UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE PLANTAS DE LAVOURA

SOJA
Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos

Dr. Claudio M. Mundstock
Prof. André Luís Thomas

Porto Alegre-RS - 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE PLANTAS DE LAVOURA

SOJA
Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos

Dr. Claudio M. Mundstock
Colaborador Convidado, atuando junto ao Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Bolsista do CNPq.

Prof. André Luís Thomas
Professor Adjunto do Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

M965m Mundstock, Claudio Mário
Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos / Claudio Mário Mundstock; André Luís Thomas — Porto Alegre : Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul : Evangraf, 2005.

31 p.

1. Soja : Grão : Crescimento : Rendimento. I. Thomas, André Luís. II. Título.

CDD: 633.34
CDU: 633

Catalogação na publicação:
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

SUMÁRIO

Apresentação 6

Estrutura e desenvolvimento da planta 8

Sensibilidade ao fotoperíodo e temperatura do ar 14

Sensibilidade ao acamamento 20

Sensibilidade a retenção foliar 22

Sensibilidade a falta de água 24

O rendimento de grãos: o enfoque pelos componentes primários 28

APRESENTAÇÃO

A soja (Glycine max L.) é uma planta da família das leguminosas originária da Ásia (centro de origem na China, entre as latitudes de 30 a 45ºN), domesticada há cerca de 4500-4800 anos e cultivada na região com o objetivo de utilizar o grão na dieta humana.

A difusão ocorreu inicialmente na Europa em 1739 e nos Estados Unidos em 1765. A introdução no Brasil deu-se por volta de 1882 na Bahia, em 1891 em São Paulo e em 1914 no Rio Grande do Sul. A cultura se propagou no Rio Grande do Sul, especialmente no município de Santa Rosa, que foi o pólo de disseminação para a região das Missões. Até meados da década de 1930, esta era a região produtora de soja com a finalidade de utilizar o grão nas propriedades, como fonte de proteína na alimentação de suínos. A partir da década de 1960 surgem as primeiras lavouras comerciais que integraram-se rapidamente no sistema de rotação de verão com milho e em sucessão a trigo/cevada/aveia branca ou após a aveia preta dessecada utilizada como cobertura no inverno. Coincidentemente, a partir daquela década, ocorreu grande demanda por óleo e proteína em todo o mundo e a soja expandiu-se diante da avidez do mercado por alimento energético e protéico. O aumento da área cultivada também foi facilitada pela introdução de cultivares adaptadas às condições de clima do Estado e pela melhoria das condições químicas dos solos do RS.

Os rendimentos de grãos nas primeiras lavouras eram inicialmente baixos, mas foram sendo incrementados graças a: 1) pesquisa que gerou informações técnicas sobre o modo de cultivo; 2) aumento no uso de insumos

e, 3) melhoria na eficiência do maquinário agrícola. A melhoria das condições de solo e de técnicas de cultivo fez com que novas cultivares também fossem desenvolvidas e adaptadas às condições de clima do RS.

A soja tem características peculiares na sua adaptação aos diferentes locais de cultivo, especialmente na reação ao fotoperíodo e temperatura do ar da região, que regulam a época de floração. Este aspecto é muito relevante pois determina quanto tempo a planta se desenvolve no período vegetativo, desenvolvimento este que tem alta relação com a produção de grãos. Quando a floração é rápida (poucos dias após a emergência), a planta não desenvolve ramos e folhas suficientes para gerarem grande número de flores e legumes. Quando a floração é muito retardada, o crescimento vegetativo é excessivo e, embora com grande massa verde, gera igualmente poucos grãos. Este balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo é um dos principais fatores de produção da soja e a alteração do seu equilíbrio interfere na máxima produção de grãos.

O crescimento, desenvolvimento e, conseqüentemente, rendimento de grãos resultam da interação entre a cultivar utilizada e os fatores do meio decorrente da:

1. Sensibilidade ao fotoperíodo e a temperatura do ar, que induzem o florescimento e determinam o momento da floração. A sensibilidade inerente de relacionar ao fotoperíodo e a temperatura do ar o inicio do período reprodutivo é a principal característica para o zoneamento de cultivares. Também, dependendo da cultivar, é expresso o hábito de crescimento (determinado ou indeterminado) que determina se todos os nós da planta passam a gerar flores quando há o estímulo floral.

2. Sensibilidade ao acamamento, que reduz a indução à floração ocasionando um desbalanço, favorecendo o crescimento vegetativo e diminuindo o número de legumes.

3. Sensibilidade a retenção foliar durante o período de formação de legumes/grãos, mantendo a planta em crescimento vegetativo em detrimento do reprodutivo.

4. Sensibilidade ao excesso ou falta de água. O excesso de água, freqüente em anos de precipitação pluvial intensa, se reflete no excessivo crescimento vegetativo. Ao contrário, na falta de chuvas, o crescimento vegetativo é escasso e a planta não forma suficiente nós no caule e ramos, locais estes onde vão ser geradas as flores.

Estes aspectos são abordados nesta publicação visando trazer informações básicas sobre o crescimento e desenvolvimento da planta de soja e como eles são modificados pelos fatores do ambiente em que são cultivados.

