

Capítulo 10

---

**Impacto potencial das mudanças climáticas  
sobre as doenças e o desenvolvimento  
da soja no Brasil**

Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion

Raquel Ghini

## Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), originária da China, é intensamente utilizada na dieta alimentar do Oriente há mais de cinco mil anos. O Ocidente ignorou o seu cultivo até a segunda década do século XX, quando os Estados Unidos iniciou sua exploração comercial. No Brasil, a soja foi introduzida no final do século XX e, após ter sido levada para o Rio Grande do Sul, permaneceu como um cultivo marginal no Sul do Brasil até 1960. A primeira referência de produção comercial de soja no País data de 1941, com uma área cultivada de 640 ha, produção de 450 t e produtividade de 700 kg/ha. A partir de 1950, a área cultivada de soja expandiu-se de tal forma que, no contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja foi a que mais cresceu em termos percentuais nos últimos 34 anos. De 1960/69 a 2004, o crescimento da área cultivada foi de 54 vezes (de 0,5 para 21,5 milhões de hectares), o da produção foi de 100 vezes (de 0,5 para 50 milhões de toneladas) e o da produtividade foi de 2,5 vezes (de aproximadamente 1 t/ha para 2,5 t/ha). Em termos mundiais, o crescimento da produção foi da ordem de 333 % nos últimos 32 anos. No Brasil, nos 34 anos analisados, o crescimento da produção atingiu 656 %, e a região Centro-Oeste foi a que mais contribuiu para esse crescimento de 0,206 para 31,72 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2004).

Atualmente, a soja é cultivada em praticamente todo o território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais-tropicais, apresentando em algumas regiões brasileiras médias de rendimento superiores à média obtida nos Estados Unidos (CÂMARA, 1988). As regiões produtoras de soja no Brasil apresentam grande amplitude em suas condições meteorológicas. Como o ambiente pode influenciar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno, certamente modificações deverão ocorrer na cultura nos cenários climáticos futuros. O impacto econômico pode ser positivo, negativo ou neutro, pois as mudanças climáticas podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre os diferentes patossistemas, em cada região (GHINI, 2005). O presente capítulo teve por objetivo discutir os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento de plantas e de doenças da soja no Brasil.

## Desenvolvimento das plantas

A soja adapta-se melhor a temperaturas do ar entre 20 °C e 30 °C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C (EMBRAPA, 2004). A faixa de temperatura do solo adequada para a

semeadura varia de 20 °C a 30 °C, sendo 25 °C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme, mas o menor tempo para emergência da soja é obtido em temperatura constante de 30 °C. Para o crescimento das raízes, as temperaturas do solo de 27 °C a 32 °C são as mais favoráveis. Temperaturas acima de 38°C, no início do crescimento, são prejudiciais, reduzindo a formação de nós e causando o crescimento dos entrenós. A queda de flores e vagens é maior em altas temperaturas e pode causar reduções substanciais na produtividade. Pode também ocorrer florescimento precoce e redução da altura de plantas. Esse problema pode se agravar se houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica, durante a fase de crescimento. Altas temperaturas podem acelerar a maturação e afetar a qualidade dos grãos, favorecendo o aumento no conteúdo de óleo, em detrimento do conteúdo de proteína.

Quando ocorrem temperaturas máximas do ar de 35 °C associadas à intensa radiação solar incidente na superfície do solo, há supraaquecimento (temperatura acima de 55 °C), que pode provocar o tombamento fisiológico ou o cancro-de-calor das plantas que estão nos estádios VE ou VC (escala fenológica de FEHR; CAVINESS, 1977). O problema já foi observado em vários estados brasileiros (Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (NEUMAIER et al., 2000). Existem evidências de que há diferenças entre cultivares quanto à tolerância a altas temperaturas. O conhecimento do comportamento dos diferentes genótipos a condições adversas de temperatura é muito importante por fornecer subsídios para obtenção de genótipos adaptados a tais condições.

Em relação às exigências hídricas da cultura da soja, alguns aspectos devem ser ressaltados. A necessidade total de água para a soja completar o ciclo de desenvolvimento com o máximo rendimento varia entre 450 mm e 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo, que varia de 100 a 120 dias (precoces) até 155 a 160 dias (tardias). As fases consideradas críticas em relação à exigência hídrica são germinação, emergência, floração, formação de vagens e enchimento de grãos. A semente de soja requer 50 % do seu peso em água para iniciar o processo de germinação, sendo, portanto, mais exigente que a maioria das culturas. A necessidade de água vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo de 7 mm/dia a 8 mm/dia durante a floração e o enchimento dos grãos, e decrescendo após esse período. Déficits hídricos expressivos durante a floração e o enchimento dos grãos provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas, e, como consequência dessas alterações, ocorrem queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em

redução do rendimento de grãos. Entretanto, existem autores que consideram a soja bastante resistente à seca, por causa do seu extenso sistema radicular e do seu modo de florescer. O longo período de floração da soja permite que ela escape de curtos períodos de seca, pois a falha em fixar as vagens devido à seca pode ser compensada por sua ótima fixação em consequência do aparecimento de flores mais tardias, durante um período de boas condições de umidade do solo. Portanto, o período mais crítico em relação à água é durante o crescimento dos grãos.

