

Ecofisiologia da Soja

Circular 48 Técnica

Londrina, PR
Setembro, 2007

Autores

José Renato B. Farias

Eng^o Agrônomo, Dr.
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
jrenato@cnpso.embrapa.br

Alexandre L. Nepomuceno

Eng^o Agrônomo, Dr.
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
nepo@cnpso.embrapa.br

Norman Neumaier

Eng^o Agrônomo, Dr.
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
norman@cnpso.embrapa.br

Na atual agricultura globalizada, incrementos nos rendimentos e redução dos custos e dos riscos de insucesso passaram a ser exigências básicas à competitividade. De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima aparece como aquele de mais difícil controle e maior ação sobre a limitação às máximas produtividades. Aliado a isto, a imprevisibilidade das variabilidades do clima confere à ocorrência de adversidades climáticas o principal fator de risco e de insucesso na exploração das principais culturas. Estresses abióticos como a seca, o excesso de chuvas, temperaturas muito altas ou baixas, baixa luminosidade, etc., podem reduzir significativamente rendimentos em lavouras e restringir os locais, as épocas e os solos onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas.

Problemas das mais variadas ordens podem surgir e normalmente surgem durante a safra. Quando se trata de atividade econômica com margens de lucro tão estreitas, como as da atual sojicultura praticada no Brasil, não há espaço para riscos e interpretações dúbias, por mais insignificantes que pareçam. Para que práticas possam ser aplicadas nos momentos em que irão proporcionar máxima eficiência, é necessário bom conhecimento de como a sua lavoura de soja cresce e se desenvolve. A caracterização dos estádios de desenvolvimento da planta de soja é essencial para a descrição dos vários períodos que a lavoura atravessa durante o ciclo da cultura.

A soja é uma importante fonte de divisas para o Brasil, contribuindo com uma parcela significativa das exportações brasileiras. Além disso, inúmeras famílias brasileiras das mais diversas classes econômicas dependem diretamente dos empregos gerados pelo complexo de produção, transporte e industrialização da soja. No entanto, o sucesso de todo esse complexo é ainda hoje extremamente dependente das condições climáticas. A queda na produção de soja no Brasil tem como uma das principais causas a ocorrência de secas, principalmente nos estados do centro-sul do País. Melhor entendimento das exigências climáticas da cultura e das relações da água no sistema solo-planta-atmosfera pode contribuir para a redução dos riscos de insucesso da produção agrícola.

I- Estádios Fenológicos

O uso de uma linguagem unificada na descrição dos estádios de desenvolvimento agiliza o seu entendimento porque facilita a comunicação entre os diversos públicos envolvidos com a soja. Portanto, a metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento deve apresentar uma terminologia única, ser objetiva, precisa e universal, ser capaz de descrever um único indivíduo ou uma lavoura inteira e ser capaz de descrever qualquer cultivar. A metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr & Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro e apresenta todas essas características.

A classificação dos estádios de desenvolvimento da soja, proposta por Fehr e Caviness (1977), identifica precisamente o estágio de desenvolvimento em que se encontra uma planta ou uma lavoura de soja. A exatidão na identificação dos estádios não só é útil, mas absolutamente necessária para pesquisadores, agentes das assistências técnicas pública e privada, extensionistas e produtores, pois facilita as comunicações oral e escrita, uniformizando a linguagem e eliminando as interpretações subjetivas porventura existentes entre esses públicos. A aplicação de agroquímicos em uma lavoura em estágio de desenvolvimento não apropriado pode ter graves consequências (econômicas, ecológicas, sanitárias). Assim, é absolutamente necessário que o agrônomo, que recomenda alguma prática, e o produtor, que irá executá-la, estejam falando a mesma linguagem. A utilização da classificação dos estádios de desenvolvimento da soja permite perfeito entendimento, eliminando a possibilidade de erros de interpretação.

O sistema proposto por Fehr e Caviness (1977) divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são designados pela letra V e os reprodutivos pela letra R. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases do desenvolvimento da planta.

1.1. Estádio Vegetativos

O nó é a parte do caule onde a folha se desenvolve e é usado para a determinação dos estádios vegetativos porque é permanente, enquanto que a folha é temporária, podendo se desprender do caule. Os nós cotilédones são opostos no caule e cada um deles possui (ou possuía) um cotilédone. Para a determinação dos estádios vegetativos (V1 a Vn), os nós cotilédones não são considerados, pois não possuem (ou possuíam) folhas verdadeiras. Os nós imediatamente acima dos cotilédones são os nós das folhas unifolioladas e são, também, opostos no caule e cada um deles, também, possui (ou possuía) uma folha unifoliolada. Nós opostos ocupam a mesma posição no caule e, por isso, são considerados como um nó apenas. Todos os nós acima dos unifoliolados são alternados, ocupam diferentes posições no caule e possuem (ou possuíam) folhas trifolioladas. As folhas jovens possuem folíolos que, no início de seu desenvolvimento, se assemelham a cilindros. Ao se desenvolverem, os folíolos se desenrolam e os bordos se separam até a abertura completa dos mesmos. Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando está totalmente aberta e os bordos dos folíolos da folha do nó imediatamente acima não mais se tocam (Figura 1). A folha apical está completamente desenvolvida quando seus folíolos já se encontram abertos e se assemelham aos das folhas abaixo dela (Neumaier et al, 2000).