* * *

ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

A planta de soja é uma dicotiledônea cuja estrutura é formada pelo conjunto de raízes e da parte aérea. O desenvolvimento pode ser dividido em dois períodos, o vegetativo, desde a semeadura até o florescimento e o reprodutivo, do florescimento à colheita.

PERÍODO VEGETATIVO

Os primórdios das raízes e da parte aérea já se encontram presentes na semente. Durante a germinação

e logo após a emergência da plântula ocorre o desenvolvimento do sistema radicular seminal, o desenrolamento das folhas primárias (seminais) e o desenvolvimento do meristema apical que dará origem a parte aérea. Este conjunto faz com que a plântula passe a absorver nutrientes do solo e a produzir fotoassimilados para seu crescimento e desenvolvimento. Durante a germinação, a semente de soja necessita absorver água no volume correspondente a 50% de seu peso para iniciar o processo de germinação. A emergência ocorre de 7 a 10 dias após a semeadura, dependendo do vigor da semente, profundidade de semeadura, umidade, textura e temperatura do solo. As reservas e nutrientes dos cotilédonos (Figura 1) suprem as necessidades metabólicas da plântula por até 7-10 dias após a emergência.

O crescimento vegetativo da planta se dá com base na emissão de folhas ao longo do caule, que possui ao redor de 16 a 20 nós, cada qual com folhas trifolioladas, sob condições edafoclimáticas adequadas de crescimento. Em cada nó, na inserção do pecíolo de cada folha com o caule, há uma gema axilar meristemática que também ocorre nas inserções dos cotilédonos e folhas primárias com o caule. A gema axilar pode ficar dormente ou originar estruturas vegetativas (ramos) ou reprodutivas (flores ➔ legumes ➔ grãos), dotando a planta de soja de grande plasticidade morfológica.

O número de ramos laterais (as ramificações) é variável de acordo com a cultivar, nutrição mineral, espaçamento entre plantas, disponibilidade de água, temperatura e radiação solar. Geralmente o maior ramo se desenvolve a partir de uma gema localizada na parte inferior do caule. Desse ramo podem surgir outros ramos secundários menores. Cada ramo lateral tem estrutura similar à do caule principal e pode gerar outros ramos e flores, além das folhas.

As gemas axilares nas inserções dos cotilédonos e das folhas uni e trifolioladas (Figura 1) com o caule proporcionam à planta de soja uma grande capacidade de regeneração. Se o ápice do caule for danificado ou quebrado, as gemas axilares remanescentes produzirão ramos pois não terão mais o efeito inibitório da dominância apical. Caso a quebra da planta ocorra abaixo do nó cotiledonar não há regeneração, pois abaixo desse nó não há gema capaz de fazer a planta emitir novos ramos. A gema apical do caule apresenta dominância sobre as gemas axilares durante a fase vegetativa de crescimento.

A fase de estabelecimento das plantas é de fundamental importância para a obtenção de elevados rendimentos de grãos, pois determinará o número de plantas por área e a formação do dossel compostos pelas folhas e as diversas ramificações dos caules.

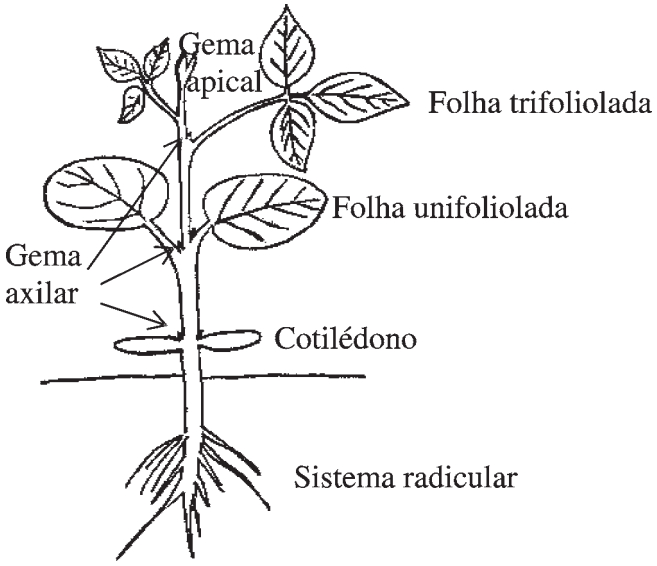


Figura 1. Plântula de soja com suas estruturas de crescimento.

Os altos rendimentos de soja são obtidas quando ocorre um período de 50-55 dias de crescimento vegetativo e acúmulo de 400 a 500 g de matéria seca da parte aérea por m^2 no florescimento. Neste período (vegetativo) formam-se o aparato fotossintético (folhas) e o número potencial de locais (nós do caule e dos ramos) com gemas onde poderá haver florescimento.

A nutrição nitrogenada em soja é atendida quando é feita a inoculação da semente com Bradyrhizobium na semeadura. Os nódulos são visualizados logo após a emergência da plântula, mas serão efetivos na fixação de N_2 apenas 10-14 dias após esse estádio. Não é necessário aplicar fertilizantes nitrogenados para auxiliar o "arranque" (estabelecimento) inicial da planta, porque haverá um efeito prejudicial sobre a nodulação. As exigências nutricionais são pequenas e o N mineral do solo é capaz de suprir as necessidades da plântula até o início da fixação simbiótica. No entanto, doses baixas de até 20 kg/ha de N aplicadas na semeadura podem ser utilizadas sem prejuízo à fixação simbiótica.

