

8. ECOFISIOLOGIA DA SOJA

Clélia Aparecida Iunes Lapera

Max Whendell de Paula Lima

Muriel Silva Vilarinho

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é perfeitamente adaptada às condições brasileiras, dispondo de elevada tecnologia nacional, alcançando produtividades agrícolas em torno de 3.000 a 6.000 kg de soja por hectare, ou seja, de 50 a 100 sacas de 60 kg por hectare. As principais regiões produtoras do Brasil são as que recebem grandes quantidades de energia solar, temperatura e precipitação. Os principais estados são Mato Grosso, maior produtor brasileiro, com produção de 30,514 milhões de toneladas, área plantada com 9,323 milhões de hectares, com produtividade de 3.273 kg /ha; o segundo estado é o Paraná com produção de 19,534 milhões de toneladas, área plantada

com 5,250 milhões de hectares, com produtividade 3.721 kg/ha; e o terceiro produtor o Rio Grande do Sul com produção de 18,714 milhões de toneladas, com área plantada de 5,570 milhões de hectares e produtividade de 3.360 kg/ha (CONAB, 2017). Outros estados expressivos na produção de soja são Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e a região conhecida como “MaToPiBa”, que engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Os altos resultados de produtividade acima apresentados só foram possíveis devido a estudos baseados na interação entre os fatores ambientais e edáficos. O objetivo deste capítulo é apresentar os principais fatores envolvidos na produção de soja em todo o ciclo da cultura.

O termo “ecofisiologia” é interpretado como o estudo de como os organismos funcionam e respondem a mudanças em seus ambientes naturais. É um ramo da fisiologia comparativa que estuda a diversidade fisiológica em relação ao ambiente e suas implicações naturais. Abaixo serão apresentados os fatores que afetam a produtividade e a qualidade da soja.

1 – Fatores genéticos – adaptação ao clima de cultivo; adaptação ao solo de cultivo; ciclo da cultura; retenção de elementos nutritivos; adaptação a pragas e doenças; características físicas do grão (forma, cor e tamanho); características sensoriais do grão (consistência, pigmentação, sabor); composição química do grão e produtividade (SANTOS et al., 2017).

2 – Fatores ambientais – que englobam os fatores climáticos e os edáficos, estão associados ao ambiente de cultivo, como incidência de luz, temperatura e as condições do solo.

2.1 – Os fatores climáticos: A temperatura ideal para o desenvolvimento da soja é entre 20 - 30°C, e em relação a floração é acima de 13°C.

Na maturação, altas temperaturas e excesso de umidade podem contribuir para diminuição na qualidade do grão e, quando associadas a condições de baixa umidade, predisõem a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas à período chuvoso, podem provocar atrasos na coleta da produção, além de haste verde e retenção foliar (EMBRAPA, 2014). A radiação solar está relacionada com a fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, expansão foliar e fixação biológica; para o total de fitomassa seca produzida pela soja, depende da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético (CÂMARA, 2000). Em contrapartida, altas intensidades de radiação solar absorvidas pelas plantas podem levá-las à saturação luminosa, diminuindo a eficiência no uso da radiação e a produtividade da cultura (JIANG *et al.*, 2004; ADAMS; ADAMS, 1992 *apud* SANTOS *et al.*, 2017). A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo. Tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, em outras palavras, diminui a qualidade e produtividade do grão (EMBRAPA, 2014). Porém, segundo Müller (1981 *apud* SANTOS *et al.*, 2017) o excesso de água gera perdas, prejudicando a aeração do solo e causando o apodrecimento das raízes, ou seja, pode diminuir significativamente a produtividade da cultura.

2.2 – Fatores edáficos: Segundo Embrapa (2014), para o desenvolvimento do grão de soja há a necessidade de quantidades ideais de nutrientes como o nitrogênio, potássio, fósforo, enxofre e o cálcio. No caso de deficiência do nitrogênio, resulta em menor quantidade de proteínas e carboidratos estocados, além de afetar o crescimento e florescimento da cultura (MARSCHNER, 1995); a deficiência de potássio, resulta em menor formação de carboidratos, síntese de proteína e resistência à doenças;