Figura 1: Folha de soja com folíolos cujos bordos não mais se tocam.

O estágio vegetativo denominado VE representa a emergência dos cotilédones, isto é, uma plântula recém emergida é considerada em VE. Uma planta pode ser considerada emergida quando encontra-se com os cotilédones acima da superfície do solo e os mesmos formam um ângulo de 90, ou maior, com seus respectivos hipocótilos (Figura 2).

O estágio vegetativo denominado VC representa o estágio em que os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos. Uma planta é considerada em VC quando as bordas de suas folhas unifolioladas não mais se tocam (Figura 3).

A partir do VC, as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas seqüencialmente (V1, V2, V3, V4, V5, V6,...Vn, onde n é o número de nós, acima do nó cotilédono, com folha completamente desenvolvida). Assim, uma plântula está em V1 quando as folhas unifolioladas (opostas, no primeiro nó foliar) estiverem

completamente desenvolvidas, isto é, quando os bordos dos folíolos da primeira folha trifoliolada não mais se tocarem. De modo semelhante, uma planta atinge o estágio V2 quando a primeira folha trifoliolada estiver completamente desenvolvida, ou seja, quando os bordos dos folíolos da segunda folha trifoliolada não mais se tocarem (Figura 4). E assim, sucessivamente, para V3, V4, V5, V6, ... Vn, conforme apresentado na Tabela 1.



Figura 2: Plântulas de soja em estágio VE (emergência).



Figura 3: Plântula de soja em estágio VC (cotilédono).



Figura 4: Planta de soja em estágio V2.

Tabela 1. Descrição sumária dos estádios vegetativos da soja.

Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V...
Vn	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida

Obs:

Nó cotiledonar não é considerado.

Nós unifoliolares são considerados como um nó, já que são opostos e ocupam a mesma altura no caule.

Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando os bordos dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.

I.2. Estádios reprodutivos

Os estádios reprodutivos são denominados pela letra R seguida dos números um até oito e descrevem detalhadamente o período florescimento-maturação. Os estádios reprodutivos abrangem quatro distintas fases do desenvolvimento reprodutivo da planta, ou seja, florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8). Na Tabela 2 são apresentados sumariamente os estádios reprodutivos da soja.

Tabela 2. Descrição sumária dos estádios reprodutivos da soja.

Estádio	Denominação	Descrição
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal)
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento do grão	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grão cheio ou completo	vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura

Obs:

Caule significa a haste principal da planta.

Últimos nós se referem aos últimos nós superiores.

Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando os bordos dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.

A proposta de Fehr e Caviness (1977) não apresenta subdivisões dos estádios de desenvolvimento da soja. Entretanto, para melhor detalhamento do estádio R5, Ritchie et al. (1977) propõe sua subdivisão em cinco sub-estádios:

- R5,1 - grãos perceptíveis ao tato (o equivalente a 10% da granação);
- R5,2 - granação de 11% a 25%;
- R5,3 - granação de 26% a 50%;
- R5,4 - granação de 51% a 75%;
- R5,5 - granação de 76% a 100%.

II- Exigências Climáticas

Dos elementos climáticos, a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja.

II.1. Temperatura

A soja se adapta melhor às regiões onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C sendo que a temperatura ideal para seu desenvolvimento está em torno de 30°C. Recomenda-se que a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo dos 20°C, pois a germinação e a emergência da planta ficam comprometidas. A faixa de temperatura do solo adequada para a semeadura varia entre 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme.

Regiões com temperaturas menores ou iguais a 10°C graus são impróprias ao cultivo da soja, pois nesses locais o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo. Por outro lado, temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam estragos na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos.

Para a produção de sementes de soja com qualidades fisiológicas e sanitárias superiores, são indicadas regiões com temperaturas do ar mais amenas (inferiores a 22°C) durante a fase de maturação da cultura (Costa et al., 1994).

A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada em uma mesma época são devido às variações de temperatura. Assim, a soja floresce antes do tempo quando ocorrem altas temperaturas, o que pode acarretar diminuição na altura da planta. Este problema pode ser agravado se, ao mesmo tempo, ocorrer insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Diferenças de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, num mesmo local, são devido, principalmente, à resposta diferencial das cultivares ao comprimento do dia (fotoperíodo).

