

MODELO TEÓRICO PARA A COMPREENSÃO DA INTERAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Najla Kauara Alves do Vale¹
Klaus de Oliveira Abdala²

RESUMO

O presente artigo apresenta um modelo teórico sobre a interação das variáveis que exercem uma influência direta sobre a produtividade da soja, tendo adotado como parâmetros o clima, as tecnologias de processo, decorrentes das práticas de gestão no sistema da produção de soja, e tecnologias de produtos, dadas pelos insumos aplicados no processo produtivo. Para fundamentar a análise foram utilizadas pesquisas bibliográficas destinadas a levantar as informações técnicas necessárias, as quais foram inseridas em um modelo dinâmico de inferência lógica, permitindo propor um arquétipo para análise da interação dessas variáveis na produtividade da soja.

Palavras-chaves: Fatores ambientais, déficit hídrico, tecnologias

THEORETICAL MODEL FOR THE UNDERSTANDING OF INTERACTION BETWEEN VARIABLES THAT INTERFERE IN SOYBEAN PRODUCTIVITY

ABSTRACT

This article presents a theoretical model about the variables that exert a direct influence on soybean productivity. Having adopted the climate and process technologies as parameters, given by the management practices of the soy production system and product technologies, given the inputs applied in the production process. In order to base the analysis, bibliographical research were used to obtain the necessary technical information, which was inserted in a dynamic model of logical inference, allowing to propose an archetype to analyze the interaction of these variables in the soybean yield.

Keywords: Environmental factors, water deficit, technologies.

Recebido em 06 de agosto de 2018. Aprovado em 21 de setembro de 2018.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine Max*) é uma leguminosa herbácea anual, cujo alto teor proteico de seus grãos (38%) e a ampla adaptação aos diversos componentes do meio natural, fruto de investimento intensivo em tecnologia, a colocam entre as principais matérias-primas para produção de proteína alimentar no mundo, sendo a espécie mais cultivada para esta finalidade. A cultura soja é empregada ainda como forrageira na alimentação animal e adubo verde, para fins de fertilização orgânica dos solos. O óleo extraído do seu grão é utilizado na alimentação humana, na produção de biodiesel e de lubrificantes. O farelo é importante na alimentação humana e animal e na fabricação de produtos (BEZERRA et al., 2015).

Em virtude da grande importância da soja na alimentação humana e animal, e das suas inúmeras aplicações industriais, a demanda pelo seu grão é cada dia mais crescente. Segundo Hirakuri & Lazzaroto (2014), a estruturação do mercado internacional e a consolidação da soja como importante fonte de proteína, especialmente para atender a demanda dos setores ligados à produção de produtos de origem animal, fizeram com que a produção da oleaginosa apresentasse um crescimento expressivo.

O Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo da soja devido ao progresso contínuo dessa cadeia produtiva no país, esse fato torna a cultura uma das principais responsáveis por provocar importantes mudanças no uso do solo. A adaptação às condições edafoclimáticas, os ganhos genéticos em produtividade, o crédito agrícola, a evolução tecnológica, proporcionam condições a consolidação da soja em diferentes biomas nacionais, alavancando a produção de soja no Brasil (BEZERRA et al., 2015).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2015), o Brasil possui perspectivas para o aumento da produtividade de grãos, principalmente da soja, devido ao quantitativo de terras agricultáveis do País. Essa disponibilidade de terras, aliada ao desenvolvimento tecnológico, a pesquisas na área de climatologia e um bom planejamento do setor agrícola, permite o acréscimo da sua produção.

O progresso da sojicultura no País ocorreu em virtude da boa aclimação das cultivares, introduzidas às condições do sul do Brasil, consideradas semelhantes àsquelas de origem da espécie. A produção de soja em larga escala teve início, no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, a partir de 1950, a partir de então essa leguminosa se expandiu para o Sudeste, o Norte, o Nordeste e o Centro-Oeste. (EMBRAPA, 2011).

Ao longo da década de 1990, a agricultura brasileira consolida a expansão da fronteira agrícola, caracterizada pela ampliação da utilização da terra e mudanças nos padrões tecnológicos empregados. A expansão dessas fronteiras aconteceu, principalmente, em direção às regiões Centro-Oeste e Norte, incitada pela demanda por produtos destinados à exportação, especialmente soja, açúcar e aves (PRADO; MIZIARA & FERREIRA, 2012).