a deficiência de fósforo ocasiona menor desenvolvimento vegetativo, produtividade, qualidade e senescência precoce; a deficiência de enxofre resulta em menor síntese de proteína e aminoácidos sulfurados (metionina e cistina); e com a deficiência de cálcio, ocorre a morte das raízes e diminuição do crescimento (MALAVOLTA, 2006). Segundo Oliveira (2007), a ausência de nutrientes prejudica o desenvolvimento da planta e a produção de grãos e, dessa forma, diminui produtividade e a qualidade dos grãos. De acordo com Malavolta (1980), o pH do solo ideal para o cultivo da soja encontra-se na faixa entre 5,9 – 6,5. O pH afeta a disponibilidade de nutrientes no solo, abaixo do ideal, e o aproveitamento de nitrogênio e potássio, por exemplo, diminui; se o solo estiver muito ácido, significa que há um alto teor de alumínio tóxico, o que é prejudicial para o desenvolvimento radicular; comprometendo a produtividade do grão, e se o pH for muito baixo, compromete a produtividade (BRAGA, 2012).

As mudanças meteorológicas de cada região, o tipo de solo, a época de plantio e o ciclo da cultura identificam e permitem agrupar os estádios de desenvolvimento e relacionar as necessidades específicas durante o ciclo da cultura da soja.

A identificação fenológica única, objetiva, precisa e universal facilita a linguagem científica entre o público envolvido com a cultura da soja descrevendo qualquer genótipo. Feher e Caviness (1977) descrevem os estádios de desenvolvimento. A descrição dos estádios de desenvolvimento de Feher e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro por apresentar todas essas características, identificando precisamente o estágio de desenvolvimento em que se encontra uma planta ou uma lavoura de soja. Essa descrição facilita a condução da cultura e minimiza ou mesmo elimina os problemas que poderão surgir durante o ciclo desta.

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. A escala fenológica, subdivide a fenologia em duas grandes fases: vegetativa e reprodutiva.

Em condições favoráveis, a germinação da soja é rápida; a primeira parte romper o tegumento da semente é a radícula e ocorre entre um a dois dias após a sementeira. O desenvolvimento da raiz primária prossegue, de maneira que, entre quatro e cinco dias após a sementeira, surgem as primeiras ramificações laterais e os pelos absorventes. A medida que se verifica o crescimento da raiz, ocorre o alongamento do hipocótilo, formando uma alça ou gancho, que conduz os cotilédones em direção à superfície do solo, caracterizando a emergência epigea da soja (FEHR; CAVINESS, 1977).

Rompida a superfície do solo, afloram os cotilédones e a plúmula (folhas primárias). Em seguida, os cotilédones se abrem, expondo a plúmula à luz solar. A emergência da soja (VE) tem início, normalmente, de cinco a sete dias após a sementeira.

Os cotilédones assumem coloração verde e são os principais responsáveis pela nutrição da plântula, durante aproximadamente duas e três semanas após a emergência. Após a abertura dos cotilédones, o epicótilo, contendo a plúmula em sua extremidade, prossegue o desenvolvimento em altura. Como resultado, observa-se a emissão e a abertura de um par de folhas opostas, também conhecidas como folhas primárias ou unifolioladas (estádio VC), assim denominadas

por apresentarem um único folíolo. A partir da emissão das folhas unifolioladas, a soja passa a formar somente as folhas verdadeiras ou trifolioladas (compostas por três folíolos), com inserção alternada ao longo do caule e dos ramos.

O crescimento das raízes ocorre durante toda a fase vegetativa do ciclo de vida da planta, cessando a partir do início do florescimento. A formação de nódulos tem início normalmente aos 7 a 10 dias após a emergência da planta (estádio VC), tornando-se visíveis e mais capazes de lhe fornecer nitrogênio, a partir do primeiro trifólio expandido (V2). As pragas iniciais da soja (perfuradoras e mastigadoras) atacam a cultura já desde a fase de semente e prosseguem até o estágio V5, podendo causar danos severos ao estande inicial, o que se refletirá em quebra de produtividade. Esta também pode ocorrer devido à infecção de sementes ou das plantas jovens por fungos do solo e do ar. Por isso, antes do plantio, muitos produtores tratam as sementes com fungicidas e inseticidas (NEUMAIER, 2000).

A partir do quarto trifólio expandido, a planta acelera o acúmulo de matéria seca e de nutrientes em sua parte aérea, o que justifica algumas estratégias de manejo adotadas entre os estádios V2 e V4, como, por exemplo, a pulverização foliar de cobalto e molibdênio, essenciais ao processo de fixação biológica do nitrogênio. Também nesses estádios é que se aplica potássio em cobertura e se faz o manejo químico, em pós-emergência, das plantas daninhas. A partir do estágio V6, a cultura da soja torna-se mais atrativa aos insetos desfolhadores (lagartas), devendo-se iniciar o levantamento da população de pragas, por meio de amostragens com o pano de batida, com vistas a efetivar-se o manejo integrado de pragas (FEHR; CAVINESS, 1977).