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. Quando vêm associadas a períodos de alta umidade, as altas temperaturas contribuem para diminuir a qualidade das sementes e, quando associadas a condições de baixa umidade, predispõem as sementes a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase de maturação, associadas a períodos chuvosos ou de alta umidade, podem provocar atraso na data da colheita, bem como haste verde e retenção foliar.

II.2. Fotoperíodo

A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por esta razão, a soja é considerada planta de dia curto.

A sensibilidade da soja ao fotoperíodo ainda é uma importante restrição para uma adaptação mais ampla da soja. Em função dessa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Na Figura 5 é apresentada a variação do fotoperíodo em função da latitude do local, verificando-se que quanto mais próximo da linha do equador menor é a amplitude do fotoperíodo ao longo do ano. A solução para o problema é a introdução do período juvenil longo. Cultivares que apresentam a característica "período juvenil longo" possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes (locais) e de épocas de semeadura.

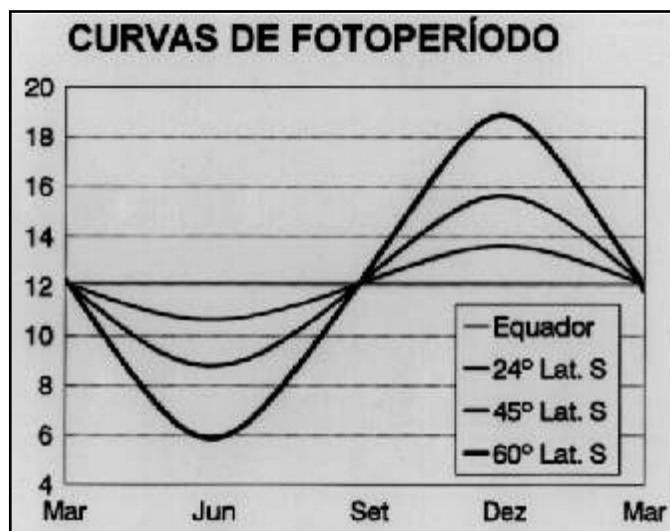


Figura 5: Fotoperíodo (h) ao longo do ano em função da latitude do local.

O período juvenil longo é uma fonte não tradicional de florescimento tardio. Uma cultivar de soja com período juvenil longo permanece vegetativa por mais tempo do que cultivares convencionais quando expostas a dias curtos, mas poderá florescer mais cedo do que algumas cultivares convencionais sob dias longos. Assim, as cultivares com período juvenil longo parecem ser menos sensíveis ao fotoperíodo do que a maioria das cultivares tradicionais. A fisiologia do modo de ação do período juvenil longo é ainda pouco conhecida. Não está exatamente claro como os genótipos que possuem essa característica respondem ao fotoperíodo, nem está claro se a característica induz um período juvenil verdadeiro, isto é, uma fase da planta na qual ela está "inapta a florescer" ou se simplesmente condiciona uma menor sensibilidade ao fotoperíodo, de tal forma que um período fototérmico maior tenha que acontecer para que o florescimento seja induzido. Também não está esclarecido como a temperatura modula a expressão da característica e qual a influência da arquitetura genética nesta relação.

II.3. Água

Apesar do vasto conhecimento para o cultivo da soja, resultando em elevado grau de tecnificação da maioria das lavouras brasileiras, a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento constitui-se, ainda, na principal limitação à expressão do potencial de rendimento da

cultura e na maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro, principalmente, no sul do Brasil. Para exemplificar, somente na safra 2004/2005, as perdas de rendimento de grãos nos estados do RS e do Paraná atingiram mais de 78 e 23%, respectivamente, quando comparadas à safra 2002/2003, onde não ocorreram problemas de seca (Tabela 3). Nas regiões e estados com uma boa distribuição e volume de chuvas, como Mato Grosso, os rendimentos de grãos são mais uniformes, sem perdas expressivas (Tabela 3). Analisando-se a Tabela 4, pode-se verificar que as perdas decorrentes de seca somente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul foram responsáveis por mais de 80% das perdas totais da produção brasileira de soja para a safra 2004/2005. As implicações são enormes uma vez que, não somente produtores, mas toda a sociedade é afetada.

Tabela 3: Variações percentuais da área plantada, produção total e rendimento de grãos de soja observados no Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Brasil, entre as safras 2004/2005 (com problemas de seca) e 2002/2003 (sem ocorrência de secas significativas).