Na região Sul do País, o avanço da sojicultura ocorreu pela incorporação de áreas de outros cultivos e pastagens, além da inserção da cultura em sistemas de produção da qual ela não fazia parte. Na região Centro-Oeste, a soja tem tido avanço mais significativo, sobretudo nas extensas áreas de pastagens degradadas, pela incorporação dessas terras para a produção exclusiva de grãos (HIRAKURI & LAZZAROTO, 2014).

Apesar do cenário de expansão horizontal (área) e vertical (produtividade), é possível identificar na literatura um conjunto de parâmetros que influenciam direta ou indiretamente na manifestação da produtividade da soja, podendo agrupá-los em duas categorias: as de ordem natural, como o clima e as características do solo e as de ordem artificiais, como insumos, maquinários e tecnologias.

Nesse contexto, o presente artigo arquitetou um modelo lógico com a finalidade de compreender as interações entre as principais variáveis responsáveis pela manifestação da produtividade potencial da soja ao longo do processo de cultivo. O modelo proposto neste trabalho discorre sobre as situações de ordem natural e artificiais e constitui referência para análise de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da cadeia produtiva da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo consiste no instrumento de processamento de informações, representando um conjunto ordenado de hipóteses sobre determinado sistema. É uma tentativa de simplificação representativa para entender algum aspecto do mundo infinitamente variado, ou seja, um conjunto de observações gerais, aplicáveis a um problema em questão, constituído por uma soma de suposições e aproximações estruturadas, visando representar o comportamento do sistema sobre determinadas condições, empregando-o para comparar e prognosticar possíveis alternativas de serem simuladas (MEADOWS et al., 1972).

A metodologia adotada foi a de pesquisa bibliográfica, no portal da Capes (SciELO), de natureza qualitativa e inferência lógica, com foco na área de conhecimento das ciências agrárias a qual procurou resgatar trabalhos desenvolvidos sobre a cultura da soja.

Adotando-se a premissa de que as tecnologias de processo – dadas pelas práticas de gestão do sistema da produção de soja – e de produtos – dadas pelos insumos aplicados no processo produtivo – podem ser tratadas como um pacote tecnológico, e sob a hipótese de que tal pacote se aprimora ao longo do tempo, é possível simplificar o sistema, reduzindo-o às variáveis de interesse da análise proposta.

No Quadro 1 encontra-se a representação das seis variáveis que foram utilizadas no arquétipo do modelo, com a explanação dos significados de cada uma, segundo os autores pesquisados.

Quadro 1 – Fatores críticos e de sucesso na produtividade da soja

Parâmetros	Variáveis determinantes	Significado
Artificiais	Tecnologias	As tecnologias para aumentar a produtividade consistem em: a) uso de cultivares melhorados geneticamente e diferenciados quanto à resistência a doenças, ciclos vegetativos e exigências de fertilidade do solo; b) distribuição espacial e temporal das cultivares; c) intensificação nos tratamentos químicos de controle de ervas, pragas e doenças em situações climáticas adversas. d) intensificação do uso de fertilizantes e corretivos, em resposta às exigências dos cultivares.
Naturais	Déficit hídrico	Reduz o armazenamento de água no solo, sendo um dos responsáveis pelas variações das perdas na cultura da soja;

		por sua vez, a falta de água dificulta o desenvolvimento radicular da planta.
	Excesso hídrico	Causa queda na produtividade de soja, pois reduz o potencial hídrico foliar, provocando fechamento estomático, o que prejudica a fotossíntese e reduz o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação do nitrogênio no solo.
	Temperatura	A temperatura ideal para o crescimento e desenvolvimento da soja está em torno de 30° C. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10° C, enquanto temperaturas acima de 40° C reduzem a taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e, por conseguinte, diminuem a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos.
	Fotoperíodo	É uma variável do ambiente que interfere tanto no crescimento como no desenvolvimento das culturas e a soja é uma planta de dia curto, isto é, só há indução ao florescimento quando exposta a uma condição em que o número de horas de luz (fotoperíodo) seja menor ou igual a uma fotoperíodo crítico máximo. Com a tropicalização da soja, o fotoperíodo está perdendo importância.
	Radiação	Estimula a cultura a processar os recursos do ambiente, ocasionando a maior produtividade dos grãos. A completa interceptação de luz maximiza o potencial de fotossíntese diária e, portanto, a soja, no período de crescimento e desenvolvimento, utiliza a interceptação da radiação como estratégia para aumentar a produtividade dos grãos.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2015), Embrapa (2011) e Bottega et al. (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão das literaturas elaborou-se um arquétipo de modelo das interações entre as variáveis selecionadas que influenciam a produtividade, conforme exposto na Figura 1, demonstrando que, para obter expressivos ganhos de produtividade, a cultura da soja é

condicionada à influência das variáveis tecnológicas e das ambientais: variabilidade pluviométrica, temperatura, radiação solar, fotoperíodo, pragas e doenças. Os conectores representados pela cor roxa estabelecem a conexão entre as variáveis. A seta contínua apresentada no arquétipo do modelo indica que novas tecnologias foram inseridas em todas as etapas da cultura da soja e estas foram se transformando à medida que as necessidades dos produtores e das pesquisas foram evoluindo