PERÍODO REPRODUTIVO

A planta de soja entra na fase reprodutiva devido a indução interativa do fotoperíodo (número de horas de luz ou escuro) e temperatura do ar. O período reprodutivo compreende o florescimento, desenvolvimento dos legumes, enchimento de grãos e maturação.

O florescimento inicia nos nós superiores do caule, com posterior surgimento de flores nos demais nós do caule e dos ramos. A defasagem de florescimento, de poucos dias, entre os nós, juntamente com a desuniformidade entre flores dentro dos racemos de cada nó, fazem com que a planta floresça durante vários dias. Em decorrência, ela apresenta boa plasticidade para

manter o potencial produtivo (número de flores viáveis) sob períodos de deficiência hídrica. Durante o florescimento ocorre acúmulo de matéria seca e nutrientes nas partes vegetativas (folhas, pecíolos, ramos e raízes) (Figura 2), bem como aumenta rapidamente a taxa de fixação de N_2 pelos nódulos.

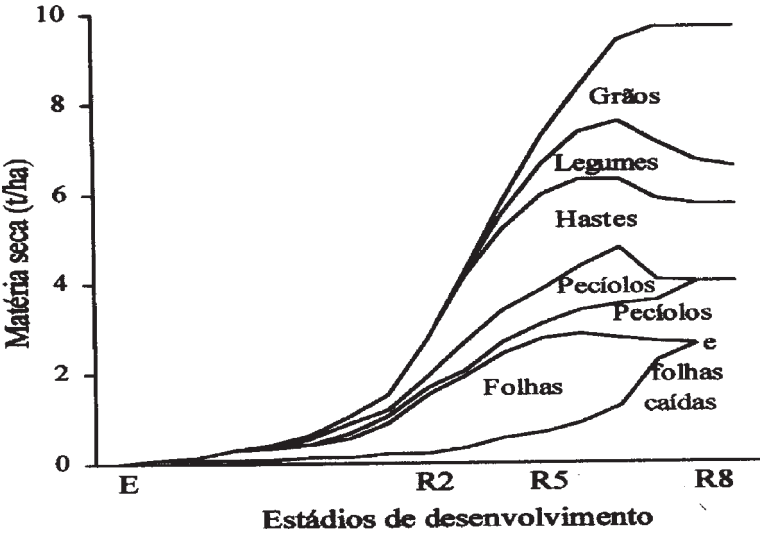


Figura 2. Acúmulo de matéria seca nos componentes da parte aérea da planta de soja durante seu desenvolvimento. E = emergência; R2 = pleno florescimento; R5 = enchimento de grãos; e R8 = maturação de colheita. Fonte: Iowa State University, Special Report, n. 53, 1994.

A fixação e desenvolvimento de legumes determinam o número total de legumes por planta, sendo esse o componente mais maleável na composição do rendimento de grãos. Nesse período ocorre um rápido crescimento do legume, que atinge em torno de 80% de seu tamanho final, no início do enchimento de grãos.

O enchimento de grãos é o período de rápido acúmulo de matéria seca e nutrientes nos grãos. No início do período, a planta atinge o máximo índice de área foliar, desenvolvimento de raízes e fixação de N_2. No transcorrer do mesmo, acelera-se a redistribuição para os grãos de nutrientes minerais, carboidratos e compostos nitrogenados provenientes das folhas em senescência, ramos e caule. No final desse período as folhas começam a amarelar e a cair, começando na parte inferior da planta.

A maturação fisiológica do grão ocorre quando cessa o acúmulo de matéria seca. Nesse estádio o grão perde a coloração verde, apresenta em torno de 60% de umidade e contém todas as estruturas para originar uma nova planta. Atingida a maturação fisiológica, as folhas caem, o caule, ramos, legumes e grãos vão perdendo umidade e atingem a coloração característica de estrutura madura de cada cultivar. A maturação de colheita ocorre quando os grãos apresentam menos de 15% de umidade.

As cultivares de soja podem ter hábito de crescimento determinado ou indeterminado, que é baseado de acordo com características do ápice do caule principal. As cultivares de hábito de crescimento determinado tem as plantas com caules terminados por racemos florais; após o início do florescimento, as plantas aumentam muito pouco em altura. As cultivares de hábito de crescimento indeterminado não apresentam racemos florais terminais e continuam desenvolvendo nós e alongando o caule, de forma que continuam a incrementar a altura até o final do florescimento.

No Rio Grande do Sul existem cultivares de hábito determinado (BRS 154, Fepagro RS-10, Fundacep 44) e indeterminado (BRS Macota e CD 216). Não há uma comprovação experimental da vantagem de um hábito de crescimento sobre o outro quanto ao rendimento de grãos.

SENSIBILIDADE AO FOTOPERÍODO E TEMPERATURA DO AR

A época em que a planta de soja floresce é importante para o rendimento de grãos, pois afeta o balanço entre o crescimento vegetativo e o crescimento reprodutivo. O melhor equilíbrio é aquele em que a planta, até o florescimento, tenha suficiente desenvolvimento da parte aérea (caule, ramos e folhas) para gerar o maior número de legumes capazes de produzir grãos.