	Área Plantada (1000ha)			Produção (1000 t)			Rendimento (kg/ha)		
	2002/03	2004/05	%	2002/03	2004/05	%	2002/03	2004/05	%
MT	4410	8024	38,6	12719	16991	32,6	2884	2804	-2,8
PR	3819	4082	12,8	10847	8428	-13,9	3025	2310	-23,8
RS	3591	4080	15,9	9679	2811	-75,9	2667	695	-78,8
Brasil	19448	23137	25,42	51484	50230	-2,44	2791	2171	-22,2

Tabela 4: Produção de grãos de soja estimada para safra 2004/2005 (PE2005) em função da área plantada na safra 2004/2005 e dos rendimentos obtidos em 2002/2003, e quebra da safra estimada em 2004/2005 em função da produção obtida nessa safra (Prod2005), no Paraná, Rio Grande do Sul e Brasil.

	Prod. Est. 2005 (t)	Quebra (t)
	Área2005 x Rend2003	PE2005 - Prod2005
PR	12.348.050	2.920.050
RS	10.908.030	8.597.030
Brasil	64.575.367	14.345.367

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se através da planta. Tem, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e na distribuição do calor.

A disponibilidade de água é importante, principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso como a falta de água é prejudicial ao estabelecimento da cultura e à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, sendo o excesso hídrico mais limitante do que o *déficit*. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo disponível e nem ser inferior a 50%.

A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após esse período (Figura 6). Em geral, o consumo mais elevado de água coincide com o período em que a cultura apresenta maiores altura e índice de área foliar. A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo. Como o consumo de água pela cultura da soja depende, além do estágio de desenvolvimento, da demanda evaporativa da atmosfera, o seu valor absoluto pode variar, tanto em função das condições climáticas de cada região como em função do ano e da época de semeadura (condições de tempo) na mesma região climática.

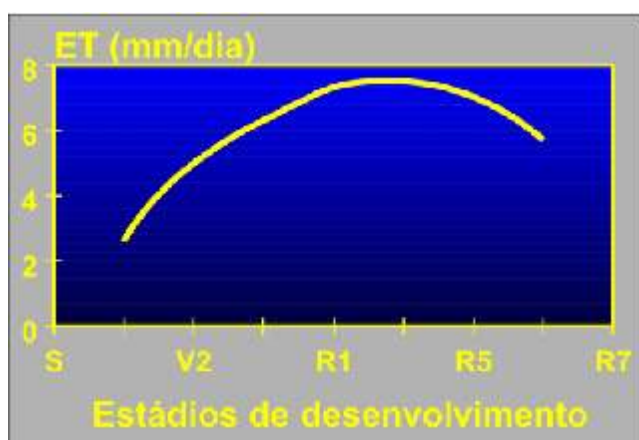


Figura 6: Evapotranspiração (ET) diária da cultura da soja nos diferentes estádios de desenvolvimento. Adaptado de Berlatto et al. (1986).

O conhecimento da evapotranspiração máxima (consumo de água em condições de ótima disponibilidade hídrica no solo) das plantas cultivadas, nos diversos períodos de desenvolvimento e ao longo de todo o seu ciclo, é de grande importância para o manejo da água na agricultura irrigada. Em cultivos não irrigados, essa informação também é muito útil na tomada de decisão sobre a adoção de práticas culturais que permitam melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas naturais de cada região. Um exemplo disso é a definição das épocas de semeadura, de modo a evitar que os períodos críticos, em relação à água, coincidam com períodos de menor disponibilidade de água à cultura.

A distribuição desuniforme da precipitação pluviométrica é limitante à obtenção de altos rendimentos, principalmente durante as fases de maior demanda de água (floração) e mais críticas à ocorrência de déficits hídricos (enchimento de grãos). A cultura da soja, para apresentar um bom desempenho, necessita, além de um volume de água adequado, uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo, satisfazendo suas necessidades, principalmente, durante as fases mais críticas.

Em trabalhos realizados em Londrina-PR, ao longo de 15 safras, avaliando-se diversas cultivares sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, verificou-se que os maiores rendimentos de grãos de soja foram obtidos com 650 a 700mm de água, bem distribuídos em todo o ciclo (Figura 7).

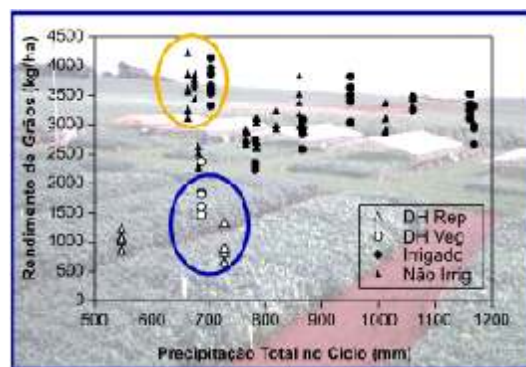


Figura 7: Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante todo o ciclo, em diversas safras, sob condições irrigada, não irrigada e com déficit hídrico (DH) durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg).

