposta em produção àqueles insumos modernos.

Conforme demonstram Dudley et al. (2004), o melhoramento genético eficiente de uma determinada espécie, depende da continuidade dos programas de melhoramento, que propicia ganhos significativos ao longo dos ciclos de melhoramento. Portanto, qualquer nova técnica proposta como útil ao melhoramento genético, deve demonstrar à exaustão a capacidade de manter ou incrementar esses ganhos, ao mesmo tempo em que possibilita a redução do número de ciclos de melhoramento. Essa assertiva permite a adoção de um termo que mais e mais se coloca em posição estratégica de ligação entre os campos do Melhoramento Genético e da Tecnologia da Informação, qual seja, a Otimização de Processos.

Um dos programas de melhoramento de longo prazo tornado paradigma é o da seleção para aumento dos teores de óleo em proteína em milho, conduzido pela Universidade de Illinois desde 1896. O objetivo inicial desse programa era o de determinar se a Seleção era efetiva em alterar a composição química da semente de milho. Com a exceção de quatro anos de interrupção durante a Segunda Guerra Mundial, esse programa continua a ser conduzido. Os resultados de mais de cem anos de seleção demonstram a plasticidade genética da espécie, bem como a eficiência da Seleção, tendo paralelamente elucidado várias questões sobre o metabolismo vegetal.

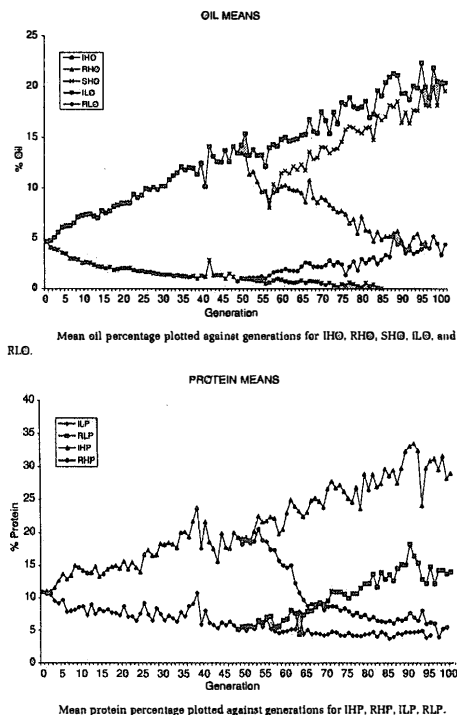


Figura 1. Resultados de seleção de longo prazo para aumento e diminuição de teores de óleo e proteína em milho (Dudley et al., 2004)

Dudley et al. (2004) (Figura 1) discutem os limites da seleção, com base nesse longo período de atividade do programa, demonstrando que ainda não se atingiu um limite superior para os teores de óleo nas sementes de milho, indicando de fato que a variabilidade genética e a plasticidade do genoma do milho são superiores àquilo que se esperava. Os fenômenos observados quando da Seleção Reversa, também abrem novas possibilidades quanto a compreensão do controle da ação gênica em plantas.

Esse programa de longo prazo conduzido pela Universidade de Illinois permite inquirir sobre as respostas à seleção pela introdução de práticas de Otimização Combinatória, fundamento da tecnologia de evolução "*in vitro*", que nesta Monografia é considerada como um dos mais importantes espaços de inflexão de descoberta recente, e onde as interações $G \times E^*$ poderão ser exploradas de forma muito eficiente na obtenção de produtos do melhoramento genético. Pela primeira vez, portanto, uma tecnologia derivada da interação estreita entre a Genética Molecular e a Tecnologia da Informação, permite a proposição de um estudo comparado de alto valor, qual seja o da continuidade de um programa de seleção genética centenário, em cooperação com um programa de otimização gênica de alta velocidade, ambos testando as mesmas hipóteses.

3 Alguns espaços de inflexão co-evolutiva em genética

Fundamentando, portanto, esta Monografia nos princípios universais da Seleção, da Ação Gênica, e da Otimização Combinatória, é possível então examinar uma série de novos procedimentos que estão impactando o Melhoramento Genético. Esses impactos representam espaços de inflexão que potencialmente modificam a curva de ganho por ciclo de seleção nos programas de melhoramento e que permitem a internalização de novos parâmetros ("*traits*") nos Índices de Seleção. Essas novas tecnologias não são simplesmente proposições teóricas, mas sim representam inovações simultâneas, contemporâneas e inevitáveis da sociedade de consumo moderna. Portanto, é possível construir um "espaço ambiental" muito mais complexo do que aquele no qual as práticas tradicionais de melhoramento genético se desenvolveram, por ser mais complexa a sociedade contemporânea.

Crítérios e demandas para programas de melhoramento genético sempre existiram, fossem aqueles da transição do hábito de caça-coleta para o da agricultura sedentária, fossem aqueles que internalizaram as demandas da agricultura mecanizada, sejam os atuais, que internalizam as demandas de um consumo urbanizado, as quais chegam aos melhoristas intermediadas pelas grandes cadeias de supermercados, pela indústria de alimentos e pelas "*traders*" de cereais. O que permite a proposição de um Ambiente Expandido (E*), é, portanto, essa complexificação do sistema de produção e consumo de alimentos, promovida pela urbanização e pela tecnologia de informação. Esses espaços podem perfeitamente ser definidos como "espaços co-evolutivos", à semelhança da proposição de Johns (1996), que descreve os mecanismos de co-evolução química da espécie humana com plantas, bem como os mecanismos biológicos e culturais que atuaram como moderadores da construção da dieta alimentar e de saúde dos humanos.