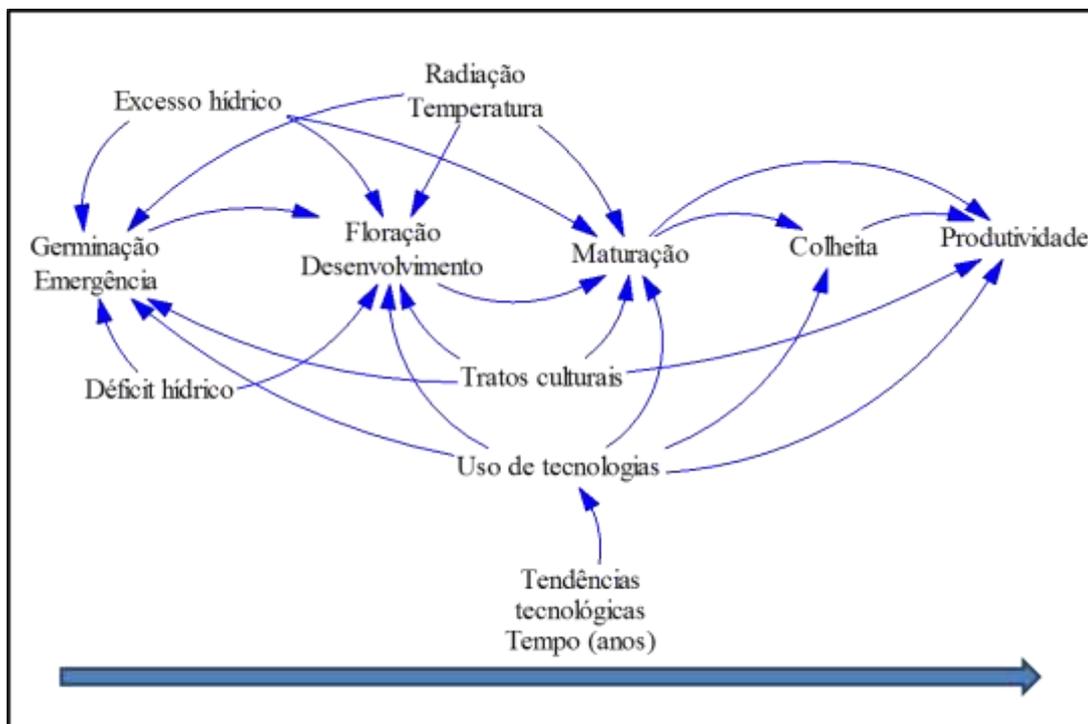


Figura 1 – Arquétipo do modelo representativo da influência das variáveis climáticas e das tecnologias na produtividade da soja.
 Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Os conectores ligam o déficit e o excesso hídrico nos estádios vegetativos e reprodutivos da soja, representando a influência do aumento ou redução nos valores dessas variáveis, caso ocorra o excesso ou o déficit de água durante essas fases, a obtenção de uma boa uniformidade da população de plantas fica prejudicada. A radiação e a temperatura adequada propiciam uma boa qualidade das sementes de soja. Na fase de maturação, a produção de grãos depende de uma grande quantidade de radiação solar, permitindo que a cultura aproveite ao máximo os recursos do ambiente, o excesso hídrico nesse período ocasiona queda na produtividade. As tecnologias empregadas no último estágio da produção (colheita) propiciam baixos índices de perdas.

Segundo Tavares et al. (2013), o efeito da ocorrência do déficit hídrico sobre o rendimento da cultura depende de sua intensidade e duração, da época de ocorrência, da cultura/cultivar, do estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento. A cultura da soja, apesar de ser tolerante a curtas deficiências hídricas, possui queda significativa nos rendimentos perante as longas. As secas severas, na fase vegetativa, reduzem o crescimento da planta, a área foliar e o rendimento de grãos, no 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. Já o excesso hídrico causa queda na produtividade de soja, pois reduz o

potencial hídrico foliar, provocando o fechamento estomático, o que prejudica a fotossíntese e reduz o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação do nitrogênio no solo (FERRARI, PAZ E SILVA, 2015).

