



Soja

Manejo para alta
produtividade de grãos

André Luís Thomas & José Antonio Costa
Organizadores



Porto Alegre
2010

© dos autores
1ª edição: 2010

Editoração eletrônica e capa: Rafael Marczal de Lima
Fotos da capa: Dirceu Gassen
Impressão e fotolitos: Evangraf Ltda.

Pedidos desta publicação:
– andrethomas20@hotmail.com, thomaspl@ufrgs.br
– jamayerc@gmail.com, jamc@ufrgs.br

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

CIP - Catalogação Internacional na Publicação

S683 Soja : manejo para alta produtividade de grãos / organizadores
AndréLuís Thomas, José Antonio Costa. – Porto Alegre : Evangraf,
2010. 248 p. : il.; 23 cm.

Inclui referências.

ISBN 978-85-7727-226-6

1. Soja - Manejo. 2. Soja - Produtividade. 3. Produtividade
agrícola. 4. Cultivos agrícolas - Rendimento. 5. Solos - Manejo. 6.
Fertilidade do solo. I. Thomas, André Luís. II. Costa, José Antonio.

CDU 633:34
CDD 633.34

(Bibliotecária responsável: Sabrina Leal Araujo – CRB 10/1507)

SOJA

Manejo para alta produtividade de grãos

André Luís Thomas & José Antonio Costa

Organizadores



Porto Alegre
2010

Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos

André Luís Thomas¹ & José Antonio Costa²

O potencial de rendimento de uma lavoura de soja expressa a interação entre o genótipo e o ambiente. As condições ambientais impõem restrições ao potencial genético das cultivares de modo que o resultado é o potencial produtivo do local, na estação de crescimento considerada.

A obtenção de lavouras de soja de alto potencial de rendimento depende, primeiramente, do conhecimento detalhado do crescimento e do desenvolvimento da cultura, das suas exigências edafo-climáticas e nutricionais, do potencial genético das cultivares utilizadas em diferentes situações de cultivo para maximizar o rendimento. Assim, objetiva-se nesse capítulo abordar os principais aspectos relativos ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura da soja que devem ser levados em consideração para manejá-la com eficiência e obter rendimentos elevados.

1. Desenvolvimento da planta de soja

A semente de soja é composta de três partes principais: o tegumento, os cotilédones e o eixo embrionário (Figura 1). O tegumento controla a entrada da água na semente e protege o embrião contra

¹ Professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. E-mail: thomaspl@ufrgs.br

² Professor Titular Aposentado da Faculdade de Agronomia da UFRGS. E-mail: jamc@ufrgs.br

patógenos. Os cotilédones chegam a representar 90% do peso da semente, são as reservas das mesmas e são constituídos de proteínas ($\pm 40\%$), carboidratos ($\pm 25\%$), óleos ($\pm 20\%$), fibras ($\pm 5\%$) e minerais ($\pm 5\%$) (Tesar, 1984). O eixo embrionário é constituído por duas folhas unifolioladas e tecidos meristemáticos apical (originará a parte aérea da planta) e radicular (originará as raízes da planta).

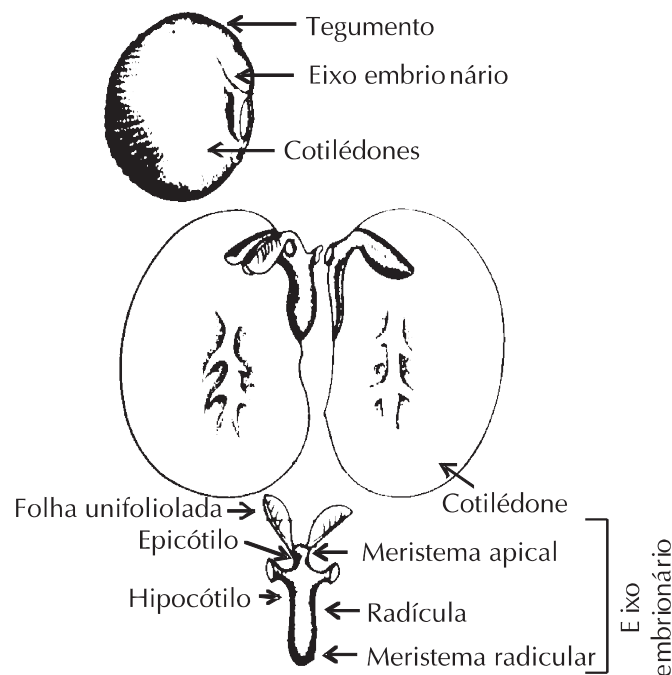


Figura 1. Partes da semente de soja.

A semente de soja necessita absorver água no volume correspondente a 50% de seu peso para iniciar o processo de germinação. A embebição é o processo que inicia a germinação. É o primeiro evento chave que modifica a semente, que se constituía de um organismo com pequena quantidade de umidade, quiescente e dormente, para reiniciar o crescimento do eixo embrionário. Conseqüentemente, deve ocorrer uma transição ordenada de aumento da hidratação, ativação de enzimas, desdobramento de produtos de reserva e reinício do desenvolvimento da plântula

(Wilcox, 1987). A embebição não é meramente um fenômeno físico, incontrolável; a integridade da semente e a temperatura do solo apresentam grande influência sobre o processo.

O estabelecimento da plântula de soja no solo ocorre pelo aumento de volume e diferenciação celular do eixo embrionário. As reservas cotiledonares (proteínas, carboidratos e óleos) são transformadas em compostos mais simples (aminoácidos e açúcares) e energia, utilizados no desenvolvimento da plântula.