Mais e mais se transfere responsabilidades antes alocadas ao lado esquerdo do cérebro, para os computadores e para os países subdesenvolvidos ("*Left-brain jobs are going to PCs and overseas. It's time to turn to the right*"), comenta Pink (2005). Eventualmente, nenhuma outra proposição represente tão bem a demanda por uma reconversão dos programas de melhoramento genético, para que mantenham a eficiência requerida da Seleção pela sociedade moderna, ao assimilar essas novas tecnologias consideradas: (i) as características do estágio atual do Brasil em Ciência e Tecnologia; (ii) o perfil da sociedade de consumo contemporânea com os característicos extremos de índices de desenvolvimento humano; e (iii) os impactos do trânsito global de bens de consumo, e das tecnologias de automação de processos, bem como o meio ambiente biótico e abiótico, esse complexo caracteriza bem o Ambiente Expandido que deve ser assimilado pelos geneticistas e melhoristas quando do planejamento de seus programas de melhoramento.

Esta Monografia procura estabelecer uma dinâmica evolutiva do desenvolvimento dessas "tecnologias da informação" (é o que são, sejam oriundas da Informática ou da Genética), demonstrando que representam "espaços de inflexão" que geram a necessidade de eficiente readequação nas práticas no melhoramento genético.

3.1 Seleção recorrente e marcadores moleculares

A aplicação de marcadores moleculares em programas de melhoramento genético representa uma espaço de inflexão co-evolutivo de alto impacto na história recente dessa atividade humana. Hallauer & Miranda Filho (1981), comentam que plantas cultivadas foram desenvolvidas a partir de seus ancestrais, como resultado de mutação natural e seleção artificial, e de adaptação ao meio ambiente. Assim, o melhoramento genético é a arte e a ciência da obtenção de ganhos em produtividade para atender as demandas de consumo; processos evolutivos estão envolvidos, mas são direcionados para acelerar a obtenção das características desejadas. O melhoramento genético é uma disciplina ampla, que requer competência em Genética, Botânica, Estatística, Patologia, Entomologia, além da compreensão dos efeitos ambientais abióticos sobre o desenvolvimento dos organismos.

Como a escolha do germoplasma para utilização em programas de melhoramento genético é fundamental para o sucesso do mesmo, muitas coleções e critérios para organizá-las tem sido desenvolvidos, uma vez que a disponibilidade de alelos favoráveis para as características em seleção, é muito importante. De qualquer forma, métodos de melhoramento devem ser aplicados para incrementar a frequência de alelos favoráveis, os quais, no decorrer dos ciclos de seleção aumentam a probabilidade de obtenção de progênies que atendam aos critérios de seleção desejados.

Entre esses métodos, o da Seleção Recorrente tem sido simultaneamente apreciado como um dos mais elegantes e eficientes meios de utilização da recombinação genética, bem como negligenciado mais recentemente em algumas espécies de muita importância como o milho, por exemplo. A necessidade de maior velocidade e uniformidade, característica dos programas de milho híbrido, não prescindem da necessidade de alocar recursos nos programas de melhoramento genético, à Seleção Recorrente, principalmente frente ao cenário contemporâneo de controle de acesso a recursos genéticos e de controle da propriedade intelectual. De onde virá a variabilidade genética em milho, a longo prazo, é uma questão que parece ser melhor atendida pelos métodos de Seleção Recorrente, uma vez que é sempre válida a assertiva de que a recombinação genética é a provedora de tipos novos à disposição do melhorista.

Uma das críticas apresentadas quanto ao uso de Seleção Recorrente em algumas espécies, é a do tempo requerido para o avanço de ciclos de seleção, em função dos ganhos obtidos. Se utilizados de maneira racional e eficiente, os Marcadores Moleculares de fato representam um meio de explorar a Seleção Recorrente em todo o seu potencial, aumentando-se o ganho de seleção por ciclo, enquanto se aumenta a eficiência no processo como um todo.

Mumm (2004) relata o trabalho realizado por John Dudley na Universidade de Illinois, em cooperação com Garst Seeds e Illinois Foundation Seeds, na aplicação de marcadores moleculares em Seleção Recorrente, especificamente para a compreensão do controle genético de características quantitativas e para o aumento da eficiência do programa de melhoramento. Vários relatos sobre a maior eficiência na seleção de progênies superiores quando se utiliza testes de progênies em cruzamento com testadores comerciais nos EUA, bem como sobre a eficiência da metodologia em proteger as populações sintéticas (*"smart pools"*) contra a seleção de alelos desfavoráveis, são encontrados na literatura, entre muitas a Dissertação de

Mestrado de Rumin (2001). Tudo considerado, as experiências demonstram que o pouco uso de marcadores moleculares em Seleção Recorrente decorre de dois aspectos: o desconhecimento da extrema aplicabilidade da técnica para os casos de Seleção Recorrente por parte dos pesquisadores em Biologia Molecular, e o desconhecimento e pouca disposição dos melhoristas em internalizar em seus programas de melhoramento (os quais, em função das pressões imediatistas melhor atendidas pelo trabalho com famílias F2, nem sempre possuem a liberdade necessária para investir tempo e conhecimento em Seleção Recorrente, o que muito provavelmente representará um custo futuro) a utilização de marcadores moleculares. Acrescente-se a isso que a utilização dessa tecnologia em melhoramento de populações, demanda um trabalho intensivo de mapeamento e teste de progênies, e portanto muito laboratórios de Biologia Molecular optam por aplicações mais expeditas, tais como a aplicação em conversão de linhagens e introgressão de características de controle mendeliano não quantitativo.

Entretanto, alguns alvos do melhoramento genético são absolutamente adequados para a aplicação de marcadores moleculares, tais como a necessidade de ampliar as pesquisas em introgressão de germoplasma tropical em germoplasma de clima temperado e vice-versa, a erradicação de sensibilidade ao fotoperíodo, e a bioquímica da produção, mormente para áreas marginais sujeitas a estresses bióticos e abióticos.

Lee (1998) comenta que populações de plantas melhoradas tem sustentado as demandas dos sistemas agrícolas por milhares de anos. Entretanto, existe ainda muito por se conhecer quanto ao seu conteúdo, distribuição, arquitetura genética e interconexões. Assim, há necessidade de modificação nos métodos tradicionais de melhoramento genético, para que possam se valer de novas tecnologias facilitadoras dos programas de conversão e de introgressão. Plantas são sistemas biológicos complexos, e as tecnologias genômicas facilitam a compreensão das partes, e a interconexão entre as mesmas.