O florescimento precoce, quando ocorre em poucas semanas após a semeadura, não permite que a planta produza suficiente número de ramos e folhas e, em decorrência, o número de nós de onde são geradas as flores é extremamente reduzido. Este é o caso das semeaduras muito tardias em que a planta floresce com pouco mais de 30 dias e que resultam em baixos rendimentos de grãos. O fenômeno acontece também com cultivares superprecoces não adaptadas às condições do sul do Brasil. A falta de água no período vegetativo causa problemas semelhantes.

A situação oposta ocorre com cultivares que retardam excessivamente o florescimento e há crescimento vegetativo exagerado. Forma-se um grande número de ramos e, em decorrência, de nós. Nestes podem se originar flores, mas o aborto floral e de legumes vai ser muito elevado, causando o desbalanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo. Isso acontece com cultivares não adaptadas às condições de fotoperíodo e temperatura do local ou em semeaduras muito antecipadas, para alguns materiais.

A situação é exemplificada na Tabela 1 com a soja (cultivar de ciclo médio) semeada em diferentes épocas (17 de setembro a 5 de janeiro), durante dois anos, em

Passo Fundo. No primeiro ano de cultivo ocorreu uma variação de 30 dias para o pleno florescimento e 59 dias para a maturação de colheita. Mesmo dentro da época indicada para a região (11 outubro a 20 dezembro), houve uma variação de 10 dias para o pleno florescimento e 31 dias para a maturação de colheita. No segundo ano, a variação entre épocas, dentro do período recomendado foi de 11 dias, até o florescimento e 35 dias, até a maturação.

Tabela 1. Duração (dias) dos sub-períodos emergência até pleno florescimento e emergência até maturação de uma cultivar de soja de ciclo médio, em dois anos, para Passo Fundo/RS.

Data de Semeadura	Emergência – Pleno Florescimento (dias)		Emergência – Maturação de Colheita (dias)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
17/set	76	70	171	157
11/out	67	61	157	143
16/nov	63	62	140	130
12/dez	57	50	126	108
05/jan	46	40	112	112

Soja: Res. Pesq. Embrapa/CNPT. Doc. 51 (1998)

As variações entre épocas de semeadura que ocasionam ciclos diferenciados causam diferenças nos rendimentos de grãos entre as cultivares. Por esta razão, na cultura da soja a época de semeadura é rígida dada a grande influência que tem na produtividade. De uma forma geral, para as cultivares em uso no RS, as semeaduras de meados de novembro proporcionam os melhores rendimentos (Tabela 2) decorrente, principalmente, do que foi exposto anteriormente.

Tabela 2. Ciclo e rendimento de grãos de cultivar de soja precoce e tardia em função de três épocas de semeadura, para Passo Fundo/RS.

Época de	Ciclo (dias)			Rendimento de grãos (kg/ha)		
semeadura	21/out	20/nov	15/dez	21/out	20/nov	15/dez
Cultivar precoce	151	132	121	3190	3610	2895
Cultivar tardia	180	150	130	3190	4535	3365

Soja: Res. Pesp. Embrapa/CNPT. Doc. 51 (1998)

Em decorrência da forte influência da época de semeadura, um dos primeiros passos para a adaptação da cultura da soja é a adequação de cultivares com ciclo apropriado às condições de temperatura e comprimento do dia (fotoperíodo) da latitude da região de cultivo. Esta foi e tem sido uma das mais árduas tarefas dos melhoristas de modo a selecionar plantas com a característica de induzir o aparecimento dos órgãos reprodutivos de acordo com os elementos meteorológicos locais. No Brasil, os genótipos adaptados às faixas de temperatura e fotoperíodo de cada uma das regiões de cultivo (diferentes latitudes) são sistematicamente testados e utilizados para o melhoramento de cultivares em programas locais.

Os esforços do melhoramento em concentrar os primeiros trabalhos na análise da reação ao fotoperíodo decorre do fato da planta de soja ter como característica a resposta ao comprimento do dia (número de horas de luz ou, mais corretamente, número de horas no escuro, num período de 24h) para induzir a formação das flores nas gemas dos nós do caule e ramos. Os trabalhos experimentais no início do século passado, especialmente nos Estados Unidos, levaram a classificar grupos de cultivares de soja de acordo com a reação ao fotoperíodo. As cultivares

de soja foram agrupadas em 10 (dez) classes de maturação, de 00 a VIII. A faixa de maturação dentro de um mesmo grupo varia de 10 a 15 dias.

As cultivares do grupo 00 são aquelas que induzem a formação de flores com fotoperíodos longos e, por isso, são utilizadas nas maiores latitudes. As cultivares adaptadas as menores latitudes tem exigência de fotoperíodo menor e pertencem aos grupos superiores.

Em latitudes como as do Rio Grande do Sul, as cultivares são classificadas dentro dos grupos VI a VIII, as primeiras mais precoces e as últimas mais tardias. As primeiras cultivares introduzidas no RS pertenceram aos grupos V (Hill, Dare), VI (Lee, Hood, Davis, Ogden), VII (Bragg, Ransom) e VIII (Hardee, Hampton).