A germinação é epígea, ou seja, os cotilédones são levantados pelo hipocótilo para cima da superfície do solo. 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 cotilédones suprem as necessidades metabólicas da plântula por 7-10 dias após a emergência. Durante esse período, os cotilédones perdem 70% de seu peso e a supressão de um cotilédone tem pouco efeito sobre a taxa de crescimento da plântula, mas poderá afetar o rendimento de grãos se o período de crescimento vegetativo não permitir a recuperação da planta. Durante a emergência da plântula ocorre o desenvolvimento do sistema radicular seminal, o desenrolamento das folhas primárias (seminais, com disposição oposta no caule) e o desenvolvimento do meristema apical que dará origem à parte aérea. A partir desse ponto, então, a planta passa a absorver nutrientes do solo através das raízes e a produzir fotoassimilados pelas folhas.

A fase de estabelecimento das plantas na lavoura é importante para a obtenção de rendimentos elevados de grãos, pois determinará o número de plantas e a sua distribuição na área, o que influenciará na estatura da planta, no desenvolvimento de ramos, no manejo de plantas daninhas e de doenças. A uniformidade da população de plantas evitará o aparecimento de plantas dominadas que desequilibram a competição intraespecífica e contribuem para diminuição do rendimento da lavoura (Pires, 2002).

A utilização de semente de soja de alta qualidade, de origem conhecida, associada a boas práticas de semeadura, assegura o estabelecimento de população de plantas vigorosas, em número adequado e distribuídas uniformemente, o que é a base para o sucesso da lavoura, contribuindo para que a cultivar expresse o seu potencial de rendimento (Krzyzanowski et al., 2008a). Sementes de vigor médio

ou baixo e/ou deterioradas, resultam em plântulas sem vigor, com pouca ou nenhuma possibilidade de se estabelecerem competitivamente no campo. A qualidade de sementes tem sido atribuída a sua pureza física, ao elevado potencial genético, a alta germinação e vigor, a ausência de danos mecânicos, a boa sanidade e a uniformidade de tamanho (França Neto et al., 1997; França Neto et al., 2007; Krzyzanowski et al., 2008b).

As cultivares modernas de soja têm apresentado alta produtividade em populações de 180 a 250 mil plantas/hectare. Mas, para que essas populações possam ser obtidas com segurança, se requer o uso de sementes de alta qualidade, além de precisão na distribuição das sementes na fileira de semeadura (Krzyzanowski et al., 2008b).

Para estabelecer lavouras com menor população de plantas, se requer, além do tratamento com fungicidas, sementes de alta qualidade fisiológica e sanitária, classificadas por tamanho e por densidade, para atingir alto grau de plantabilidade (distribuição precisa da semente quanto a quantidade e distância entre as mesmas, com o uso de semeadoras com boa precisão de distribuição). A população ideal de plantas é precursora de alta produtividade, se os demais fatores de produção estiverem disponíveis satisfatoriamente. Densidades elevadas resultam em acamamento de plantas, o que interfere negativamente na produção. Densidades muito baixas permitem alta concorrência das plantas daninhas, que se beneficiam dos fertilizantes colocados no solo (Krzyzanowski et al., 2008b).

O uso de sementes de alto vigor proporciona acréscimos superiores a 35% no rendimento, em relação ao uso de sementes de baixo vigor, e o aumento na proporção das plantas provenientes das sementes de alto vigor na comunidade proporciona acréscimo linear no rendimento de soja (Kolchinski et al., 2005).

A implantação da lavoura de soja com sementes de alta qualidade, aliada ao tratamento da semente com a mistura de fungicidas de contato e sistêmico, elimina os riscos do replantio, que se constitui na mais desastrosa das práticas agrícolas, por impor uma série de restrições tecnológicas que resultam na baixa rentabilidade do empreendimento, tais como: a) custo adicional com a aquisição de novas sementes; como essa aquisição é realizada com a safra em curso, na maioria das vezes os lotes de melhor qualidade já foram comercializados, portanto, o risco de se adquirir lotes de qualidade

inferior é grande; b) na maioria das vezes não se consegue adquirir sementes da mesma cultivar, tendo que se optar por aquelas que estiverem disponíveis no mercado, o que poderá não atender às expectativas de produtividade; c) a nova época de semeadura poderá ocorrer fora do período ideal, o que prejudica a produtividade da cultura, pois, quanto mais se atrasa a semeadura, mais os índices de produtividade decrescem, podendo ainda favorecer o surgimento de doenças tardias, como a ferrugem; d) outro aspecto importante a considerar é a perda da eficiência dos herbicidas previamente aplicados, pois decisões terão que ser tomadas quanto a utilização ou não de outros herbicidas por ocasião do replantio; e) a perda e lixiviação de fertilizantes, com destaque para o potássio, poderá vir a ocorrer em função do regime mais intenso de chuvas; f) a somatória desses fatores culminará em menores produtividades e rendimento da soja (Krzyzanowski et al., 2008b).

Feita a inoculação das sementes com *Bradyrhizobium* na semeadura, os nódulos podem ser visualizados logo após a emergência da plântula. Entretanto, eles serão efetivos na fixação biológica de nitrogênio de 10 a 14 dias após esse estágio. Não é necessário aplicar fertilizantes nitrogenados para auxiliar o estabelecimento (“arranque”) inicial da planta, porque haverá efeito prejudicial sobre a nodulação. As exigências nutricionais são pequenas nessa fase e o N mineral do solo é capaz de suprir as necessidades da plântula entre o exaurimento das reservas cotiledonares e o início da fixação simbiótica. No entanto, doses baixas de até 20 kg/ha de N, presentes em determinadas formulações de adubos, podem ser utilizadas sem prejuízo à fixação simbiótica (Reunião, 2009).