Macmullen et al. (1998), menciona que a interpretação dos estudos com *loci* de controle quantitativo é freqüentemente limitada pela falta de informação sobre as vias metabólicas relacionadas com as características de interesse econômico, e a inferência sobre as funções gênicas no metabolismo ou sobre a natureza das interações entre genes, geralmente não é possível. Quando isso ocorre, relatam os autores, um grande acréscimo de informação pode ser de imediato utilizado em programas de melhoramento, citando como exemplo a detecção de um *locus* no cromossomo 9S de milho, que interfere na produção de flavonas. Essa descoberta permitiu uma melhor compreensão da síntese de *maysina* e sua associação com resistência a insetos.

3.2 Análise massiva de genes em "tempo real"

O espaço seguinte de inflexão co-evolutiva pode ser representado pelo advento da análise massiva de genes em "tempo real". Mais uma vez fruto da automação de processos em Biologia Molecular, essa metodologia vem promovendo uma intensa modificação nas técnicas de análise genômica, e será mais e mais adotada como coadjuvante em programas de melhoramento.

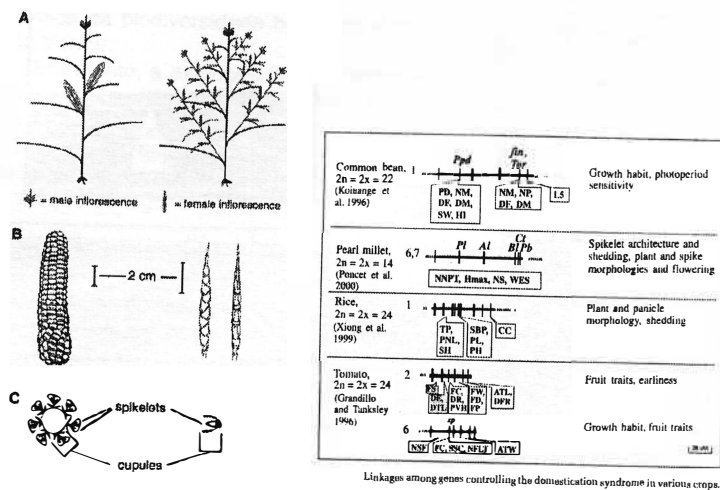
Goodman (2003) em abrangente revisão sobre os requerimentos do melhoramento genético para a Biologia Molecular aplicada, comenta que é improvável que o melhoramento de plantas seja radicalmente alterado pela engenharia genética, a despeito do progresso observado na Genômica,

mencionando que conclusões em sentido contrário não levam em conta os problemas da seleção e teste de germoplasma, interações genótipo x ambiente e mesmo a epistasia. O mesmo autor cita um seu trabalho anterior, publicado em 2000, onde apresenta a afirmativa de que não é verdade que uma nova cultivar transgênica possa ser rotineiramente criada, testada e liberada comercialmente nessa década.

Mais do que expor a abordagem conservadora e cautelosa desse autor, esta Monografia tem o propósito de clarificar que a ênfase em uma injustificável "competição" por metodologias e seus praticantes deriva mais de um componente cultural estabelecido, do que da verdade dos fatos como observados. Assim, nunca se compreendeu tanto sobre a interação genótipo x ambiente e mesmo sobre a epistasia, como nos últimos cinco anos, isso fruto do advento de uma tecnologia derivada de micromanipulação e robótica, quais sejam os "*gene chips*". Conforme bem demonstra a pesquisa biomédica, a maior ou menor taxa de internalização da tecnologia em rotinas práticas advém muito mais do seu "valor de mercado" do que das dificuldades técnicas existentes para essa adoção. E certamente o nível de investimento financeiro requerido por essas novas tecnologias, impõe que sejam desenvolvidas com maior velocidade pelo setor produtivo privado, ou então por esforços nacionais de investimento em Ciência e Tecnologia. Entretanto, isso não é um demérito que deva ser adotado como restrição à sua utilização, apenas para o caso do melhoramento genético. Trata-se de uma restrição comum a diversas áreas do desenvolvimento tecnológico.

Assim, a melhor abordagem é aquela apresentada por Cooper et al. (2003), que admite a inevitabilidade do advento dessas novas tecnologias e a sua significativa utilidade para os programas de melhoramento, colocando então ênfase na organização dos esforços em Genômica, no foco em um "melhoramento molecular" e no planejamento de uma estratégia de melhoramento que integre Genética e Genômica, uma vez que esta provê uma visão sobre fenômenos anteriormente inacessíveis. Os autores sugerem um roteiro de internalização dessas tecnologias que envolve o conhecimento da arquitetura genética de características de interesse econômico, a análise em escala massiva do perfil alélico de indivíduos em regiões – chave do genoma, em situações diversas de exposição ao meio ambiente, e finalmente o desenho da mais eficiente estratégia de melhoramento que promova mudanças fenotípicas diretas em características simples e complexas. Essa estratégia já admite a utilização de computação de alta performance e de simulação, na complementação necessária entre investigações teóricas e experimentais.

Em combinação com os métodos conhecidos de melhoramento genético, a análise massiva da ação gênica já apresenta utilidade prática em estudos sobre fenômenos tão importantes para a evolução e domesticação de plantas cultivadas, tais como a "síndrome de domesticação", conforme demonstram Lauter et al. (2002), Gepts et al. (2002, 2004) (Figura 2) e Wang et al. (1999) (Figura 3), bem como na Genômica Comparada, que permite associar regiões genômicas e funções em espécies e gêneros relacionados (Ferreira, 2004, informação pessoal) (Figura 4), além da utilização em melhoramento genético de espécies "órfãs", conforme indicam Nelson et al. (2003).



Linkages among genes controlling the domestication syndrome in various crops.