Verifica-se, portanto, a existência de uma interferência significativa de temperaturas elevadas e déficits hídricos no desenvolvimento da cultura. A tendência de aumento de temperatura, fator climático de difícil controle, até 2080, - de 25,6 °C para 31,2 °C (cenário A) e 30,0 °C (cenário B) no mês de outubro, em média, no Brasil; e para 25,4 °C (cenário A) e 27,6 °C (cenário B), no mês de março - pode trazer alguns prejuízos diretos à produção de soja. As temperaturas dos meses de outubro a fevereiro/março, principal época de cultivo de soja no Brasil, previstas para 2080, no geral não excedem demasiadamente os valores considerados ideais para o cultivo da soja (20 °C a 30 °C). As regiões mais afetadas pelo aumento de temperatura seriam o Norte e o Centro-Oeste brasileiros. Atualmente, a região Norte é pouco expressiva na produção de soja, porém o Centro-Oeste constitui-se na principal região produtora, com participação de cerca de 40 % a 45 % da produção nacional. Embora essas considerações estejam sendo efetuadas com base nas temperaturas médias dos meses de outubro a março, seria importante uma análise detalhada com base nas temperaturas extremas, uma vez que pequenos períodos diários de temperaturas elevadas podem provocar danos irreversíveis como o cancro-de-sol (NEUMAIER et al., 2000) e a redução de quantidade e, principalmente, de qualidade de grãos e de sementes.

Em relação às condições hídricas, observa-se que, embora estejam previstas para o ano 2080 reduções das precipitações diárias na região Centro-Oeste, nos meses de janeiro e fevereiro (meses em que ocorrem o florescimento e o enchimento dos grãos na maioria das cultivares recomendadas), os valores atingiriam os 7 mm a 8 mm diários necessários para o bom florescimento e o enchimento dos grãos. A mudança mais drástica será observada na região Sul, na qual as precipitações nos meses de janeiro e fevereiro estariam muito abaixo da faixa considerada ideal. A necessidade de água para a cultura da soja (450 mm/ciclo a 800 mm/ciclo) varia de acordo com as outras condições climáticas, como a temperatura. Como existe a previsão de elevação de temperatura até 2080, provavelmente haveria um aumento da necessidade de água para a cultura que, se faltar, pode resultar em quebra de produtividade. Associando-se ainda essas previsões sobre

clima com a tendência de expansão de cultivo da soja para áreas de solos arenosos do Rio Grande do Sul, os prejuízos poderiam ser ainda maiores.

Por outro lado, há indicativos de que existem genótipos com comportamentos diferenciais em relação às condições climáticas, o que pode ser explorado de forma positiva nos programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares adaptadas às condições climáticas previstas para 2080. Porém, é importante salientar que as cultivares de soja apresentam um potencial de rendimento máximo determinado geneticamente. Esse potencial genético só pode ser expresso em sua plenitude sob condições ótimas que, em ambientes naturais de lavoura, praticamente não existem.

O aumento da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico pode alterar o desenvolvimento das plantas de soja. Os dados, obtidos a partir de amostras de bolhas de ar capturadas pelo gelo polar e retiradas em diferentes profundidades das geleiras, demonstram que, durante os últimos 650 mil anos, a concentração de  $\text{CO}_2$  não excedeu 300 ppm em volume (SIEGENTHALER et al., 2005). Após a Revolução Industrial, os valores têm apresentado significativos aumentos. De 1995 a 2005, a taxa média de aumento foi de 1,9 ppm por ano e atingiu 379 ppm no final do período (IPCC, 2007). Para a planta, se não ocorrer deficiência de outros fatores, a alteração representa significativos benefícios por causa do aumento da taxa fotossintética e maior eficiência no uso da água, pois ocorre maior permanência dos estômatos fechados (IDSO; IDSO, 1994). Diversos trabalhos relatam o aumento no desenvolvimento e na produtividade da soja com o aumento da concentração do gás (ALLEN JÚNIOR; BOOTE, 2000; PRITCHARD; AMTHOR, 2005). Tal estímulo também deve ser levado em conta na análise dos impactos das mudanças climáticas, pois pode alterar o ciclo da cultura e compensar os danos causados pelas doenças.