O crescimento vegetativo da planta ocorre com a emissão de folhas trifolioladas, com disposição alternada ao longo do caule, perfazendo em torno de 16 a 20 nós com folhas trifolioladas, sob condições edafo-climáticas adequadas ao crescimento. Na inserção (axila) do pecíolo de cada folha com o caule há uma gema axilar meristemática. Sua presença também ocorre nas axilas dos cotilédones e das folhas primárias com o caule. A gema axilar pode ficar dormente ou originar estruturas vegetativas (ramos) ou reprodutivas (flores, legumes e grãos), dotando a planta de soja de grande plasticidade morfológica. O número de ramos aumenta com a diminuição da população de plantas e com o aumento do espaçamento entre filas. Os

ramos possuem as mesmas estruturas vegetativas e reprodutivas que o caule (Mundstock & Thomas, 2005).

As gemas axilares, das folhas uni e trifolioladas e dos cotilédones, proporcionam à planta de soja grande capacidade de regeneração. Se o ápice do caule for danificado ou quebrado, as gemas axilares remanescentes não terão mais o efeito inibitório da dominância apical e produzirão ramos. Caso o dano ou quebra da planta ocorra abaixo do nó cotiledonar, ela morrerá, pois não há gemas axilares capazes de regenerar a planta abaixo desse nó. O meristema apical do caule apresenta dominância sobre as gemas axilares durante a fase vegetativa de crescimento (Mundstock & Thomas, 2005).

O desenvolvimento vegetativo da planta de soja é muito importante para o rendimento de grãos, sendo necessário um período de 50 a 55 dias para que a planta esteja morfológicamente preparada, em número de nós no caule e de ramos, para produzir alto rendimento. Durante a fase vegetativa, além da formação do aparato fotossintético, é determinado o número potencial de locais com gemas meristemáticas onde poderá ocorrer o desenvolvimento de estruturas reprodutivas (Costa & Marchezan, 1982), ou seja, o número de nós da planta, que é o somatório dos nós do caule e dos ramos. Portanto, é essencial que se faça o controle adequado de plantas daninhas, insetos pragas e moléstias para o rendimento de grãos não ser afetado pela diminuição do desenvolvimento vegetativo das plantas.

Caso a semeadura seja realizada na época recomendada preferencial, em que está presente a combinação adequada de fotoperíodo, temperatura e disponibilidade hídrica, a planta se desenvolverá normalmente, com o balanço correto entre a duração das etapas vegetativa e reprodutiva. Semeadura realizada antecipadamente à época recomendada, devido à grande duração do período vegetativo, resultará em plantas com excessivo desenvolvimento, estatura elevada e muitos ramos, o que determinará em acamamento e baixo rendimento. Se a época de semeadura for após a época recomendada, o período vegetativo terá duração insuficiente, a planta apresentará baixa estatura, menor número de ramos e os ramos com poucos nós. Se a essas condições for acrescentada a ocorrência de alta temperatura e deficiência hídrica, o efeito negativo é potencializado, e o rendimento de grãos será muito baixo.

Após a indução ao florescimento, que se dá pela combinação entre fotoperíodo e temperatura, a soja inicia o período reprodutivo. Nas variedades de hábito determinado, praticamente cessa a emissão de nós no caule e se acelera o desenvolvimento dos ramos, que aumentam em número e tamanho. Já as variedades de hábito indeterminado continuam a formar nós no caule por mais tempo e desenvolvem poucos ramos (Costa, 1996). Por ocasião do início do florescimento (R1), o acúmulo de 200 g de matéria seca (MS) na parte aérea por metro quadrado é um indicador positivo para alto rendimento da lavoura (Figura 2) (Board & Modali, 2005).

O número total de flores está positivamente associado ao número de nós produzidos pela planta (nós do caule + nós dos ramos), o que interfere diretamente no rendimento de grãos. Por sua vez, o número de flores apresenta a mesma associação com o número de legumes e de grãos (Board & Modali, 2005).

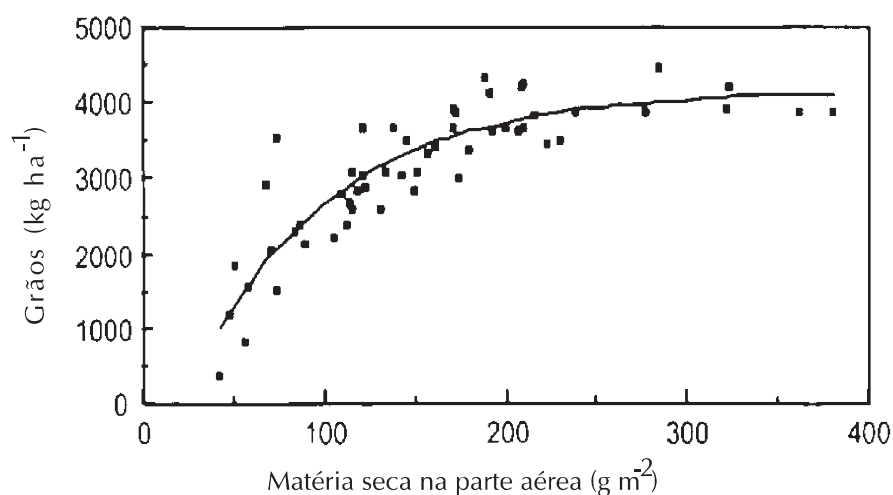


Figura 2. Relação entre matéria seca na parte aérea de plantas de soja no florescimento e o rendimento de grãos.

Fonte: Board & Modali, 2005.

A formação, fixação e desenvolvimento de legumes apresentam papel primordial no incremento do rendimento de grãos, pois determinam o número total de legumes por área, sendo esse o componente mais maleável na composição do rendimento. Nesse estágio ocor-

re rápido crescimento do legume, que atinge cerca de 80% de seu tamanho final, e marca o início do enchimento de grão.