Figura 2 : Conservação de genes ligados à síndrome de domesticação é área de estudos promissora em melhoramento genético. (Wang et al 1999; Gepts 2004).

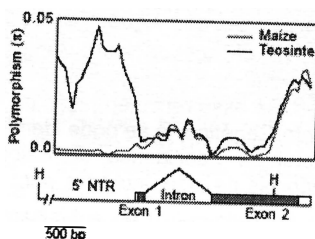


Figura 3. A Genômica permite obter inferências sobre o grau e a natureza da interferência da Seleção na estrutura e função dos genes. (Wang et al. 1999)

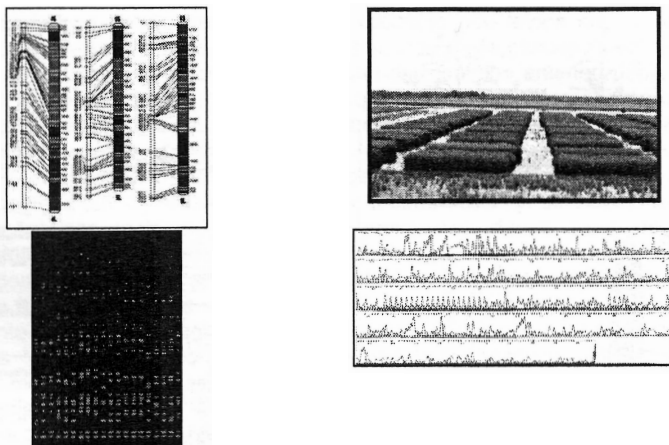


Figura 4. ORYGENS: Inovações genômicas para o descobrimento de genes e melhoramento genético de gramineas. (Ferreira, 2004. Informação pessoal).

3.3 EVOLUÇÃO *IN VITRO*

Evolução *in vitro* e Biologia Sintética representam a expressão contemporânea mais fiel do impacto da Tecnologia da Informação nas Ciências da Vida. Já não representa uma recomendação insensata indicar àqueles interessados em Biologia Molecular, que se apliquem também ou primeiramente ao conhecimento de Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica e Ciências da Computação. Se essa recomendação não impacta de imediato a formação em Melhoramento Genético, já se pode identificar impactos indiretos, bastando observar o perfil de habilidades profissionais demandadas dos recursos humanos em ciências da vida, inclusive para atividades de pesquisa em agropecuária.

No Brasil, recentemente, tem havido alguma dificuldade de identificação das diferenças entre evolução *in vitro* e metagenômica, e isso tem se refletido em alguma indefinição por parte das agências financiadoras de Ciência e Tecnologia. A metagenômica, conforme descreve Shreeve (2004), em sua intenção de redefinir a origem das espécies, está baseada principalmente na assertiva de que a base da cadeia alimentar no planeta, representa um vasto mundo ainda por descobrir, descrito por Craig Venter como sendo a "matéria escura da vida". Melhor definição talvez não se encontre tão logo. Essa abordagem hipermassiva para o conhecimento global dos recursos genéticos está baseada na estratégia metodológica anteriormente utilizada por Venter em sua participação no Projeto Genoma Humano. Se essa metodologia representa um desafio quase insuperável para entidades de pesquisa de países como o Brasil, é necessário, no entanto, dela se inteirar de modo a melhor definir as estratégias de uso dos recursos financeiros disponíveis para o conhecimento da biodiversidade brasileira. Nunca a intenção justificada de "conhecer a biodiversidade brasileira" foi tão ameaçada como agora pelas metodologias desenvolvidas por grupos como os citados anteriormente. Pode-se afirmar que a velocidade relativa dos projetos de conhecimento da estrutura genética e

genômica da biodiversidade brasileira é zero, se comparada a projetos como os de Venter.

Entretanto, a evolução *in vitro* refere-se à otimização gênica por meio de recombinação genômica, utilizando técnicas de Biologia Molecular e de Informática, daí o requerimento de recursos humanos de Engenharia de Software para que se consiga eficiência em uma área tão competitiva e adequada à inserção em direitos de propriedade intelectual, qual seja a construção de algoritmos de recombinação genômica.

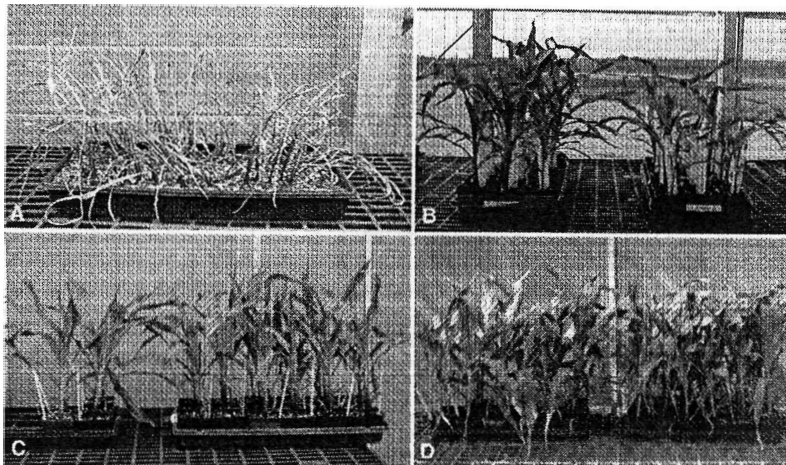


Figura 5. Eficiência da metodologia de evolução *in vitro* na otimização de função gênica. (Castle et al., 2004): (A) demonstra os efeitos da aplicação da dose normal de glifosato em plantas não transformadas. (B), (C) e (D) demonstram, à esquerda, plantas não pulverizadas com glifosato. Em (B), à direita, estão plantas resultantes de 5 iterações de recombinação de genes, tratadas com 4 x a dose normal do herbicida, demonstrando efeitos tóxicos. Em (C) estão plantas resultantes de 7 iterações de recombinação de genes, submetidas a 4 x a dose normal do herbicida. Em (D) estão plantas resultantes de 10 e 11 iterações de recombinação de genes, submetidas a 6 x a dose normal do herbicida glifosato.