## Doenças da soja

Um dos fatores que interfere na produtividade da soja é a sua associação com vários patógenos, em diferentes estádios de desenvolvimento. A incidência e a severidade de doenças em soja dependem do grau de associação entre a planta e os agentes causais de doenças, sob a influência do ambiente.

Mais de 100 patógenos afetam a soja, mas 35 têm importância econômica. Aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus já foram constatadas no Brasil, porém a importância econômica que elas assumem pode variar de ano para ano e de região para

região, dependendo das condições climáticas. Além das doenças constatadas no Brasil, outros patógenos foram relatados em associação com a soja em várias regiões sojícolas do mundo, representando ameaças para as áreas isentas.

Apesar de numerosa a relação de doenças constatadas no Brasil, apenas algumas marcaram de forma significativa a recente história da soja no País, pelos milhões de dólares de prejuízos. Até a década de 70, praticamente não havia grandes preocupações em relação a doenças, sendo o controle químico considerado prática inviável economicamente. Na década de 70, a mancha-olho-de-rã (*Cercospora sojina*) constituiu-se em alerta aos agricultores do Sul do País. Em 1987/1988, as atenções dos agricultores e pesquisadores voltaram-se para o cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*); em 1992, o nematóide-de-cisto (*Heterodera glycines*) foi alvo de preocupações. Em 1995/1996, o oídio (*Erysiphe diffusa*) ocorreu em praticamente todas as regiões agrícolas brasileiras; e a mais recente preocupação é a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*).

As condições climáticas têm influência marcante na ocorrência de epidemias dessas doenças. Desde sua constatação no Brasil, na safra de 2001/2002, a severidade da ferrugem-asiática tem variado de ano para ano e de região para região, em função da existência de condições favoráveis. Na safra de 2003/2004, a ferrugem-asiática provocou prejuízos elevados em quase todas as regiões brasileiras. A safra de 2004/2005 foi marcada por prejuízos devidos à prolongada estiagem em vários estados brasileiros, grandes produtores. Por causa da seca, a incidência de ferrugem foi menor. Em campos de produção de sementes, instalados nos meses da entressafra (outono/inverno) em que predominam temperaturas amenas e a água é fornecida por irrigação, imprescindível aos cultivos dessa época, a preocupação tem sido o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*).

Analisando-se algumas doenças foliares, pode-se sugerir que a expectativa de aumento de temperatura e de redução das precipitações até 2080, a princípio e de forma geral, desfavorece o desenvolvimento da ferrugem-asiática. Porém, deve-se considerar que poucas horas com temperaturas de 20 °C a 25 °C, molhamento foliar e ausência de luz permitem a germinação dos uredosporos e o estabelecimento da doença. Essa combinação favorável, com certeza, ocorrerá em alguma região, em alguma época, por causa da diversidade de clima existente no Brasil, mesmo se forem consideradas as mudanças climáticas previstas. E, mesmo que as mudanças climáticas sejam drásticas, em níveis que prejudicariam o desenvolvimento da doença, há que se considerar que já se constatou variabilidade genética do patógeno, sendo perfeitamente possível o aparecimento de novas raças, mais adaptadas às condições climáticas de

2080. Esse raciocínio pode ser estendido a todos os patógenos que apresentam variabilidade. Por exemplo, *Cercospora sojina* (mancha-olho-de-rã) também possui capacidade de desenvolver raças (25 delas já foram identificadas no Brasil).

As podridões radiculares desenvolvem-se melhor em temperaturas mais elevadas e, desde que ocorram condições de alta umidade no solo, resultantes da presença de camadas de compactação, essas poderão ser os futuros alvos de preocupação, como já ocorreu com a mancha-olho-de-rã, o cancro-da-haste, o nematóide-de-cisto, o oídio e a ferrugem-asiática.

Em Ontário, Canadá, Boland et al. (2004) realizaram uma análise dos impactos das mudanças climáticas sobre as doenças de diversas culturas, entre elas, a soja. Os cenários previstos para essa região diferem consideravelmente dos previstos para o Brasil. Embora com grande variabilidade regional e sazonal conferindo alta incerteza, há expectativa de aumento da precipitação nos próximos 100 anos. A temperatura média anual deverá aumentar 3 °C, com maiores aumentos no inverno que no período de verão. Com essas condições, os autores afirmam que poderá ocorrer aumento da duração das epidemias de podridão-parda-da-haste (*Phialophora gregata*), míldio (*Peronospora manshurica*), cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum*), oídio (*Erysiphe diffusa*), podridão-de-*Phytophthora* (*Phytophthora sojae*), tombamento (*Rhizoctonia solani*), síndrome-da-morte-súbita causada por *Fusarium solani*, mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e nematóide-de-cisto (*Heterodera glycines*). Apesar do aumento da duração da epidemia, foi prevista redução na taxa de progresso da doença para a podridão-parda-da-haste, o míldio, o cancro-da-haste, o oídio, a morte-súbita causada por *Fusarium solani* e o mofo-branco. Para as demais (podridão-de-*Phytophthora*, tombamento-de-*Rhizoctonia* e nematóide-do-cisto), foi previsto aumento na taxa de progresso da doença.