No enchimento de grãos inicia o período de rápido acúmulo de matéria seca e nutrientes nos mesmos, em função da planta atingir o máximo índice de área foliar, desenvolvimento de raízes e fixação de nitrogênio. A existência de acúmulo de 600 g de matéria seca por metro quadrado por ocasião do início de enchimento de grãos é outro indicador de que a lavoura está apta a produzir alto rendimento de grãos (Figura 3) (Board & Modali, 2005). Também acelera-se a redistribuição de nutrientes, carboidratos e compostos nitrogenados provenientes da remobilização das folhas, ramos e caule para os grãos. No final desse estágio, as folhas começam a amarelar e a cair, inicialmente na parte inferior da planta.

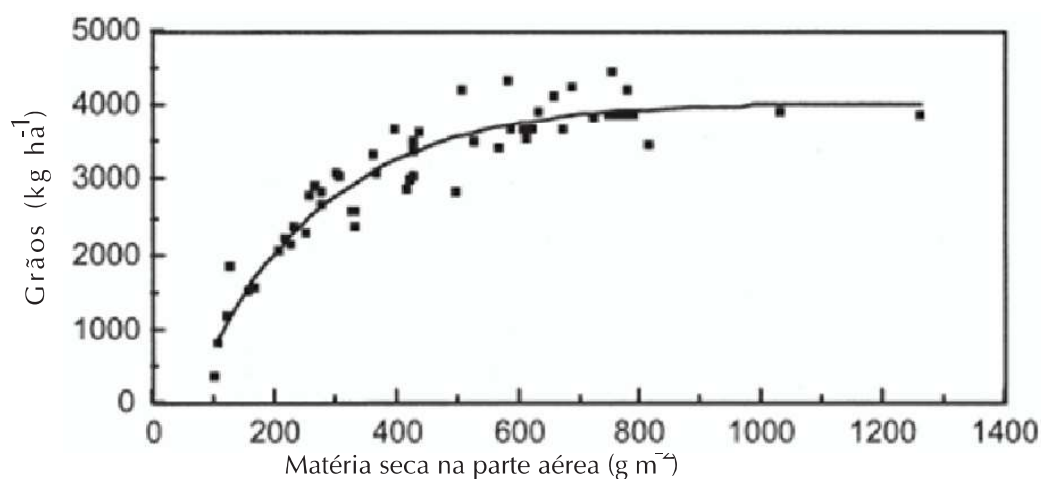


Figura 3. Relação entre matéria seca na parte aérea de soja no início do enchimento de grãos e o rendimento de grãos.

Fonte: Board & Modali, 2005.

A área foliar das plantas deve ser de 3,5 a 4,5 m² para cada m² de área de solo durante o período de enchimento de grãos, para evitar perda de rendimento, proporcionando uma interceptação de cerca de 95% da radiação solar (Board & Harville, 1992). O efeito principal do desfolhamento no rendimento é causado pelo decréscimo na interceptação da radiação solar pelo dossel, o que diminui a atividade fotossintética do mesmo. Isso diminui a taxa de crescimento da

cultura (habilidade da cultura produzir matéria seca) e resulta em perda de rendimento.

O efeito do desfolhamento no rendimento é marcadamente diferente em relação ao estágio de desenvolvimento e ao nível de dano. Na fase vegetativa tolera-se até 30% de desfolhamento, enquanto na fase reprodutiva esse nível diminui para 15% (Reunião, 2009). O desfolhamento no início do enchimento de grãos tem maior efeito negativo no rendimento. O crescimento de folhas termina neste período e o potencial de recuperação é muito limitado, comparado com períodos anteriores. Além disso, o número de legumes e de sementes por área ainda estão sendo determinados. Assim, redução significativa na área foliar e na interceptação de radiação no começo do enchimento de grãos podem resultar numa drástica redução no rendimento pela diminuição do número de legumes, bem como pelo decréscimo no número e tamanho das sementes (Parcianello et al., 2004). Este é o motivo pelo qual os sojicultores são alertados para proteger suas lavouras com fungicidas quando a soja se encontra nos estádios reprodutivos iniciais e o risco de ocorrência de ferrugem é alto.

Quando o início do enchimento de grãos (R5) é alcançado, o peso seco vegetativo se aproxima do máximo e o número final de legumes e sementes está determinado. O índice de área foliar também atinge o nível máximo em R5. Este nível é mantido, mesmo com pequeno desfolhamento, a não ser que algum estresse ocorra durante o período de R5 a R7 (maturação fisiológica). A tolerância da soja ao desfolhamento diminui à medida que o período de enchimento de grãos avança. Finalmente, a senescência normal da planta resulta em rápido desfolhamento mais ou menos na última semana do período de enchimento de grãos.

A maturação fisiológica ocorre quando termina o acúmulo de matéria seca no grão, estabelecendo o rendimento. Neste estágio o grão perde a coloração verde, apresenta em torno de 40 a 50% de umidade e contém todas as estruturas para originar uma nova planta. A partir daí todas as folhas caem, o caule, ramos, legumes e grãos perdem umidade, atingem a coloração característica de estrutura madura de cada cultivar.

A dessecação da soja é uma prática que pode ser utilizada somente em área de produção de grãos, com o objetivo de controlar as plantas daninhas ou uniformizar as plantas com problemas de haste

verde/retenção foliar. Sendo necessária a dessecação em pré-colheita, é importante observar a época apropriada para executá-la. Aplicações realizadas antes da cultura atingir a maturação fisiológica provocam perdas no rendimento. Para evitar que ocorram resíduos no grão colhido, deve observar-se o período de carência entre a aplicação do produto e a colheita. A dessecação em pré-colheita de campos de sementes de soja convencional (não RR) com glifosate não deve ser realizada, uma vez que essa prática acarreta redução de qualidade de semente, diminuindo seu vigor e germinação, devido ao não desenvolvimento das radículas secundárias das plântulas (Tecnologias, 2008).