Existem já na literatura muito exemplos da extrema eficiência e capacidade disruptiva dessa nova tecnologia, que certamente representa um salto à frente em termos de mais um espaço de inflexão co-evolutiva, onde mais uma vez se abrem muitas possibilidades de exploração econômica da interação $G \times E^*$. Dentre esses exemplos, um dos mais significativos é aquele publicado por Castle et al. (2004) (Figura 5). Os autores informam que o herbicida glifosato é detoxificado de forma eficiente por N-acetilação. Realizou-se então uma análise detalhada de uma coleção de isolados microbianos e detectou-se enzimas N-acetiltransferase - ativas. As propriedades cinéticas dessas enzimas eram entretanto insuficientes para conferir tolerância ao glifosato em organismos transgênicos. Depois de onze iterações de recombinação programada das seqüências gênicas, obteve-se um muito

significativo aumento de eficiência da enzima melhorada, ou seja, de 0.87 mM.minuto⁻¹ para 8320 mM.minuto⁻¹). Já a partir da quinta iteração a enzima passou a conferir tolerância ao glifosato em *Escherichia coli*, *Arabidopsis*, fumo e milho.

3.4 A Genética Genômica contribui para a agricultura sustentável ?

O início da década dos anos 80 observou a preocupação com o desenvolvimento sustentável, e portanto, com a sustentabilidade da agricultura. Dentre os diversos e interessantes sistemas de agricultura conservacionista propostos, o Plantio Direto na Palha transformou o Brasil em liderança mundial em inovação nesse sistema. Sua importância no Sul do país, nos anos 80, ainda não fazia prever sua importância fundamental na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola na região Centro – Oeste do país.

Aquilo que parecia ser uma prática agrônômica conveniente e adaptada apenas ao clima sub-tropical, hoje se expande nas áreas do Cerrado brasileiro. Diversas técnicas fitotécnicas estão registradas como sendo apropriadas para a implementação desse sistema de Plantio Direto. Da mesma forma, a velocidade com que hoje se podem detectar genes em sistemas de análise massiva, em resposta a estresses bióticos e abióticos, acompanhada da tecnologia da evolução *in vitro*, possibilitarão o desenho e a otimização de características específicas para a utilização de plantas em sistemas conservacionistas.

Muito se fala de Ecologia, mas pouco ainda se domina da Genética Ecológica. Quais são os genes que conferem estabilidade ecológica, deve ser a questão perseguida pelos cientistas da área. Uma vez compreendidos esses genes, tais como aqueles que permitem regular os sistemas de sensibilidade a fotoperíodo, estarão de fato abertas as portas para uma agricultura ambientalmente sustentável.

3.5 Biologia de sistemas e biologia sintética: redesenhando a genética e o melhoramento

Um fenômeno muito interessante permite admitir que a visão macro praticada pelo melhorista, em função das complexidades fenotípicas que são o seu material de seleção, e que até há pouco necessitavam de um tratamento reducionista quando da exigência de uma compreensão mais detalhada de uma função gênica, por exemplo, pode estar encontrando seu equivalente na área de Biologia de Sistemas. A visão integrativa dessa área do conhecimento em Genômica e Bioquímica permitirá obter modelos funcionais bastante aproximados sobre as vias metabólicas de interesse para o melhorista, bem como sobre como explorá-las eficientemente em seus procedimentos de seleção. O melhorista poderá contar com informação "real time" sobre diversas funções gênicas relacionadas, e com uma compreensão aprimorada das ações gênicas envolvidas. O conceito de Biologia de Sistemas possui adequada representação nos diagramas da base de dados KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) (Figura 6).

um gene pré-existente de um organismo a outro, uma atividade que alguns pesquisadores intitulam de "*gene bashing*" (algo como um assalto gênico). Mesmo com todos os resultados impressionantes e lucrativos, essa técnica não pode de fato ser descrita como muito criativa. A engenharia propriamente dita demanda que se projete aquilo que se quer construir, como também a análise desse projeto, e finalmente a construção a partir do desenho básico. É exatamente isso que a Biologia Sintética está fazendo: especificando cada *bit* de uma sequência de DNA, determinando sua forma e função, da mesma forma que se faz com um microprocessador. A ambição é grande: "reimplementar a vida de maneiras à nossa escolha".

Os objetivos iniciais dessa área do conhecimento são as bactérias produtoras de moléculas, a obtenção de vírus capazes de sintetizar fibras sintéticas, os organismos sequestradores de carbono e transferidores do mesmo para materiais de construção, ou mesmo a inserção de novos cromossomos em genomas.

Um dos primeiros estudos realizados nessa área foi o desenvolvimento de um programa computacional do vírus T7, que infecta *Escherichia coli*. Basicamente o modelo inicial descrevia o que acontece quando um T7 infecta sua presa, quais genes são ativados e quais são desativados. Entretanto, o real desafio desse programa computacional foi o de prever circunstâncias nunca encontradas antes. Assim, os pesquisadores rearranjaram o DNA do vírus T7 de modo a obter mutantes nos quais as proteínas eram sintetizadas em ordem diferente. Entretanto, os resultados observados eram diferentes daqueles previstos pelo programa computacional. Foi a partir dessa constatação que esses pesquisadores do MIT decidiram investir esforços no desenho de genes sintéticos.

Uma interessante análise econômica da viabilidade de um projeto como esse foi realizada pela instituição. Essa análise constatou que os sequenciadores de DNA estão dobrando sua eficiência a cada dezoito meses. A síntese de DNA avança ainda mais rapidamente. Adotando essa assim chamada "curva de Carlson", por volta de 2010 um único técnico de laboratório seria capaz de sequenciar mais de um genoma humano por dia a partir do mero início. Assim, os limites físicos e operacionais para a síntese de genes novos não mais existem. Da mesma forma, o custo da síntese de DNA vem diminuindo progressivamente. Por volta do ano 2000, o custo de sequenciamento era de US\$12.00 por par de bases. Hoje está em torno de US\$2.00. Alguns laboratórios estimam que esse custo seja reduzido a US\$ 0,01 por par de base em dois anos. Isso representaria um gene novo por US\$ 10, e um genoma bacteriano pelo preço de um automóvel, nos EUA. Portanto, os limites operacionais para que a Biologia Sintética seja viabilizada e tenha seus produtos disponíveis aos geneticistas e melhoristas, estão sendo rapidamente removidos.