Observou-se ainda que nos níveis com aplicação de déficit hídrico durante as fases vegetativa e reprodutiva, apesar do volume total de água durante todo o ciclo ter atingido valores próximos a 700mm, os rendimentos alcançados não foram tão altos em função da má distribuição da precipitação, principalmente, durante a fase mais crítica (período reprodutivo), limitando drasticamente a obtenção de elevados rendimentos de grãos. Por outro lado, o excesso de chuva e dias nublados podem prejudicar a fotossíntese, o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação de nitrogênio, interferir em outros processos e causar várias anomalias no desenvolvimento da soja, reduzindo o rendimento de grãos. O volume de água ideal para atender as necessidades da cultura da soja durante a fase crítica (R1-R6) situou-se entre 120 a 300 mm (Figura 8), bem distribuídos ao longo deste período (variando de 30 a 60 dias, a partir do início da floração, em função da cultivar e das condições climáticas durante a estação de crescimento). Da mesma forma que na Figura 6, observa-se que volumes de água de igual magnitude, porém, muito mal distribuídos, também limitaram a obtenção de altos rendimentos. Desta forma, ficou evidente que, para garantir máximo rendimento de grãos, o volume de água necessário deve ser disponibilizado ao longo de todo o ciclo, a fim de atender as exigências da cultura, podendo ser suprido através da chuva, da irrigação e/ou do armazenamento de água pelo solo.

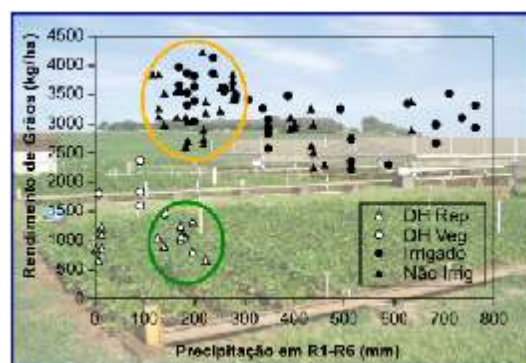


Figura 8: Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante a fase mais crítica à falta de água (R1-R6), em diversas safras, sob condições irrigada, não irrigada e com déficit hídrico (DH) durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg).

Cabe ressaltar que a ausência de chuvas, isoladamente, não significa, obrigatoriamente, ocorrência de déficit hídrico. A planta busca um ajuste entre a absorção de água e a transpiração. O limite a este ajustamento representa o início do déficit hídrico. Toda a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera ocorre em função da demanda evaporativa da atmosfera (DEA), que, em última análise, determina a magnitude da perda de água por transpiração e, conseqüentemente, a necessidade de absorção pelas raízes (Bergamaschi et al., 1999). A transpiração ocorre, então, em função da DEA e, de forma prática, o déficit hídrico tem início quando a transpiração da planta começa a ser limitada pela disponibilidade de água no solo. A capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) é expressa pela diferença entre os limites máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de murcha permanente) de água disponível, multiplicada pela profundidade efetiva do sistema radicular. Solos de textura mais fina (mais argilosos) retêm maior quantidade de água do que solos com partículas mais grossas. Práticas que favoreçam à melhor estruturação do solo e o aprofundamento do sistema radicular contribuem para incrementar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, sua CAD. Em regiões com distribuição irregular das chuvas e elevada demanda evaporativa da atmosfera (caracterizadas pela ocorrência de elevada radiação solar, ventos fortes, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar), a disponibilidade hídrica no solo passa a ser fundamental para assegurar sucesso à exploração agrícola, principalmente, na ausência de irrigação.

O estresse causado por deficiência de água determina a presença de plantas pouco desenvolvidas, de pequena estatura, com folhas pequenas e entrenós curtos. Os tecidos vegetais apresentam-se com aspecto de murchos e os folíolos tendem a “fechar” para diminuir a área foliar exposta. As secas severas, na fase vegetativa, reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar e o rendimento de grãos.

Secas durante o período reprodutivo causam reduções mais drásticas no rendimento de grãos, sendo a ocorrência de déficit hídrico durante o período de enchimento dos grãos mais prejudicial do que durante a floração. Deficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como conseqüência, aumentam a queda prematura de flores e ocasionam o abortamento de vagens e “chochamento” de grãos, com a conseqüente diminuição do número de vagens e o aparecimento de vagens vazias ou “chochas”. O abortamento de vagens não é plenamente compensado pelo número de grãos/vagem e pelo peso do grão, pois esses componentes do rendimento possuem limites máximos geneticamente determinados. Entretanto, alguma compensação no peso do grão é sempre possível, no caso das condições hídricas normalizarem-se a tempo de proporcioná-la. As secas podem diminuir a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos (g/planta/dia) e apressar a maturação, fazendo com que os grãos produzidos sob seca sejam menores. O efeito da ocorrência do déficit hídrico sobre o rendimento da cultura vai depender da intensidade e duração do déficit hídrico, da época de ocorrência, da cultura/cultivar, do estágio de

desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento.