O uso de cultivares de diferentes ciclos é a estratégia de manejo mais apropriada para melhor utilizar a estação de crescimento. As cultivares mais tardias são preferencialmente semeadas no início e fim da época indicada para o RS. Já as cultivares precoces são escolhidas para semeadura em período intermediário da época indicada.

A cultivar de soja que tem dependência absoluta ao fotoperíodo para que possa florescer, tem necessidade de passar por uma seqüência de "dias curtos", para induzir a formação de flores. Isso se dá quando o número de horas de luz atinge determinado valor crítico, que é variável para cada grupo de maturação. Se, por exemplo, o valor crítico é de 13 h, a indução só vai acontecer na época em que comprimento do dia (horas de luz) atingir este valor.

Por exemplo, o maior comprimento do dia em Passo Fundo/RS (latitude de 28º 15' S) se dá no dia 21 de dezembro com aproximadamente 13 h e 48 min de luz. Após esta data, o número de horas (fotoperíodo) começa a decrescer como mostrado a seguir.

Data	Fotoperíodo	Diferença em relação ao mês anterior
21/09	11h 56min	-
21/10	12h 45min	+ 49min
21/11	13h 29min	+ 44min
21/12	13h 48min	+ 19min
21/01	13h 31min	- 17min
21/02	12h 47min	- 44 min
21/03	12h 00min	- 47min
21/04	11h 09 min	- 51min

Fonte: http://www.cnpt.embrapa.br/agromet.htm em 28/01/05.

Em latitudes como as do Planalto Riograndense, a variação no fotoperíodo de um mês para outro é de apenas poucos minutos. Em latitudes maiores como por exemplo no Sul da Província de Buenos Aires/Argentina, onde se cultiva soja (latitude de 36-38º S) a variação é muito maior de mês para mês.

Este fato mostra que uma cultivar utilizada para a produção de grãos a baixas latitudes (tipo Brasil Central) tem maior faixa de adaptação do que uma cultivar adaptada a altas latitudes. Por exemplo, variedades dos grupos 00 e I, exigem fotoperíodos mais longos (dias com maior número de horas de luz) do que as cultivares dos grupos VII e VIII. Assim, se no RS for semeada no mês de novembro uma cultivar do grupo 00 ou 0, provavelmente florescerá rapidamente (passado o período juvenil) pois encontra dias menores (fotoperíodo) do que os exigidos e que fazem a indução ao florescimento. Já uma cultivar do grupo VII e VIII entrará em florescimento mais tardiamente e demorará mais a encontrar o fotoperíodo mínimo exigido, que acontecerá no fim do verão ou início do outono.

Se uma cultivar for semeada muito cedo (suponhamos em setembro) e possui um curto período juvenil, pode induzir o florescimento antes de dezembro pois encontrará fotoperíodos tão curtos (em outubro/novembro) que induzem a floração.

A exigência por um determinado fotoperíodo pode ser modificada pela temperatura (especialmente a noturna). As baixas temperaturas retardam o florescimento, possivelmente interferindo na reação ao fotoperíodo. Por esta razão, uma mesma cultivar pode ter ciclo vegetativo variável de ano a ano no mesmo local ou região para região, na mesma latitude. Isto pode ser visto na Tabela 1, onde a soja foi cultivada no mesmo local nas mesmas épocas de semeadura, por dois anos.

A expansão da soja para o Brasil Central foi refreada nos primeiros anos em razão das cultivares testadas na região terem dependência obrigatória da reação ao fotoperíodo para florescerem. A adaptação do ciclo das cultivares para as regiões de baixas latitudes, representou um sério problema e a solução foi buscar genótipos com insensibilidade ao fotoperíodo e com longo "período juvenil". Nestas regiões com curto fotoperíodo, as cultivares sensíveis ao comprimento do dia são sempre rapidamente induzidas a florescer, passado o período juvenil e assim ocorreu nas primeiras tentativas de adaptar a soja. As plantas sensíveis ao fotoperíodo mais longo que o encontrado nas zonas tropicais apresentavam pequeno desenvolvimento, floresciam rapidamente e tinham rendimentos de grãos extremamente baixos.

Uma das principais causas do sucesso da expansão da soja no centro oeste brasileiro foi a criação de cultivares de longo período juvenil e adaptados às temperaturas da região permitindo que elas só florescessem quando já tivessem um bom desenvolvimento vegetativo.

SENSIBILIDADE AO ACAMAMENTO

A lavoura de soja é constituída de uma série de plantas cada uma ocupando teoricamente 0,05 m^2 (com base em 200.000 planta/ha). Sobre este espaço, cada planta necessita expandir as raízes (no solo) e os ramos com folhas, na parte área. A pequena área ocupada no solo faz com que uma planta interfira com as que a rodeiam, cada uma procurando ocupar o espaço da outra. A isso chamamos de competição intraespecífica.

Na parte aérea esta competição dá-se, especialmente, pela radiação solar. Cada planta procura colocar o maior número de folhas em posições privilegiadas a fim de captar a luz solar. Elas fazem isso emitindo ramos e alongando os entrenós dos mesmos. Neste afã, debilitam-se algumas estruturas da planta, especialmente os entrenós, que se tornam frágeis para suportar o peso da folhagem. A situação pode chegar a um ponto crítico em que os entrenós não resistem a força exercida sobre eles e cedem ao peso, causando o que denominamos de "acamamento".