O solo é o armazenador de água para as plantas, auxiliando a regular o ciclo hidrológico do ambiente. O déficit hídrico reduz a capacidade de armazenamento de água no solo, sendo um dos responsáveis pelas variações das perdas na cultura da soja; por sua vez, a falta de água dificulta o desenvolvimento radicular da planta. O tipo de solo e a sua condição física (textura, porosidade, presença ou não de compactação) apresentam grande influência na capacidade de armazenar água. Outro aspecto importante é que o déficit hídrico possui uma estreita relação com altas temperaturas, principalmente, noturnas (CÂMARA, 2015).

Ademais, é necessária a temperatura correta para regular o desenvolvimento reprodutivo das plantas e radiação para fornecer a energia para os processos de fotossíntese, provendo um bom crescimento das plantas (HOOGENBOOM, 2000). Conforme exposto na figura 1 os conectores estabelecem uma relação entre a radiação e temperatura nas fases vegetativa e reprodutiva da cultura.

Além dos fatores climatológicos, outros fatores naturais influenciam a produtividade da cultura, porém, eles são indiretamente influenciados pelos climatológicos, estando as doenças entre os que mais limitam a produtividade da soja. De acordo com a Embrapa (2011), a importância econômica de cada doença varia de ano a ano e de região para região, dependendo das condições climáticas de cada safra.

O fluxo do arquétipo do modelo (Figura 1) demonstra que as tecnologias são empregadas em todas as fases da cultura da soja. Na implantação e condução da cultura da soja em determinado local, a primeira etapa para garantir seu bom rendimento consiste na utilização de cultivares melhoradas, capazes de expressar alta produtividade, boa resistência e tolerância a fatores adversos, representando, segundo Bulegon et al. (2016), uma das mais significativas contribuições à eficiência do setor produtivo. Além disso, há a escolha de práticas de manejo compatíveis com a produção econômica, a saber: semeadura na época recomendada para a região de produção; tratos culturais, como o uso de espaçamento e densidade adequados a essas cultivares; o monitoramento e o controle das plantas daninhas, pragas e doenças (MATSUO; LOPES & SEDIYAMA, 2015).

Na fase de pré-plantio, é necessário definir o sistema de cultivo, a aplicação de herbicidas e inseticidas e manter o controle fitossanitário para evitar o ataque de microrganismos que competem por água e nutrientes na fase inicial das plantas de soja. Na fase do plantio, são empregadas diversas estratégias para evitar os problemas diretos e indiretos decorrentes da variabilidade de precipitação, como: definição da época de semeadura, tratamento das sementes, plantio direto, plantio de diversas cultivares. Câmara (2015) ressalta que o sucesso de uma cultura se inicia pelo uso de semente de boa qualidade. Desse modo, pode-se considerar a semente como o mais importante insumo agrícola e cabe ao agricultor verificá-las cuidadosamente antes de adquiri-las.

O preparo da área de produção aumenta a eficiência operacional das práticas agrícolas, estabelecendo um sistema viável economicamente. Dentre as técnicas utilizadas para aumentar a produtividade da soja está a utilização do plantio direto que consiste na colocação da semente em sulco ou cova de solo não revolvido, com largura e profundidade suficientes para obter cobertura adequada e permitir bom contato da semente com o solo. Considerando a produtividade e o custo semelhante, o plantio direto oferece mais proteção do solo contra variações de temperatura, economia de tempo, bem como melhor desempenho nas fases iniciais da cultura em comparação ao plantio convencional (CÂMARA, 2015).

Para reduzir os efeitos das condições ambientais na produtividade da cultura segundo Battisti & Sentelhas (2014) é necessário estimar a melhor data de semeadura da soja, além de semear as cultivares adaptadas para a região e condições do solo e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água no solo. A irrigação é considerada uma estratégia adaptativa para dirimir os efeitos causados pelas secas, propiciando condições para que a planta expresse o seu potencial produtivo. Entretanto no Brasil, a área de soja irrigada ainda é pouco expressiva, sendo pouco maior do que 2% da área total cultivada, tal fato se deve aos elevados custos de implantação do sistema de irrigação (SILVA et al., 2015) e aos vazios sanitários decorrentes da expansão da doença ferrugem asiática no país (EMBRAPA, 2017), dessa forma a irrigação na cultura tem a finalidade de complementação às situações de escassez hídrica durante a estação chuvosa.