A caracterização dos mecanismos de inibição do crescimento das plantas pelo déficit hídrico constitui um problema de importância e real interesse. A umidade interna das plantas influencia muitos processos fisiológicos. Plantas sob estresse hídrico têm afetadas a absorção de água, a germinação de sementes, o fechamento estomático, a transpiração, a fotossíntese, a atividade enzimática, o metabolismo do nitrogênio e outros processos. A maneira exata pela qual a falta de água afeta o crescimento e desenvolvimento da planta tem sido alvo de muitos debates. Há evidência de que o estresse hídrico afeta o crescimento através de mecanismos diretos e indiretos alterando relações hormonais e nutricionais e a formação de carboidratos. Ao longo da evolução, as plantas desenvolveram mecanismos com os quais têm sobrevivido aos estresses hídricos. Tais mecanismos variam entre espécies e dizem respeito a tolerar, escapar e evitar o déficit hídrico. No primeiro caso, a planta sobrevive sob elevados estresses hídricos internos; no segundo, a planta completa o ciclo antes de períodos de seca; e, no terceiro caso, a planta mantém um potencial elevado de água nos tecidos.

O estresse hídrico prejudica a atividade fotossintética, pelo fechamento estomático e a conseqüente diminuição da assimilação de CO₂. Somente deficiências mais drásticas afetam o processo fotossintético de redução do carbono. Deficits moderados não prejudicam as reações fotossintéticas nos cloroplastos.

Para que uma planta tenha boas condições de sobreviver, em regiões onde há pouca disponibilidade de água, ela deve ser capaz de manter uma condição hídrica superior durante as horas mais críticas do dia, quando a demanda evaporativa da atmosfera é alta, estando isso associado com um sistema radicular bem desenvolvido.

A chuva é a principal fonte de água para a maior parte da produção de soja mundial. Apesar de eficazes, poucos são os agricultores que dispõem de sistemas de irrigação para suplementar as necessidades de água da cultura, em função do elevado custo de tais sistemas. Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de adversidades climáticas, pouco ou quase nada se tem para apresentar como solução ao produtor, sem aumentar seu custo de produção. Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo, semear em época recomendada e de menor risco climático, semear com adequada umidade em todo o perfil do solo e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo (ex.: controle de ervas daninhas, aumento de matéria orgânica, semeadura direta, etc.). Deve-se evitar semear em épocas de risco indicadas pelo zoneamento agroclimático.

Imenso progresso tem sido conseguido na adaptação da soja para a obtenção de altos rendimentos em áreas de baixa latitude. A limitação do fotoperíodo foi eliminada através de seleção cuidadosa e desenvolvimento de germoplasma menos sensível ao fotoperíodo. O baixo pH e a alta disponibilidade de alumínio nos solos foram superados, principalmente, pela calagem. Atualmente, é provável que o principal fator que limita os rendimentos em áreas de baixa latitude

seja a disponibilidade de água nos solos. Os rendimentos são extremamente dependentes da água disponível e, desta forma, provavelmente, será necessário aumentar a disponibilidade de água para atender a transpiração da cultura e, conseqüentemente, obter-se incrementos na produtividade. Maior profundidade do sistema radicular parece ser crítico à obtenção de rendimentos crescentes sob condições limitantes de água. Por conseguinte, aumento na profundidade das raízes, em direção às camadas do solo com baixo pH e alto alumínio disponível é um grande desafio (Sinclair e Purcell, 2002). No sul do Brasil, o maior entrave à expressão de altos rendimentos tem sido a variabilidade na distribuição de chuvas durante o período de primavera-verão (Cunha et al, 1998). Então, no futuro, muito do potencial para obtenção de altos rendimentos, provavelmente, será resultado da maior disponibilidade de água às culturas.

Previsões ambientais sinalizam para o aumento do aquecimento global nas próximas décadas. Alterações climáticas certamente acompanharão esse evento. As dificuldades para alimentar população mundial em crescimento acelerado, usando apenas tecnologias tradicionais, serão imensas. O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes às adversidades climáticas, como por exemplo, à seca, será essencial e a disponibilidade de novas ferramentas de pesquisa, nas áreas de ecofisiologia e biotecnologia vegetal, possibilitam estudar e compreender com maior detalhe os processos envolvidos nas respostas fisiológicas e agrônômicas das culturas. Somente com o investimento crescente e continuado em pesquisa agropecuária é que será possível garantir o alimento em quantidade e qualidade às gerações futuras.