A competição entre plantas faz com que haja uma equilibrada distribuição das folhas de modo que a radiação solar possa incidir sobre as folhas existentes, em maior ou menor intensidade, de forma que estas se mantenham vivas e em produção. A esse conjunto de folhas e caules que compõem a parte área, chamamos de "dossel".

A estrutura do dossel é muito dinâmica ao longo do tempo a medida que novas folhas e ramos se incorporam ao mesmo e, ao mesmo tempo, folhas velhas entram em senescência e morrem.

Quando o dossel desenvolve-se sob condições normais de ambiente, as plantas equilibram o crescimento vegetativo e reprodutivo resultando num bom índice de

colheita (relação entre peso de grãos e o peso de toda a massa seca produzida pela planta).

Esta relação pode ser alterada em prejuízo à produção de grãos, se ocorrer o acamamento. A principal decorrência do acamamento é a desorganização do dossel com conseqüente alteração da distribuição da radiação solar. Folhas que recebiam plena radiação podem ser sombreadas e vir a senescer. Outras, parcialmente sombreadas, podem, repentinamente, vir a receber alta radiação solar. Como resultado, a eficiência no uso da radiação é reduzida drasticamente e a produção de fotoassimilados cai sensivelmente. Como resultado, a planta enfrenta repentinamente um estresse que afeta tanto o crescimento vegetativo como reprodutivo. Os efeitos sobre o rendimento de grãos são muito variáveis conforme o estádio de desenvolvimento das plantas quando ocorre o acamamento (Tabela 3). A maior perda no rendimento de grãos acontece a partir do início da formação de legumes e essa perda deve-se a diminuição do número de legumes por planta e não à diminuição do número de grãos/legume ou tamanho dos grãos.

Tabela 3. Efeito do acamamento em diferentes estádios de desenvolvimento sobre o rendimento de grãos de soja.

Estádio em que foi imposto o acamamento:[1]	Rendimento de grãos (kg/ha)	Rendimento relativo (%)
Testemunha (sem acamamento)	3400 a[2]	100
Início do florescimento	2340 b	69
Início da formação de legumes	1758 c	52
Início do enchimento de grãos	820 c	24
Máximo volume de grãos	1875 bc	55

[1] Plantas na posição horizontal a 17 cm do solo por 2 semanas.

[2] Médias com letras iguais na coluna são estatisticamente similares.

Woods e Swearingin, A.J., 96:230 (1977).

Os genótipos de soja tiveram que ser selecionados conforme o seu comportamento frente a condições típicas de solo, de clima e de manejo, que afetam profundamente a sensibilidade ao acamamento. Este fenômeno, muito comum até os dias de hoje, é objeto de intensas pesquisas genéticas para melhorar a estabilidade da planta até a colheita.

As causas do acamamento podem ser intrínsecas, associadas à genética de cada cultivar, ou associadas a fatores do ambiente e de manejo que podem agravar ou diminuir a tendência ao acamamento.

Um dos principais fatores de manejo é a densidade de semeadura. O aumento excessivo no número de plantas, geralmente causa o aumento do acamamento. As plantas com excesso de população tornam-se maiores (em estatura), com entrenós mais longos e finos. Também o cultivo em solos com alta fertilidade, com boa disponibilidade hídrica durante todo o ciclo da cultura pode levar ao acamamento de muitas cultivares. A semeadura na primeira quinzena de outubro frequentemente ocasiona um crescimento vegetativo demasiado da soja, favorecendo o acamamento.

* * *

SENSIBILIDADE À RETENÇÃO FOLIAR

Os nós dos caules da planta de soja são os locais onde são emitidas as folhas. Na inserção do pecíolo da folha com o caule, desenvolve-se a gema axilar que dá origem a ramos ou flores. No último caso, as flores podem ou não originar legumes. Quando são gerados os legumes, a nutrição dos mesmos é feita preferencial-

mente pelos carboidratos originados daquela folha que se insere no caule junto com os legumes. A esta relação de nutrição entre o local de síntese e o local de utilização dos carboidratos se chama "relação fonte x demanda". Esta relação mútua se estabelece durante todo o período de formação dos legumes e dos grãos até que, quando estes estão formados, há a senescência da folha, iniciada pelo amarelecimento e posterior secagem e queda.

A senescência é um processo desencadeado na folha que se caracteriza pela remobilização das reservas solúveis das células que são translocadas para outros órgãos da planta, em especial os grãos. Isto causa a degradação da clorofila (que dá a cor verde das folhas), proteínas e outros compostos sujeitos a degradação enzimática.

Ocasionalmente ocorre um desbalanço nesta relação da nutrição entre as folhas e legumes e isso é desencadeado por diversas causas e o sintoma comumente é chamado de "retenção foliar". As folhas e as hastes do caule e dos ramos permanecem verdes, sem entrar em senescência quando os legumes (grãos) já estão formados. Uma das causas mais comuns é a presença de insetos (percevejo, em especial). Estes insetos absorvem a seiva e injetam toxinas ou outro agente (vírus), que inibe o início da senescência das folhas, que permanecem verdes.