Finalmente, talvez o mais impressionante dos espaços de inflexão co-evolutiva, seja o confundimento completo da Genética com a Ciência da Informação. Morton (2005) demonstra que se é possível a linguagens como XML ou C++ a construção de programas computacionais, então o código genético poderá também ser expandido a partir da criação de novas funções e comandos. Os especialistas em Biologia Sintética pretendem prover ao DNA um vocabulário mais expandido do que aquele oferecido pela natureza. Isso é exatamente o que vem fazendo o Scripps Research Institute em La Jolla,

Califórnia. Modificou-se uma linhagem bacteriana para que seja capaz de ler um codon que normalmente significa o fim de síntese protéica, para um comando de execução que agora signifique "incorpore um aminoácido *non sense*". O mais significativo é que essa "experimentação" faz todo o sentido para os químicos, mas a natureza não havia experimentado com isso. Uma das aplicações que vem sendo estudadas é a de prover proteínas com anzóis químicos que facilitem a ligação com certos polissacarídeos, o que seria especialmente útil para a utilização de proteínas como drogas farmacêuticas.

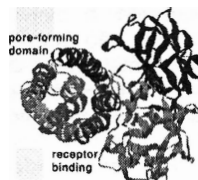
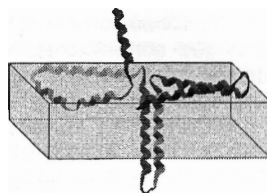
Manipulando a síntese de isômeros, é possível também construir organismos que não façam uso de recursos naturais, diminuindo assim seu impacto ambiental. E a cosmética já oferece comercialmente moléculas passíveis de um transporte profundo nas camadas epidérmicas, em função de sua associação com nanopartículas.

4 Conclusão e recomendações

O campo de atuação dos primórdios do melhoramento genético, foi simultâneo com o consumo humano e com cultivo de microorganismos, plantas e criação de animais. O melhoramento genético sempre foi um campo fértil para a utilização de inovações tecnológicas. Sempre foi assim, e sempre será. Entretanto, o Melhoramento Genético é portador de uma história que se confunde com a estruturação das sociedades humanas, e por isso mantém algumas dessas características atávicas, muito próximas daquilo que se poderia considerar como a prática da arte, da transmissão oral da cultura, e dos ritos religiosos. Harlan (1992) demonstra como essas origens se superpõem.

Entretanto, o maior dos espaços de inflexão co-evolutivos pregressos, registrados pela História, foi a redescoberta das leis de Mendel. É preciso recordar aos melhoristas o quanto de inovação se requereu no teste dessas regras probabilísticas, e na aceitação e incorporação em programas de melhoramento daquilo que hoje a Física da Informação define como sendo "fenômenos de evolução probabilística e estabilidade estatística", conforme demonstrado por Strevens (2003). O que se observa hoje é simplesmente (embora muito significativa) a continuidade do surgimento desses espaços de inflexão, indicadores de uma dinâmica inventiva saudável.

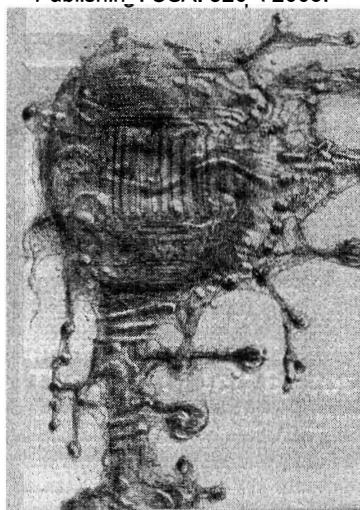
Cabe aos gestores e incentivadores de Ciência e Tecnologia cuidar para que esses "gaps" entre a inovação e a adoção da inovação não se transformem em impedimentos para o desenvolvimento de grupos de excelência no país, em função de entender como cenário permanente, aquilo que é apenas uma fotografia instantânea. É preciso recordar que instituições de excelência como a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e o Instituto Agrônomo de Campinas, em sua origem, foram verdadeiramente combinações férteis de tecnologia de ponta com aplicação em problemas práticos locais, de cuja solução dependia o progresso da agropecuária no Brasil. Há que se recuperar a esse conceito o mais rapidamente possível, incentivando programas de pesquisa realmente competitivos no cenário contemporâneo da automação e otimização de processos. Certamente o MIT é um modelo a ser seguido.