A maturação de colheita ocorre quando os grãos apresentam menos de 15% de umidade. A soja, quando colhida com teor de umidade entre 13% e 15%, tem minimizados os problemas de danos mecânicos e perdas na colheita. Sementes colhidas com teor de umidade superior a 15% estão sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes e, quando colhidas com teor abaixo de 12%, estão suscetíveis ao dano mecânico imediato (Reunião, 2009).

2. Componentes do rendimento de grãos

Os componentes primários do rendimento da soja compreendem o número de plantas por área, o número de legumes por planta (ou área), o número de grãos por legume e o peso do grão. Dentre os componentes citados, o número de plantas por área é o que apresenta maior possibilidade de controle.

O número de legumes por planta ou área é considerado o componente do rendimento mais importante quando se buscam aumentos no potencial de rendimento. Isto se deve à grande variação desse 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. A planta de soja produz botões florais em abundância, mas o abortamento dos ovários é muito elevado. O abortamento de flores varia de 40 a 80% em condições normais de lavoura; a abscisão de legumes recém-formados ocorre, na sua maior parte, com o avanço da floração. Portanto, o número de legumes é, primariamente, determinado nos primeiros estádios de desenvolvimento dos legumes (dentro de cinco dias após a antese).

O número de grãos por legume, dentre os demais componentes, é o que apresenta menor variação. Isso foi evidenciado em vários trabalhos, o que demonstra uma uniformidade do melhoramento na busca de plantas com produção de, em média, dois grãos por legume. No entanto, existe variabilidade entre cultivares para produção de legumes com 1, 2 e 3 grãos. Raras vezes são observados legumes com 4 grãos.

O peso do grão representa o tamanho do grão e, portanto, apresenta valor característico de cada cultivar (grãos maiores ou menores). Isto não impede que ele varie de acordo com as condições ambientais e de manejo às quais a cultura seja submetida. O peso de cada grão é o produto da taxa e da duração do período de enchimento de grão; é, normalmente, determinado após a fixação do número de legumes. Tanto do ponto de vista fisiológico (Egli, 2006) como da perspectiva evolucionista (Sadras, 2007), há convergência na identificação do papel-chave do tamanho do grão na determinação do seu número por área. Quanto maior o tamanho, menor o número de grãos por área, embora se possa obter elevados rendimentos tanto com cultivares que apresentam grãos grandes (18g para 100 grãos) como pequenos (12g para 100 grãos). Entretanto, há uma alta relação entre o rendimento e o número de grãos por área, como mostra a Figura 4 (Board & Maricherla, 2008).

Além dos componentes primários do rendimento, a soja apresenta uma série de componentes secundários, que envolvem desde características morfológicas e anatômicas, como distribuição de vasos condutores, número de nós, ramificações, até características fisiológicas, como taxa fotossintética e respiração de crescimento. No entanto, os componentes secundários acabam tendo efeito sobre os componentes primários, podendo ser medidos indiretamente através destes últimos (Pires et al., 2005).

Estresses, como deficiência hídrica, desfolhamento e incidência de moléstias foliares, aumentam a taxa de abortamento de legumes ou diminuem o tamanho dos grãos ou ambos, dependendo da época de ocorrência do estresse. Quando o estresse ocorre durante o florescimento e o início do desenvolvimento dos legumes, o número de legumes é reduzido. Quando o estresse ocorre durante o enchimento de grãos, o tamanho do grão é diminuído e o número de legumes permanece praticamente o mesmo (Boote et al., 1994).

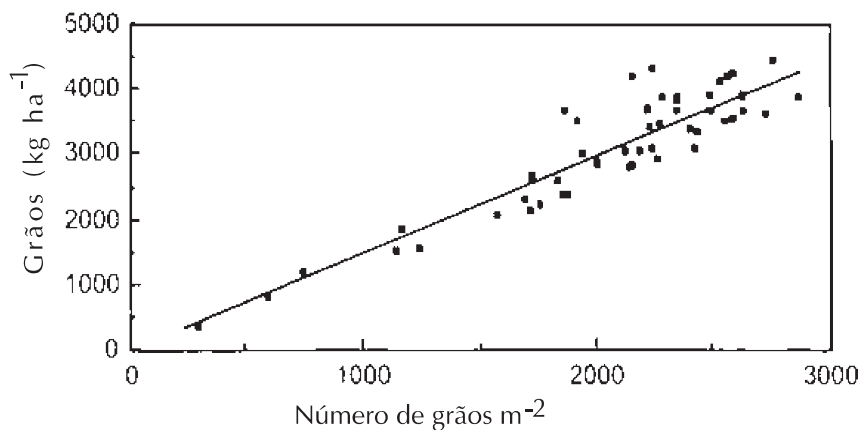


Figura 4. Relação entre o número de grãos por área e o rendimento de grãos em soja. Fonte: Board & Maricherla, 2008.

A deficiência hídrica é o fator mais limitante da produtividade da soja no mundo. O rendimento é significativamente afetado, particularmente quando o estresse hídrico ocorre durante o florescimento e no início da expansão dos legumes. A perda ocorre, principalmente, pelo aumento da taxa de aborto de legumes (o estágio crítico ocorre de 3 a 5 dias após a antese), resultando em menor número de grãos por unidade de área. As limitações ao rendimento são, muitas vezes, atribuídas a restrições na fonte (menor área foliar para realizar fotossíntese) ou na demanda (menor número de legumes por área) (Ahsley & Ethridge, 1978; Boerma & Ahsley, 1982).

3. Extração de nutrientes pela planta e rendimento de grãos

A quantidade de nutrientes extraída pela soja é função da matéria seca total produzida. A matéria seca acumulada, por sua vez, se a quantidade de nutrientes for adequada, é dependente das condições meteorológicas ocorrentes durante o ciclo de desenvolvimento, principalmente precipitação e temperatura. Entende-se que, além das condições químicas, as condições físicas do solo devem ser favoráveis para o desenvolvimento das plantas.