Outra causa comum que origina a "retenção foliar" é o excessivo crescimento vegetativo quando a época de semeadura é muito antecipada. Neste caso, são formados poucos órgãos reprodutivos (legumes/grãos) capazes de receber os assimilados sintetizados nas folhas. Isto gera um excesso de carboidratos na planta (folhas) e a ausência de um sinalizador que vai dos grãos para as folhas, para iniciar o processo de senescência. Este fenômeno é facilmente visualizado quando há a removação/queda de legumes que induz a planta a tornar-se mais vegetativa, rompendo o balanço reprodutivo/vegetativo.

A retenção foliar também pode ser originada pela deficiência hídrica no período reprodutivo, devido ao aborto de flores e legumes que diminui a demanda por assimilados. O problema pode se acentuar se ocorrer excesso de chuvas durante a maturação dos legumes. O excesso de umidade na maturação pode ocasionar a retenção foliar, mesmo havendo uma carga normal de legumes na planta e não ocorrendo ataque de percevejos.

Finalmente, a retenção foliar ocorre com mais ou menos intensidade conforme a cultivar utilizada. Algumas cultivares de intenso crescimento vegetativo podem ter pouca indução reprodutiva e geram poucos legumes. Outras, intrinsecamente, mantém suas folhas verdes por mais tempo e este fenômeno pode ser agravado se as condições meteorológicas foram favoráveis à retenção foliar.

Um cuidado especial deve ser dado a aplicação de produtos que tenham ação sobre longevidade das folhas. Se aplicados muito tardiamente, seus efeitos podem se prolongar até a maturação.

Quando ocorre a retenção foliar há dificuldades na colheita (grãos secos misturados com folhas e caules com muita umidade), no armazenamento (eleva o teor de umidade dos grãos) e comercialização (impurezas).

* * *

SENSIBILIDADE A FALTA DE ÁGUA

A planta de soja tem exigências hídricas que aumentam progressivamente com o desenvolvimento da cultura. A demanda é máxima no florescimento e início de formação de legumes, mantendo-se alta até a maturação fisiológica, como é visto na Tabela 4.

Tabela 4. Evapotranspiração (EPT) total e média diária em sub-períodos do ciclo da soja.

Sub-períodos de desenvolvimento	EPT total	EPT diária
	..... mm	
Semeadura – Emergência	16	2,2
Emergência – Início do florescimento	266	5,1
Início do florescimento – Início da formação de legumes	160	7,4
Início da formação de legumes – Maturação fisiológica	362	6,6
Maturação fisiológica – Maturação de colheita	36	3,7
Ciclo	840	5,8

Berlato e Bergamaschi, Sem. Nac. Soja (1979).

A falta de água em qualquer estádio de desenvolvimento altera a quantidade de massa produzida e, com isso, afeta o balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo.

No início do ciclo a deficiência hídrica causa forte redução da emissão de novos ramos reduzindo, com isso, o número potencial de nós que poderiam produzir legumes. Neste caso, com melhor disponibilidade de água após o florescimento, a planta recupera-se parcialmente, pois pode emitir e fixar um número maior de flores nos nós para produzir legumes, mas sofre da falta de novas folhas para sustentar o enchimento dos grãos. Com boa disponibilidade de água no período vegetativo, mas com falta durante o florescimento e início de formação de legumes caracteriza-se uma situação dramática para lavoura. Este é o período mais sensível da planta à falta de água pois os efeitos se darão sobre o aborto de flores, óvulos e legumes e, posteriormente, sobre o tamanho dos grãos. Estes efeitos são devidos à deficiência hídrica sobre a fotossíntese.

A tolerância da planta de soja à falta da água, quando comparada ao milho, é devida a um conjunto de características intrínsecas da espécie:

a) Manutenção de taxa de elongação celular e atividade fotossintética maiores que o milho com baixos potenciais de água nas folhas, o que permite o crescimento e a manutenção das estruturas verdes por certo período de estresse hídrico;

b) Sistema radicular pivotante que explora o solo a uma boa profundidade;

c) Rápida recuperação do metabolismo e grande quantidade de reservas temporárias nas estruturas vegetativas, o que permite manter o crescimento mesmo sob regime de estresse;

d) Período de florescimento que pode durar de três a mais de cinco semanas, dependendo do genótipo e do ambiente, e que é fundamental para suportar períodos de secas;

e) Emissão de grande quantidade de flores (demandas fracas) com aborto de 60-70%, mesmo em condições ótimas de cultivo, que proporcionam rendimentos de 4 t de grãos por hectare.

Cada uma destas características é saliente em maior ou menor grau de acordo com a base genética de cada cultivar. Estes caracteres são objeto de estudos em biologia molecular visando identificá-los, em termos genéticos, e incorporá-los em cultivares produtivas, a fim de agregar tolerância ao estresse hídrico.