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico pode também alterar a relação das plantas com fitopatógenos e outros microrganismos. Finn e Brun (1982) verificaram aumento da atividade total de nódulos de *Bradyrhizobium japonicum* em planta de soja submetida a tratamento em atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub> (1020 ± 30 µL.L<sup>-1</sup>), por 16 dias, em câmara de crescimento. Entretanto, a atividade específica, por grama de peso de matéria seca de nódulos, não foi alterada, indicando que o aumento da atividade total foi consequência do maior crescimento da planta nessas condições. Quando se realizou o tratamento por curto período de tempo (36 horas), não foram observadas diferenças entre as plantas quanto à atividade dos nódulos. Em trabalho realizado em estufas de topo aberto (*open-top chambers*), instaladas em Jaguariúna, SP, na safra de 2005/2006, Ghini

(dados não publicados) observou aumento na produção de nódulos em plantas de soja (cultivar Embrapa 48) submetidas à concentração média de 580 ppm de CO<sub>2</sub>. Não houve diferença na altura das plantas. Quanto à severidade de oídio nas folhas primárias, notou-se que, nas estufas com a injeção de CO<sub>2</sub>, houve redução da área foliar lesionada e do número de plantas doentes quando comparadas com estufas com atmosfera atual, porém houve maior produção de conídios do patógeno.

## Considerações finais

As considerações feitas neste capítulo sobre o impacto das mudanças climáticas nas doenças de soja são de ordem geral. São muitas as variáveis envolvidas, que podem interferir tanto no desenvolvimento da soja como na incidência e severidade de doenças. Para se ter noção da amplitude das variáveis envolvidas no cultivo da soja no Brasil, considere-se que são cerca de 400 cultivares brasileiras recomendadas, com características diferentes quanto ao ciclo, à arquitetura de plantas, à rusticidade, à adaptabilidade a diferentes condições ambientes, à tolerância a pragas e doenças, etc. Some-se a isso o fato de a soja ser cultivada em uma diversidade de clima e de solo característica da extensa área de cultivo (desde altas latitudes do Rio Grande do Sul até os estados do Norte e do Nordeste, localizados próximos à linha do Equador). Considere também que existem cultivos sendo realizados no outono/inverno em várias regiões brasileiras.

Provavelmente, as mudanças de temperatura e de precipitação, previstas para 2080, interferirão no período de molhamento foliar, que em muitas doenças da soja é determinante para a infecção do patógeno. As mudanças de cada componente do clima, isoladamente, a interrelação dos vários fatores do clima, a variabilidade genética existente em vários patógenos associados à cultura da soja e a interferência do homem nos sistemas agrícolas resultam na formação de um sistema de alta complexidade, que exige análise minuciosa do impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de soja.

## Referências

ALLEN JÚNIOR, L. H.; BOOTE, K. J. Crop ecosystem responses to climatic change: soybean. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate change and global crop productivity*. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p.133-160.

BOLAND, G. J.; MELZER, M. S.; HOPKIN, A.; HIGGINS, V.; NASSUTH, A. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, Ottawa, v. 26, p. 335-350, 2004

CÂMARA, G. M. S. *Soja: tecnologia da produção*. Piracicaba: ESALQ, 1998. 293 p.

EMBRAPA SOJA. *Tecnologias de produção de soja/Região Central do Brasil 2005*. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 239 p.

FEHR, K. W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Ames, Yowa: Yowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FINN, G. A.; BRUN, W. A. Effect of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. *Plant Physiology*, Rockville, MD, v. 69, n. 2, p. 327-331, 1982.

GHINI, R. *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

IDSO, K. E.; IDSO, S. B. Plant responses to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 69, n. 3/4, p. 153-203, 1994.

IPCC. *Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers*. Geneva, 2007. 18 p. (IPCC. Assessment report, 4). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2007.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.) *Estresses em soja*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 45-66.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. *Crops and environmental change*. New York: Food Products Press, 2005. 421p.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F.; MONNIN, E.; LÜTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J. M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. *Science*, Washington, v. 310, p. 1313-1317, 2005.