Os dados de acúmulo de matéria seca (Figura 5) e nutrientes através do tempo mostram que, na fase inicial de desenvolvimento, a velocidade de acúmulo é baixa, aumentando progressivamente com o tempo, atingindo o máximo entre o florescimento e o início do enchimento dos grãos (R5). O acúmulo de matéria seca nos grãos inicia em R5 e continua na mesma proporção até a maturação fisiológica (R7). A taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos durante este período varia de 70 a 100 kg/ha/dia.

Não só a quantidade total retirada é importante, como também a velocidade com que a matéria seca é acumulada e os nutrientes absorvidos, por dar uma indicação da forma na qual os nutrientes devem ser fornecidos (disponibilidade) e dos estádios críticos de desenvolvimento da planta nos quais a absorção ocorre com maior intensidade.

Altos rendimentos são obtidos quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estádios de desenvolvimento. Condições desfavoráveis nos estádios iniciais limitam o tamanho das folhas, ou seja, o aparato fotossintético. Em estádios mais avançados, particularmente nos reprodutivos, pode resultar em redução no número de flores, no número de legumes, no número de grãos por legume e no tamanho dos grãos.

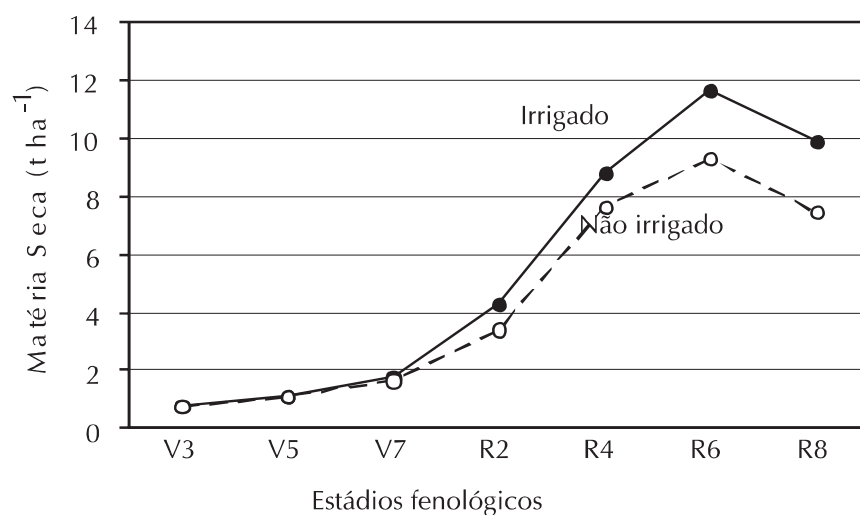


Figura 5. Matéria seca na parte aérea, em dois regimes hídricos, na média de duas cultivares de soja e três espaçamentos entre fileiras.

Fonte: Maehler, 2000.

A maior parte do nitrogênio, fósforo, potássio, molibdênio, zinco, enxofre e cobre absorvidos pela planta é translocada da parte vegetativa para os grãos, enquanto cálcio, magnésio, boro, ferro e manganês permanecem nos restos de cultura (Tabelas 1 e 2).

Como a quantidade de nitrogênio removida é apreciável, torna-se importante proporcionar as melhores condições possíveis para que a simbiose entre a bactéria e a planta de soja funcione no máximo do seu potencial, fornecendo grande parte do nitrogênio que a planta necessita para a produção de rendimentos elevados (Johnston & Milford, 2009).

A obtenção de rendimentos altos requer nutrição mineral adequada. Mas, apenas adequar a nutrição mineral não é suficiente. É necessário também que outros fatores de crescimento sejam supridos numa combinação apropriada.

Tabela 1. Quantidades estimadas de nitrogênio, fósforo e potássio extraídas pela soja.

Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Quantidades na parte aérea da planta (caule, folhas e grãos)			Quantidades de nutrientes nos grãos		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
 Kg ha ⁻¹ Kg ha ⁻¹		
2000	166	28	70	112	20	38
3000	247	42	110	163	32	59
4000	324	58	164	215	43	89
5000	403	71	205	268	52	111

Fonte: Adaptado de Borkert, 1986.

Tabela 2. Quantidades estimadas de cálcio, magnésio e enxofre extraídas pela soja.

Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Quantidades na parte aérea da planta (caule, folhas e grãos)			Quantidades de nutrientes nos grãos		
	Ca	Mg	S	Ca	Mg	S
 Kg ha ⁻¹ Kg ha ⁻¹		
2000	18	7	19	3,9	3,0	6,4
3000	23	13	24	5,0	5,3	8,0
4000	28	18	37	6,2	7,2	12,2
5000	34	22	47	7,5	8,8	15,4

Fonte: Adaptado de Borkert, 1986.

Do ponto de vista fisiológico, as deficiências de nutrientes resultam, primeiramente, na inibição do crescimento ou da utilização dos produtos formados na fotossíntese.

As plantas que sofrem de deficiência de nutrientes, por um dia ou mesmo parte de um dia, durante período crítico do desenvolvimento, não podem ser classificadas como adequadamente nutridas. Portanto, o conhecimento das necessidades diárias de nutrientes para a planta de soja é fundamental para proceder uma adubação racional.

A absorção de nutrientes dissolvidos na solução do solo vai variar em função das condições meteorológicas, da cultivar e do nível de fertilidade. A quantidade de nutrientes necessária, no início do crescimento, é pouca, porque a demanda pelas plantas é pequena. No entanto, alta concentração de nutrientes na rizosfera, nessa ocasião, é importante no desenvolvimento inicial, determinando o tamanho das primeiras folhas, possibilitando desenvolvimento inicial rápido da planta. Por outro lado, uma planta bem nutrida se torna mais resistente ao ataque de insetos e moléstias nessa fase crítica, particularmente em relação ao potássio.