5 Referências bibliográficas

- Castle, L. A et al. Discovery and Directed Evolution of GlyphosateTolerance Gene. *Science*, v.304. 21 May 2004. p.1151. 2004.
- Cooper, M. et al. Genomics, Genetics and Plant Breeding: A Private Sector Perspective. *Genomics and Plant Breeding Symposium. Crop Science*. p.1907. 2003.
- Dudley, J.; R.J. Lambert. 100 Generations of Selection for Oil and Protein in Corn. *Plant Breeding Reviews*, v.24, Part 1. John Wiley & Sons, Inc. USA. 361p. 2004.
- Fabris, G. *Il Nuovo Consumatore: verso il postmoderno*. Franco Angeli. Milano. 464p. 2003.
- Ferreira, M. E. *Orygens: um Projeto interativo entre Genética, Genômica e Melhoramento (Informação pessoal)*. 2004.
- Gepts, P. et al. Evolution during domestication. *Encyclopedia of Life Sciences*. Macmillan Publishers. USA. p.1. 2002.
- Gepts, P. Crop Domestication as a Long-term Selection Experiment. *Plant Breeding Reviews*, v.24, Part 2. John Wiley & Sons, Inc. USA. 290p. 2004.
- Goodman, M. Plant Breeding requirements for Applied Molecular Biology. *Genomics and Plant Breeding Symposium. Crop Science*. p.1913. 2003.
- Hallauer, A.; J.B. Miranda Filho. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State U. Press. USA. 468p. 1981.
- Harlan, J. *Crops & Man*. American Soc. of Agronomy. USA. 284p. 1992.
- Johns, T. *The Origins of Human Diet & Medicine*. The U. of Arizona Press. USA. 356p. 1996.
- KEGG. *Kyototo Encyclopedia of Genes and Genomes*. 2005.
- Lamkey, K. 2004. Preface. *Plant Breeding Reviews*, Vol. 24, Part 1. John Wiley & Sons, Inc. USA. 361p.
- Lauter, N.; J. Doebley. Genetic Variation for Phenotypically Invariant Traits Detected in Teosinte: Implications for the Evolution of Novel Forms. *Genetics*, v.160, p.333-342. 2002.
- Lee, M. 1998. Genome projects and gene pools: new germplasm for plant breeding? *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. v.95, p.2001. 2004.

- Machado, J. A. e S. Salles-Filho. 1996. Reconverter ou perecer: capacitação em melhoramento de plantas. Anais do XIX Simpósio de gestão da Inovação Tecnológica. 22-25 de outubro de 1996. São Paulo. p.51.
- Macmullen, M. D. et al. Quantitative trait loci and metabolic pathways. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. v.95, p.1996. 2000.
- Morton, O. 2005. Life, reinvented. Wired 13.01. p. 168.
- Mumm, R.H.; John W. Dudley: The Man and His Work. Plant Breeding Reviews, Vol 24, Part 1. John Wiley & Sons, Inc. USA. 361p. 2004
- Nelson, R.J. et al. The Role of Genomics Research in Improvement of "Orphan" Crops. Genomics and Plant Breeding Symposium. Crop Science. p.1901. 2003.
- Pink, D.H. 2005. Revenge of the Right Brain. Wired 13.02. p. 070
- Rumin, G.C.R. Índice para seleção de linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) visando populações sintéticas baseado em marcadores genéticos. Piracicaba, SP. 201p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2001.
- Shreeve, J. Craig Venter's epic voyage to redefine the origin of species. Wired.12.08. p.106. 2004.
- Strevens, M. Bigger than Chaos: understanding complexity through probability. Harvard U. Press. USA. 413p. 2003.
- Wang, R- L. et al. The limits of selection during maize domestication. Nature. Vol. 398, 18 march 1999. p.237. 2004.
- Watson, J. L. et al. The Cultural Politics of Food and Eating. Blackwell Publishing . USA. 320 . 2005.



WIRED 13.01(2005). Interpretação artística da Biologia Sintética

MILHO BT: PRODUÇÃO E MANEJO

Fernando Hercos Valicente¹

1 Introdução

A lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* é uma das mais importantes pragas de milho no Brasil. O dano pode reduzir a produção em até 34%, e o controle é feito principalmente com inseticidas químicos. Em Barreiras-BA são feitas até 15 aplicações por ciclo da cultura. A bactéria *Bacillus thuringiensis* é uma alternativa viável no controle deste inseto. É uma bactéria Gram positiva, forma esporos e, produz cristal protéico durante o processo de esporulação. Ocorre naturalmente no solo, insetos mortos, água e resíduo de grãos. O cristal protéico contém as delta endotoxinas que possuem propriedade inseticida. Este cristal é responsável por 20-30% da proteína total bactéria. É ativo contra várias espécies de insetos, é considerado seguro em relação a mamíferos e, é específico em relação aos insetos alvos. Hoje se estima que existam mais de 60.000 cepas de *Bt* em todo o mundo em coleções governamentais e não governamentais. Este patógeno é relatado não sendo eficiente no controle da *S. frugiperda*. Visando encontrar cepas eficientes contra a lagarta do cartucho, foi realizado pela Embrapa Milho e Sorgo, um levantamento de cepas de *Bt* em diferentes regiões do Brasil. Este levantamento abrangeu regiões produtoras e não produtoras de milho, com diferentes tipos de solos e culturas. Mesmo qualquer outro amostra tais como: resíduos de grãos, insetos mortos, e de amostras de clima árido e semi-árido. O isolamento foi realizado em laboratório através de microscopia de contraste de fase, sendo as que as colônias de bactérias que apresentaram cristais foram reisoladas. Os resultados foram confirmados. Todas as cepas encontradas foram usadas em bioensaios contra a lagarta do cartucho, usando larvas de 2 dias de idade. Foi usada uma suspensão contendo esporos e cristais em dose máxima. As lagartas infectadas foram acondicionadas em recipientes plásticos descartáveis (50mL), a 25°C e 70% de umidade relativa, fotofase de 14h/10h. A avaliação da mortalidade foi realizada até o 8º dia após a infecção.

Os principais resultados foram: 1757 amostras de solo foram coletadas abrangendo 10 diferentes estados Brasileiros, 4 diferentes regiões, gerando um total de 4459 cepas de *Bt* isoladas. Todas as cepas foram testadas contra a lagarta do cartucho, sendo que uma pequena quantidade causa mortalidade acima de 75% (159 cepas, o que corresponde a 3,5%) em lagartas de *S. frugiperda*. Dentre estas cepas, a cepa 1644, que foi encontrada em amostra de solo em Rolândia, PR, possui um cristal quadrado (cúbico em 3 dimensões) e causa alta mortalidade na lagarta do cartucho. Esta cepa possui o gene *cry1C* (2,7 kb) que é relatado como sendo eficiente contra a lagarta do cartucho. Logo após a identificação e isolamento do gene *cry1C*, este foi clonado e sequenciado. Logo após a confirmação das seqüências dos clones, o gene foi clonado num vetor de expressão em plantas, pCAMBIA, contendo o promotor Ubiquitina + terminador NOS (Figura 1). Este cassete gênico foi trabalhado e bombardeado em calos de milho, sendo que os calos

¹ Engenheiro Agrônomo. Pesquisador, M.Sc., Ph.D. em Entomologia. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151. Sete Lagoas, MG. 35.900-470. valicent@cnpmis.embrapa.br.

transformados foram mantidos em laboratório até aproximadamente 30 dias de idade. Após este período, as plantas bombardeadas foram transferidas para casa de vegetação. Estas plantas foram identificadas, aclimatadas na casa de vegetação e, amostras de folhas foram retiradas e fornecidas a lagartas recém nascidas e sadias. As observações de consumo foliar e mortalidade destas larvas foram feitas diariamente. A diferença de consumo entre uma planta transformada com o gene de interesse e outra planta não transformada é drástica (Figura 2). As plantas que mostraram algum efeito sobre a lagarta do cartucho foram autofecundadas.