A característica de boa tolerância à falta de água (melhor do que o milho), permitiu o cultivo em locais de menor precipitação ou de chuvas irregulares. Isso foi muito importante na sua adaptação às condições climáticas do RS, especialmente nas regiões em que é freqüente a falta de água por pequenos períodos du-

rante o verão. Mesmo assim, quando a seca coincide com o período de floração e início do enchimento dos grãos, há sérios prejuízos ao desenvolvimento da planta e rendimento dos grãos. A deficiência hídrica afeta o crescimento da planta por restringir a disponibilidade de fotoassimilados, refletindo-se em menor estatura e menor número de nós na planta, bem como menor número de nós férteis (que apresentam ao menos um legume com um grão bem formado). Isso é visualizado na Tabela 5, em que o rendimento de grãos diminui basicamente devido ao menor número de legumes férteis por planta (sendo este o componente mais plástico do rendimento) e menor peso de 100 grãos. O número de grãos por legume é uma característica genética pouco afetada por fatores do meio e fica em torno de 2 grãos/legume para a maioria das cultivares desenvolvidas no RS.

Tabela 5. Rendimento de grãos, seus componentes e características da planta de soja com e sem deficiência hídrica (DH).

	Sem DH	Com DH
Rendimento de grãos (kg/ha)	3689 a*	1759 b
Peso de 100 grãos (g)	17,4 a	12,9 b
Número de legumes férteis por planta	67 a	40 b
Grãos/legume	1,8 a	1,8 a
Altura do caule (cm)	60,4 a	49,7 b
Altura de inserção do 1º legume (cm)	15,0 a	12,2 a
Número de nós na planta	52 a	38 b
Número de nós férteis na planta	34 a	26 b

* Médias com letras iguais na linha são estatisticamente similares.

Thomas, A.L. Dis. Mest. Fitotecnia, UFRGS (1992).

A sensibilidade da planta de soja à deficiência hídrica, quando dimensionada em termos de redução do rendimento de grãos, tende a aumentar com o avanço do ciclo da cultura, com sensibilidade mínima durante a fase vegetativa e máxima durante a formação de legumes e enchimento de grãos. Entretanto, a ocorrência de deficiência hídrica severa na fase vegetativa pode comprometer o rendimento de grãos devido ao pequeno desenvolvimento vegetativo da planta.

* * *

O RENDIMENTO DE GRÃOS: O ENFOQUE PELOS COMPONENTES PRIMÁRIOS

Os componentes primários do rendimento da soja compreendem:

1º) número de plantas por área;
2º) número de legumes por planta (ou área)
3º) número de grãos por legume
4º) peso do grão

O rendimento de grãos de soja pode ser resumido pela equação a seguir:

Rendimento de grãos de soja = (plantas/m^2) x (legumes/planta) x (grãos/legume) x (peso do grão)

O número de plantas por área é o que apresenta maior possibilidade de controle através do manejo e o número a ser estabelecido é determinado pelos trabalhos experimentais.

O número de legumes por planta ou área é o componente mais importante quando se busca aumentos no rendimento de grãos. Isto se deve a grande faixa de variação que pode ser obtida neste componente, o que garante parte da plasticidade fenotípica da soja. A quantidade de legumes é dependente da quantidade de flores produzidas e fixadas durante o período reprodutivo da cultura. Os trabalhos desenvolvidos no Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS demonstram que a soja pode produzir flores para garantir rendimentos teóricos de até 20.000 kg/ha se todas as flores fossem mantidas e chegassem a maturação produzindo grãos. Isso não ocorre devido as limitações impostas pela competição temporal entre as estruturas vegetativas e reprodutivas por fotoassimilados, nutrientes e água. Existem estratégias diferentes entre cultivares, umas emitindo um grande número de flores e abortando até 70% delas. Outras, emitindo um menor número de flores mas mantendo-as em maior proporção (Tabela 6). Isto evidencia um grande potencial que pode ser alvo de estudos e de possibilidades de aumento no rendimento.

Tabela 6. Estimativa do potencial de rendimento de grãos nos estádios fenológicos da floração e início do enchimento de grãos, e rendimento final de grãos na maturação de três cultivares de soja.

	Estimativa do potencial e rendimento de grãos					
Cultivares	Floração		Início enchim. grãos		Maturação	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
FT-2003	14 683 b[1]	100	11 620 a	79	6 436 a	45
RS 7	20 391 a	100	10 782 a	53	5 293 a	27
RS 9	10 147 b	100	6 836 b	67	6 364 a	62

[1]Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente.

Navarro Jr. e Costa, PAB, 37: 275-279 (2002).

O número de grãos por legume, dentre os demais componentes, é o que apresenta menor variação entre diferentes situações de cultivo. Isso demonstra uma uniformidade do melhoramento genético na busca de plantas com produção de, em média, dois grãos por legume. No entanto, existe variabilidade entre cultivares encontrando-se genótipos com 1, 2 e 3 grãos. Raras vezes são observados legumes com 4 grãos.

O peso do grão (tamanho do grão), apresenta valor característico de cada cultivar (grãos maiores ou menores). Isto não impede que este varie dependendo das condições ambientais e de manejo as quais a cultura seja submetida.

Além dos componentes primários a soja apresenta uma série de componentes secundários do rendimento que são as características morfológicas e anatômicas como distribuição de vasos condutores, número de nós, quantidade de ramificações e as características fisiológicas como taxa fotossintética e respiração de crescimento. No entanto, os componentes secundários do rendimento acabam tendo efeito sobre os componentes primários, podendo ser medidos indiretamente por meio desses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à APASSUL (Associação dos Produtores e Comerciantes de Sementes e Mudas do RS) e Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa pelo apoio financeiro para a edição do livro.