As plantas podem nutrir-se e crescer somente com a umidade do solo acima do ponto de murcha. À medida que o teor de umidade do solo se aproxima do mesmo, vai diminuindo a eficiência da planta quanto à absorção. Assim, os teores de umidade mais próximos da capacidade de campo são os mais favoráveis à nutrição das plantas (Floss, 2004).

A absorção dos nutrientes aumenta com a elevação da temperatura até um ótimo, em geral na ordem de 35 a 40 °C, além da qual decresce, e, por fim, em consequência principalmente das alterações sofridas pelas enzimas envolvidas no processo de absorção, cessa.

Como a absorção pelas raízes não é um processo meramente passivo, de simples difusão osmótica, mas requer energia para a sua total realização, e, como essa energia procede da respiração, é fundamental a presença de oxigênio em quantidades adequadas no solo, o que só ocorre onde não existe compactação excessiva.

A luz é outro fator que influencia a absorção dos minerais. O efeito direto é o de promover a formação dos carboidratos utilizados na respiração, que é o processo fornecedor de energia para aquele fenômeno. Indiretamente, a intensidade luminosa influi na absorção de elementos minerais, através da maior atividade fotossintética, que

resulta em maior acúmulo de matéria seca pela planta e, conseqüentemente, maior necessidade de elementos minerais.

A extração de nitrogênio, fósforo e potássio se faz em taxa relativamente constante, da floração até o máximo volume dos grãos. As plantas que estão nutridas adequadamente podem retirar quantidade maior de nutrientes do que necessitam para utilização imediata. Estes nutrientes são armazenados em tecidos mais velhos, para serem redistribuídos para tecidos com maior demanda, em períodos em que a extração não satisfaz as necessidades imediatas. Todos os nutrientes minerais são translocados, em graus diferentes, durante o crescimento e desenvolvimento da planta. A maior porção do nitrogênio e fósforo e parte do potássio são translocados de diferentes partes da planta para os grãos.

Quando o solo não apresenta condições de suprir as necessidades das plantas em nutrientes, deve-se fazer adubação para complementar a disponibilidade. A retirada dos nutrientes adicionados não é um processo eficiente. Em boas condições, o aproveitamento do fósforo varia de 5 a 20%. Para o potássio, o aproveitamento é de 30 a 60%. Os micronutrientes tem aproveitamento da ordem de 0,01 a 5%. Ocasionalmente, a retirada poderá ser maior e, em outros casos, em condições limitantes, o aproveitamento poderá cair abaixo do valor mínimo.

No solo existem componentes vivos e mortos que competem pelo adubo aplicado. A parte viva, composta pela microflora e pela microfauna, compete com as plantas pelos nutrientes. No entanto, o que é usado por esses microrganismos volta ao solo, quando eles morrem. As frações argila e matéria orgânica também competem com as plantas. O que é fixado por estas frações raramente se torna disponível para as plantas, a menos que as condições de ambiente do solo mudem.

Na maturação os grãos contêm, aproximadamente, 75% do nitrogênio e do fósforo e 60% do potássio absorvidos pela planta. Esta retirada, relativamente elevada, de nutrientes contidos nos grãos, deve ser levada em conta no manejo da fertilidade do solo.

4. Considerações finais

Tudo começa com a semente. A boa semente. A semente de qualidade. A semente é a síntese dos últimos avanços tecnológicos existentes para originar plantas de alto potencial de rendimento.

Estas sementes devem ser colocadas num solo com ambiente favorável, que se constitui de disponibilidade hídrica adequada, temperatura favorável, nutrientes disponíveis em quantidades suficientes e presença de microflora e microfauna amigáveis. Essa semente absorve água, que vai solubilizar as enzimas e iniciar o processo de germinação. Após algum tempo, que será variável de acordo com a temperatura do solo, originará, através da emergência, uma planta vigorosa.

Se a semeadura for realizada na época recomendada preferencial, em que está presente a combinação adequada de fotoperíodo, temperatura e disponibilidade hídrica, a planta se desenvolverá normalmente, com o balanço correto entre a duração das etapas vegetativa e reprodutiva.

Durante a etapa vegetativa, a planta formará estrutura adequada de caule e ramos para, primeiramente, originar área foliar suficiente para interceptar a radiação incidente, número suficiente de ramos necessários para o surgimento de locais de aparecimento das estruturas reprodutivas, os nós. O sucesso da fixação dessas estruturas, flores, legumes e grãos, resultará em alto rendimento de grãos.

Semeadura realizada antecipadamente à época recomendada, devido à grande duração do período vegetativo, resultará em plantas com excessivo desenvolvimento, estatura elevada e muitos ramos, o que determinará acamamento e baixo rendimento. Se a época de semeadura for após a época recomendada, o período vegetativo terá duração insuficiente, a planta apresentará baixa estatura, menor número de ramos e os ramos com poucos nós. Se a essas condições for acrescentada a ocorrência de alta temperatura e deficiência hídrica, o efeito negativo é potencializado, e o rendimento de grãos será muito baixo.

Quando são usadas variedades "piratas", não adaptadas nem testadas nas condições brasileiras, razão pela qual não se conhece o seu comportamento e potencial de rendimento, pode haver sérios prejuízos para o produtor.

O alcance do rendimento potencial só será possível no sistema de produção que começa com o plantio direto de qualidade. Esse inicia com a correção das condições físicas e químicas do solo com insumos de qualidade, e manutenção dessas condições, para produzir palhada, que vai funcionar como proteção do solo da radiação que destrói a microvida. Além disso, vai ajudar a conservar a umidade no solo por mais tempo, permitindo que as plantas mantenham seu turgor e possam, assim, alcançar o tamanho potencial de células, caule, folhas e ramos, produzir e fixar o maior número possível de flores, legumes e grãos. A microflora e microfauna também serão beneficiadas pela maior disponibilidade hídrica do solo.