Para o manejo de milho *Bt*, recomenda-se que 20% da área plantada seja com milho não *Bt*. Isto para que não haja casos de resistência do inseto a planta que expresse a toxina *Bt*.

2 Estágio atual da pesquisa

Linhagens elites que mostraram algum efeito na lagarta do cartucho, como por exemplo: morte, diminuição drástica na alimentação e diminuição do tamanho, foram autofecundadas e, posteriormente estão sendo retrocruzadas. Todo o material está sendo plantado em casa de vegetação, em sistema de contenção.

Todas os calos que foram bombardeados e sobreviveram, estão sendo testadas contra a lagarta do cartucho em laboratório e, as que apresentam resultado positivo, a confirmação da presença do gene *cry1C* nestas plantas é feita através da PCR. Estão sendo realizados testes para detectar o número de cópias do gene que foi inserido dentro das plantas que apresentaram resultado positivo.

Perspectivas futuras é que novas transformações com uma construção diferente estão sendo testadas. Estas construções lineares também apresentam resistência a herbicida.

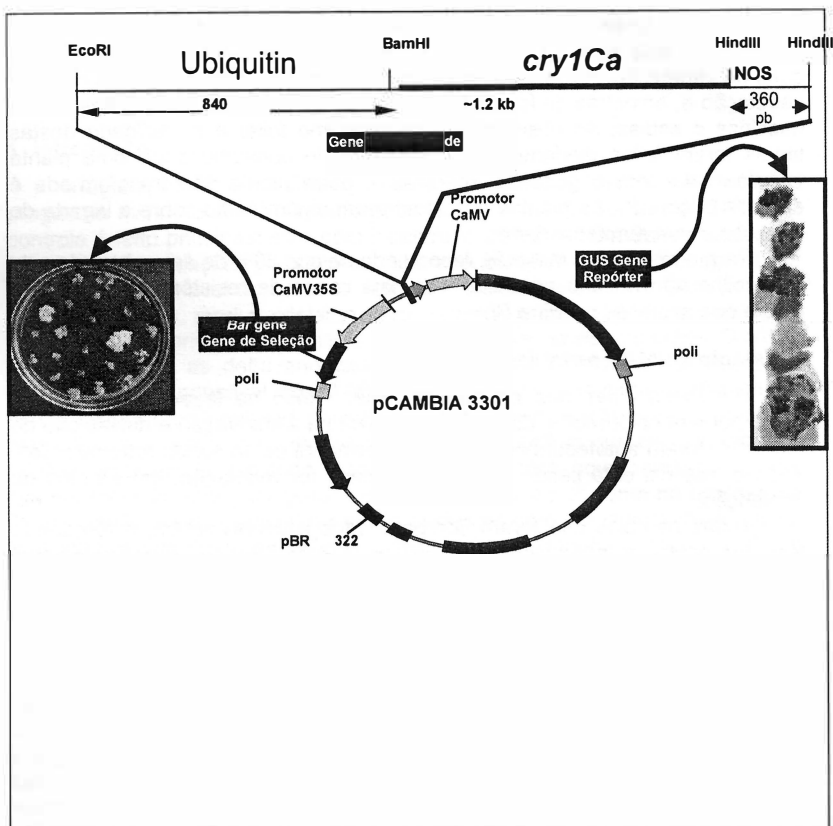
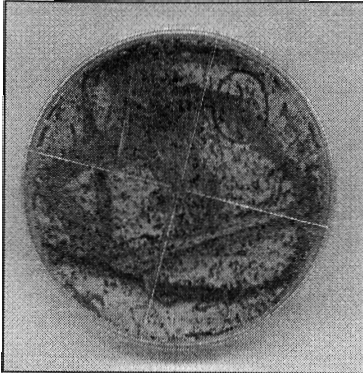


Figura 1. Cassete genico mostrando o vetor pCAMBIA 3301, o promotor ubiquitina, o gene de interesse (*cry1C*) e o terminador NOS. Observa-se também o gene de seleção *Bar* e o gene repórter *GUS*.

MILHO

NORMAL



Bt

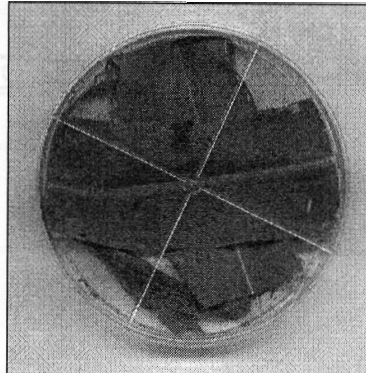


Figura 2. Diferença de consumo entre uma planta normal não transformada e uma planta transformada com o gene de interesse (neste caso, o gene *cry1C* de *Bacillus thuringiensis*).

A close-up photograph of a corn cob still in its husk. The husk is a vibrant green color with prominent vertical veins. The central part of the cob, where the kernels are, is visible through a slit in the husk, appearing as a lighter green, elongated shape. The background is a blurred green, suggesting a field of corn.

Universidade de São Paulo

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Departamento de Produção Vegetal

fone(19) 3429-4115 ou 3429-4190