Tabela 1: Descrição resumida dos estádios fenológicos vegetativos da soja

Estádio		Descrição
Símbolo	Denominação	
V _E	Emergência	Os cotilédones estão acima da superfície do solo
V _C	Cotilédone desenvolvido	Cotilédones totalmente abertos
V ₁	Primeiro nó	As folhas unifolioladas estão completamente abertas
V ₂	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada aberta
V ₃	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada aberta
V _n	Enésimo nó	“Enésimo” nó ao longo da haste principal com trifólio aberto

Fonte: Fehr e Caviness (1977)

O início do florescimento (Tabela 2) da soja é caracterizado pela abertura de uma flor em qualquer nó da haste principal (estádio R1). A partir desse instante, acompanha-se a evolução fenológica observando-se as estruturas reprodutivas da soja: flores, frutos e sementes.

O pleno florescimento (R2), caracterizado pela abertura de várias flores ao longo da haste principal, pode ocorrer simultaneamente; isto é, no mesmo dia do início do florescimento (R1), no caso das plantas com hábito de crescimento determinado, ou entre dois e sete dias após o R1, em plantas com hábito de crescimento indeterminado típico. Não há uma transição definida entre os períodos de florescimento e frutificação. Essa última (R3) inicia-se, conforme o genótipo, entre 7 e 15 dias após o início do florescimento. No estágio R3 as vagens situadas no terço superior da haste principal encontram-se com até 1,5 cm de comprimento. Nessa fase, verifica-se o declínio do florescimento (FEHR e CAVINESS,1977).

Tabela 2: Descrição resumida dos estádios fenológicos reprodutivos da soja

Estádio		Descrição
Símbolo	Denominação	
R ₁	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R ₂	Florescimento pleno	Maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas
R ₃	Início da frutificação	Vagens com 0,5 a 1,5 cm de comprimento no terço superior da haste principal
R ₄	Frutificação plena	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com comprimento de 2 a 4 cm ("carnivete")
R _{5.1}	Início da granação	Até 10% da granação máxima na maioria das vagens localizadas no terço superior da haste principal
R _{5.2}		Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 10 e 25% da granação máxima
R _{5.3}	Média granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 25 a 50% da granação máxima
R _{5.4}		Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 50 e 75% da granação máxima
R _{5.5}	Final da granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 75 a 100% da granação máxima
R ₆	Semente formada ou granação plena	100% de granação. Maioria das vagens no terço superior contendo sementes verdes em seu volume máximo ("vagem gorda")
R _{7.1}	Maturidade fisiológica	Até 50% de folhas e vagens amarelas
R _{7.2}	Maturidade fisiológica	Entre 50 e 75% de folhas e vagens amarelas
R _{7.3}	Maturidade fisiológica	Acima de 75% de folhas e vagens amarelas
R _{8.1}	Desfolha natural	Até 50% de desfolha
R _{8.2}	Desfolha natural	Acima de 50% de desfolha. Aproxima-se o ponto de colheita
R ₉	Maturidade a campo	95% de vagens com a cor da vagem madura

Fonte: Ritchie et al. (1982)

O período de florescimento da soja é relativamente longo (vai de 30 a 40 dias) e superpõe-se ao de formação das vagens e sementes, fazendo com que a planta resista melhor a períodos curtos de estiagem, durante a floração. Não raro, observa-se, em uma mesma axila foliar, presença simultânea de gemas vegetativas, flores abertas ou murchando e frutos em desenvolvimento. O estágio R4 indica a fase em que a maior parte das vagens está formada. Vagens do terço superior da planta (haste principal) se apresentam com 2 e 4 cm de comprimento. Os produtores brasileiros identificam esse estágio como o momento da cultura em que as plantas mostram os “canivetes”. As sementes são formadas por meio do processo de fertilização da oosfera, seguido por divisões e diferenciações, podendo inicialmente serem vistas depois do desenvolvimento da vagem, caracterizando o início da granação da soja (estádio R5.1). O acúmulo de matéria seca nas sementes evolui, atingindo o máximo volume quando se observam as cavidades das vagens verdes totalmente preenchidas por sementes de coloração verde (estádio R6). Entre o início e o máximo volume, o processo de acúmulo de matéria seca pode ser gradativamente quantificado por meio do tato ou da visão, conforme descrevem os subestádios R5.1 a R5.5 (RITCHIE et al., 1982).