III- Zoneamento de Risco Climático

Definindo áreas menos sujeitas a riscos de insucessos devido à ocorrência de adversidades climáticas, o zoneamento agroclimático da soja constitui-se numa ferramenta de fundamental importância em várias atividades do setor agrícola. Envolvendo várias instituições (MAPA, EMBRAPA, UNICAMP, EPAGRI, IAPAR, FEPAGRO, ANEEL e INMET), o zoneamento agroclimático da cultura da soja procurou delimitar as áreas com maior aptidão climática para o desenvolvimento da cultura, visando à obtenção de maiores rendimentos e menores riscos. Foram definidas as áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de déficit hídrico durante a fase mais crítica da cultura da soja (floração - enchimento de grãos), caracterizadas como favoráveis, intermediárias e desfavoráveis, em função das diferentes épocas de semeadura, das disponibilidades hídricas de cada região, do consumo de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e do ciclo da cultivar.

Para tanto, foram usadas séries pluviométricas de várias estações agrometeorológicas por estado contendo, no mínimo, 20-25 anos de dados diários para cada local. Em todos os estados, foram feitas simulações para várias datas de semeadura (nove ou doze períodos de dez dias cada), nas quais se incluem os períodos recomendados pela pesquisa. Para a espacialização dos resultados, cada valor de E_{Tr}/E_{Tm} (Evapotranspiração Real/Máxima), observado durante a floração e o

enchimento de grãos (período mais crítico ao déficit hídrico), foi associado à localização geográfica da respectiva estação pluviométrica, para posterior elaboração dos mapas, utilizando-se sistemas de informações geográficas. Para definição das áreas de maior ou menor probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na fase mais crítica, foram estabelecidas três classes, de acordo com a relação E_{Tr}/E_{Tm} obtida, com frequência mínima de ocorrência em 80% dos anos:

- favorável ($E_{Tr}/E_{Tm} < 0,65$);
- intermediária ($0,65 > E_{Tr}/E_{Tm} > 0,55$); e
- desfavorável ($E_{Tr}/E_{Tm} < 0,55$).

Posteriormente, para cada estado em estudo, foram elaborados diversos mapas decorrentes da combinação de nove ou doze períodos de semeadura, três tipos de solo (alta, média e baixa retenção de água) e dois ou três ciclos de cultivares (precoce, médio e/ou tardio). Foram rodadas, ao todo, mais de 100.000 simulações, resultado da interação entre estações pluviométricas, ciclo das cultivares, tipo de solo e datas de semeadura nos diferentes estados. Cada um dos mapas representa a combinação de um dos níveis de cada fator acima, isto é, cada mapa representa a classificação das diferentes áreas do estado para uma dada época de semeadura, em função do tipo de solo e do ciclo da cultivar.

Os resultados obtidos foram validados, comparando-se os índices obtidos com séries históricas de rendimento de grãos, área plantada e produção, por município, nos diferentes estados, obtendo-se elevada correlação entre os valores estimados e os observados a campo (Farias et al., 2001).

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os resultados das simulações para cultivar de ciclo precoce, solo de média retenção de água e nove épocas de semeadura, para os estados do Paraná e do Mato Grosso, respectivamente. As áreas favoráveis representam as regiões onde é menor o risco de ocorrência de déficit hídrico durante as fases mais críticas da cultura. As áreas desfavoráveis definem as regiões de alto risco de ocorrência de veranicos, durante as fases mais críticas da cultura da soja. As áreas intermediárias representam as regiões em que o risco é mediano, situando-se entre as duas anteriormente definidas.

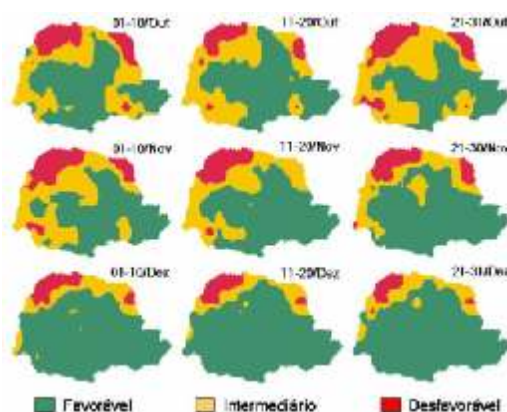


Figura 9. Zoneamento agroclimático da cultura da soja, cultivar de ciclo precoce e solo de média retenção de água, para nove épocas de semeadura, no estado do Paraná.