A palha também funcionará como herbicida, não permitindo ou minimizando a infestação por plantas daninhas. Vai recompor a matéria orgânica e fornecer nutrientes para a solução do solo.

Partindo dessa base qualificada, empregam-se outras práticas de manejo recomendadas, como inoculação das sementes com produto de qualidade e em quantidade suficiente, em uma forma de aplicação que preserve as bactérias, como a inoculação no sulco; uso de semeadeira de precisão, para que as sementes sejam colocadas uniformemente nas fileiras, não permitindo a existência de plantas “dominadas”, que além de produzirem muito pouco, funcionam como invasoras para as plantas normais. As recomendações atuais de diminuição da população de plantas para, praticamente, a metade do anteriormente recomendado (250 a 300 mil plantas por hectare), exigem uniformidade de distribuição das plantas na área para a obtenção de alto rendimento. Resultados de pesquisa também têm mostrado que a diminuição do espaçamento entre fileiras, na maioria das vezes e para muitas cultivares, tem levado ao aumento de rendimento.

5. Referências

AHSLEY, D.A.; ETHRIDGE, W.J. Irrigations effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. *Agronomy Journal*, v.70, p.467-471, 1978.

- BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. Explanations for greater light interception in narrow-vs.-wide-row soybean. *Crop Science*, v.32, p. 198-202, 1992.
- BOARD, J.E.; MARICHERLA, D. Explanation for decreased harvest index with increased yield in soybean. *Crop Science*, v.48, 1995-2002, 2008.
- BOARD, J.E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybeans. *Crop Science*, v. 45, 1790-1799. 2005.
- BOERMA, H.R.; ASHLEY, D.A. Irrigation, row spacing, and genotype effects on late and ultra-late planted soybeans. *Agronomy Journal*, v.74, p.995-999, 1982.
- BOOTE, K.J.; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, TR; PAULSEN, G.M. (EDS.). *Physiology and determination of crop yield*. Madison: American Society of Agronomy. 1994. 601 p.
- BORKERT, C.M. Extração de nutrientes pela soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 14., 1986, Chapecó. *Anais...* Chapecó: EMPASC/EMBRAPA-CNPSO, p.164-5.
- COSTA, J.A. Cultura da soja. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996, 233 p.
- COSTA, J.A.; MARCHEZAN, E. *Características dos estádios de desenvolvimento da soja*. Campinas: Fundação Cargil, 1982. 30p.
- EGLI, D.B. The role of the seed in the determination of yield of grain crops. *Australian Journal of Agriculture Research*, v. 57, p.1237-1247, 2006.
- FLOSS, E.L. *Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê*. Passo Fundo: UPF, 2004.
- FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; PADUA, G.P.; COSTA, N.P.; HENNING, A.A. *Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade*. Londrina:EMBRAPA-CNPSO, 2007. 12 p. (EMBRAPA – CNPSO. Circular Técnica, 40).
- FRANÇA NETO, J.B.; MANDARINO, J.M.G.; ROCKENBACH, S.R.; CARVALHO, P.G.B.; SAKAMOTO, M.M.Y.; ZORATO, M.F.; KRZYZANOWSKI, F.C. Efeito do enrugamento da semente de soja causado por estresses térmico e hídrico durante a fase de enchimento de grãos sobre a qualidade do grão de soja. In: *Resultados de pesquisa da EMBRAPA-SOJA 1993/95*. Londrina: EMBRAPA SOJA, 1997, p.129-130. (EMBRAPA CNPSO. Documentos, 100).
- JOHNSTON, A.E.; MILFORD, G.F.J. *Potassium and nitrogen interactions in crops*. Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire AL52JG. 2009. 8p. Potash Development Association. Disponível em: <http://www.pda.org.uk/notes/tn19.asp?p=y>. Acesso em 05 out 2009.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. *Ciência Rural*, v. 35. n.6. p. 1248-1256, 2005.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. *O controle de qualidade agregando valor à semente de soja*. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 2008a. 11 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 54).

KRZYŻANOWSKI, F.C.; NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. *A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades*. Londrina:EMBRAPA-CNPSo, 2008b. 8 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 55).

MAEHLER, A.R. *Crescimento e rendimento de duas cultivares de soja em resposta ao arranjo de plantas e regime hídrico*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, 2000. 107p.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. *Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos*. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 31 p.

PARCIANELLO, G.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F., RAMBO, L.; SAGIN, K. Tolerância da soja ao desfolhamento afetada pela redução do espaçamento entre fileiras. *Ciência Rural*, v. 34, n. 2, p. 257-364, 2004.

PIRES, J.L.F.; CUNHA, J.R. da; THOMAS, A.L. Fatores promotores de rendimento em modelos de produção para a soja. In: SANTOS, HP dos.; FONRANELI, R.S.; SPERA, S.T.; PIRES, J.L.; TOMM, G.O. (Ed.) *Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto*. EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, RS. 2005. 248 p.

PIRES, J.L.F. *Estimativa do potencial produtivo da soja e variabilidade espacial de área de produção*. Tese (Doutorado – Plantas de Lavoura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, 2002. 136p.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 37., 2009, Porto Alegre. *Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2009/2010*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 144p.

SADRAS, V.O. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Research*, v.100, p.125-138, 2007.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – REGIÃO CENTRAL DO BRASIL – 2009 E 2010. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados : Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p.

TESAR, M.B. (Ed.). *Physiological basis of crop growth and development*. Madison: American Society of Agronomy, 1984. 341 p.

WILCOX, J.R. (Ed.). *Soybeans: improvement, production, and uses, 2nd ed.* Agronomy Monograph no. 16. Madison: American Society of Agronomy, 1987. 888 p.