As taxas de crescimento das vagens e de acúmulo de matéria seca pelas sementes são relativamente lentas, até cerca de 25 a 35 dias após o início do florescimento. A partir desse momento tornam-se rápidas, ao mesmo tempo em que as vagens e sementes vão perdendo a coloração verde e assumindo a coloração característica do cultivar (pubescência cinza ou marrom). À medida que há transferência de matéria seca para as sementes, ocorre amarelecimento e queda gradativa das folhas. A maturação das sementes consiste em uma série de alterações físicas, morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, verificadas a partir da fecundação do óvulo. Encerra-se quando

a semente, ao atingir o máximo peso de matéria seca, se desliga fisiologicamente da planta e alcança a maturidade fisiológica (estádio R7), caracterizada pelo máximo peso de matéria seca nos grãos. Nesse momento, os grãos assumem coloração amarela e apresentam teores de umidade de aproximadamente 28 a 30%. Atualmente, para facilidade do monitoramento da lavoura, a maturidade fisiológica é subdividida em três subestádios, relativos aos níveis crescentes de amarelecimento de folhas e vagens. Simultaneamente à maturidade fisiológica de uma lavoura, poderá ocorrer a queda natural das folhas. Abaixo de 50% de desfolha, tem-se o estágio R8.1; acima de 50%, o estágio R8.2. O amarelecimento das folhas e das vagens, acompanhado da abscisão foliar, indica desidratação das plantas, vagens e sementes. Quando se observam 95% ou mais de vagens maduras, identifica-se a maturidade a campo (estádio R9). A lavoura poderá ser colhida a partir de 16% ou menos de umidade nas sementes. O crescimento das raízes durante os estádios reprodutivos cessa no R1, para as plantas com hábito de crescimento determinado, e progride até R5.2, para as de hábito de crescimento indeterminado. Entretanto e independentemente do hábito de crescimento, a atividade fisiológica das raízes persiste até o máximo volume de grãos (R6). Simultaneamente ao crescimento radicular, ocorre o aumento da taxa de nodulação das raízes, cujo auge se dá entre os estádios R2 e R6, épocas fenológicas e fisiológicas em que a soja requer maior quantidade de energia, água e nutrientes. Com relação ao manejo, durante a fase reprodutiva da soja, a preocupação maior se refere ao constante monitoramento das pragas aéreas e das doenças desfolhadoras (doenças de final de ciclo, oídio, mela, antracnose e a temida ferrugem asiática) (RITCHIE et al., 1982). No Brasil, a cada nova safra de soja, constata-se que há necessidade de conhecer a fenologia para auxiliar as novas tecnologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procuramos, ao longo deste capítulo, contextualizar algumas informações importantes para aperfeiçoamento de estudos relacionados com a interferência do ambiente, fornecendo algumas opções no que diz respeito à continuidade do estudo de ecofisiologia para o desenvolvimento da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- BORGES, E. Planta de soja no R1. In: **Sistemas de produção soja e milho**. Fundação Rio Verde. Boletim Técnico n. 21, n. 1. 2013, p. 19.
- BRAGA, G. **O pH do Solo e a Disponibilidade de Nutrientes**. Disponível em: <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>. Acesso em: 4 fev. 2018.
- CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. Gil Miguel de Sousa Câmara (editor). Piracicaba: G.M.S. Câmara, 2006, p. 450.
- CÂMARA, G. M. S. **Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção**. 2006. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2018.
- CONAB. Produtividade da Soja: Análise e Perspectivas. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, v. 10, 2017, p. 35.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Ames: State University of Science and Technology**, 1977, p. 11. (Special Report, 80).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, p. 251.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, p. 638.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995, p. 889.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: Bonatto, E. R. (eds.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, cap.1, 2000, p.19–44.
- OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; CASTRO, C.; KEPLER, D. **Fertilidade do solo e nutrição da soja**. 2007. Embrapa. Circular técnica n. 50.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047123/estadios-fenologicos-e-marcha-de-absorcao-de-nutrientes-da-soja>. Acesso em: 5 fev. 2018.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. How a soybean plant develops. Ames, Iowa: **Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension**, 1982, p. 20. (Special Report, n. 53).

SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, B. A.; GOMES, I. F.; GROFF, A. M. **Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja**. 2017. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/1/1-10.pdf. Acesso em: 4 fev. 2018.