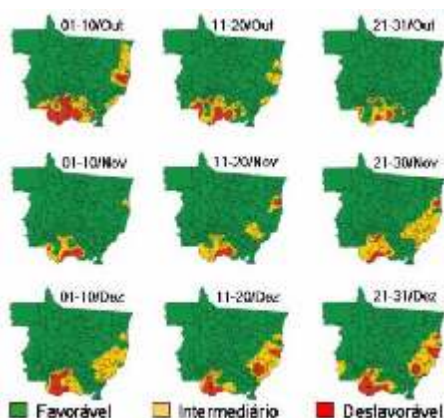


Figura 10. Zoneamento agroclimático da cultura da soja, cultivar de ciclo precoce e solo de média retenção de água, para nove épocas de semeadura, no estado do Mato Grosso.

Regiões com melhores distribuição e volume pluviométrico, como o Mato Grosso, apresentam menor risco à cultura da soja. Solos com baixa capacidade de armazenamento de água (CAD) apresentam-se, em geral, impróprios ao cultivo da soja na maioria das regiões, para os diferentes ciclos das cultivares e épocas de semeadura consideradas. Observa-se, também, que cultivares tardias têm sua época de semeadura favorável, na maioria das regiões, mais cedo que as precoces. No entanto, é importante considerar que semeaduras muito cedo podem resultar em plantas muito baixas, aumentando as perdas na colheita. Apesar desse efeito ser mais drástico nas cultivares precoces, ocorre, também, nas tardias. Semeaduras muito tardias, também deixarão as plantas mais expostas ao ataque de pragas e doenças que migram das áreas semeadas anteriormente e/ou já colhidas.

Os períodos favoráveis não indicam, necessariamente, os períodos de semeadura para obtenção dos maiores rendimentos de grãos, mas sim aqueles em que há menor probabilidade de perdas por ocorrência de déficit hídrico. Deve-se salientar, ainda, que se trata de um zoneamento de risco climático e não de aptidão. Desta forma, nem todos os municípios favoráveis são aptos ao cultivo da soja. Além da disponibilidade hídrica, outros fatores devem ser considerados para avaliar a viabilidade da exploração desta cultura com sucesso numa dada região. Por outro lado, muitas das áreas classificadas como intermediárias podem ser enquadradas como favoráveis, devido a práticas de manejo do solo e da cultura que permitem às plantas superarem curtos períodos de adversidade climática.

Os resultados dos trabalhos de zoneamento não são definitivos, sendo passíveis de mudanças e revisões com o passar do tempo. Deve-se deixar bem claro quais são os impedimentos das áreas de risco, marginais e inaptas, pois o desenvolvimento de novas cultivares ou a adoção de práticas de manejo do solo e/ou da cultura podem reduzir os riscos do cultivo nessas áreas, permitindo às plantas tolerar curtos períodos de adversidade climática.

IV-Referências

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D.C.; CUNHA, G.R.; SANTOS, M.L.V.;

FARIAS, J.R.B.; BARNI, N.A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. 125 p.

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

COSTA, N.P.; PEREIRA, L.A.G.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C. Zoneamento ecológico do estado do Paraná para a produção de sementes de cultivares precoces de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 16, n 1, p. 12-19, 1994.

CUNHA, G.R.; HASS, J.C.; DALMAGO, G.A.; PASINATO, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Água em solos arenosos: estabelecimento de déficit hídrico em culturas. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27.,2005. Cornélio Procópio. **Ata...** Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 147-155. (Embrapa Soja. Documentos, 265).

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, AL; FARIAS, JRB; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja. In: BONATO, E. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p.21-44

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E.R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p.19-44.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 20p. (Special Report, 53).

SINCLAIR, T.R.; PURCELL, L.C. Limitations resulting from abiotic factors, especially inadequate water, on soybean yield in low-latitude areas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2.; MERCOSOJA 2002, Foz do Iguaçu. **Perspectivas do agronegócio da soja: anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 280-91. (Embrapa Soja. Documentos, 180). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Clara Beatriz Hoffmann-Campo.

Patrocínio:



Soluções que valorizam a vida



**Circular
Técnica, 48**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970 - Londrina, PR
Fone: (43) 3371-6000 - Fax: 3371-6100
Home page: <http://www.cnpso.embrapa.br>
e-mail: sac@cnpso.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): tiragem 500 exemplares

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Governo
Federal

**Comitê
de Publicações**

Presidente: Manoel Carlos Bassoi
Secretário Executivo: Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite
Membros: Antonio Ricardo Panizzi, Claudine Dinali Santos Seixas, Francismar Corrêa Marcelino, Ivan Carlos Corso, José Miguel Silveira, Maria Cristina Neves de Oliveira, Rafael Moreira Soares, Ricardo Vilela Abdelnoor

Expediente

Supervisão editorial: Odilon Ferreira Saraiva
Normalização bibliográfica: Ademir Benedito Alves de Lima
Editoração eletrônica: Danilo Estevão