Na fase final da produção, a avaliação qualitativa e quantitativa da safra da cultura da soja será mensurada no momento da colheita, o bom desempenho da safra é reflexo da tecnologia empregada desde a implantação da cultura até a última operação feita no campo, cujo objetivo é retirar a soja da área de produção com o mínimo de perdas e a máxima qualidade. A colheita pode ser manual, semi-mecanizada e totalmente mecanizada (CÂMARA, 2015).

Estimulada pela necessidade de aumentar a produtividade no campo e pela crescente demanda por alimentos, mais tecnologia é inserida no sistema de produção de grãos para que se consiga equilibrar o mercado. Na perspectiva de Birthal et al. (2015), os agricultores tendem a adotar diversas estratégias para mitigar os efeitos da seca, como irrigação, adoção de variedades tolerantes à seca, aumento da aplicação de fertilizantes e mudança de datas de plantio.

Nos estudos realizados por Bezerra et al. (2015) o melhoramento genético foi o precursor do aumento da produtividade, como resposta à resistência a pragas e doenças, enquanto Costa & Guilhoto (2013) e Silva et al. (2015) complementam que a base tecnológica de informação possibilitou o mapeamento das áreas de produção e aplicação mais precisa de insumos, aumentando o nível de eficiência nas áreas plantadas. Por sua vez, Bulegon et al. (2016) ressalta que os avanços científicos propiciaram tecnologias capazes de aumentar a produção de soja pelo desenvolvimento de plantas mais resistentes, controle de pragas e doenças e inovação nas formas de manejo do solo.

De acordo com Kurukulasuriya e Rosenthal (2013), a agricultura é o setor mais vulnerável aos impactos ambientais. O grau de vulnerabilidade do setor agrícola depende de uma ampla gama de fatores ambientais e de gestão local, os quais incluem condições biológicas locais, tais como o tipo do solo, o tipo de cultura cultivada, a disponibilidade de recursos à produção, o acesso ao mercado, a extensão do conhecimento e o tipo e os objetivos do regime de gestão prevalentes na agricultura.

CONCLUSÃO

Nota-se que, entre os fatores que determinam a produtividade da soja, o ambiente climático – representado pela pluviosidade, radiação solar, fotoperíodo e temperatura – aparece como o mais limitante das decisões do empresário, uma vez que não pode ser controlado por ele a não ser parcialmente, pelas decisões de localização de seu empreendimento e escolha de cultivares. Por meio dessas escolhas o empresário pode controlar a intensidade, mas não a variabilidade desses fatores. Ainda, sob a perspectiva de variabilidade, a revisão de literatura evidencia que a pluviometria é o fator cuja variabilidade mais determina a produtividade da

soja, vez que essa cultura apresenta tolerância à ampla faixa de variação de radiação solar e temperatura, dada pela escolha de cultivares adaptadas a essas condições.

O modelo conceitual permitiu compreender a complexidade inerente ao sistema de produção de soja. A quantidade, a intensidade e a forma como as variáveis se relacionam, em todos os estágios de desenvolvimento da cultura, tornam a modelagem desse sistema e sua verificação empírica um desafio, oferecendo uma ampla perspectiva analítica deste.

REFERÊNCIAS

- BATTISTI, R. SENTELHAS, P. C. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: A case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 18, n.11, p.1149-1156, 2014.
- BEZERRA, A. R. G. et al. Importância econômica. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Org.). **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. pp. 9-26.
- BIRTHAL, P. S. et al. Is Indian agriculture becoming resilient to droughts? Evidence from rice production systems. **Food Policy**, v. 56, p. 1-12. 2015.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja no Cerrado brasileiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 20, p. 167-177, 2013.
- BULEGON, L. G. et al. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Terra Latinoamericana**, v. 34, p. 169-176. 2016. Disponível: < <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n2/2395-8030-tl-34-02-00169.pdf>> Acesso em: 28 jun. 2018.
- CÂMARA, G. M. Preparo do solo e plantio. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Org.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. pp. 66-109.
- COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira. **Revista de economia e agronegócio**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 177-204 2013.
- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja-região central do Brasil 2011**. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja/Embrapa, 2011.
- FAO – Food and Agriculture Organizations of the United Nations. **Perspectivas agrícolas 2015-2024**. Disponível em: < <http://www.agri-outlook.org/>> Acesso em: 28 jun. 2018.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C.; Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato grosso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, jan./mar. 2015.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, Pages 137-157, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192300001088>> Acesso em: 28 jun. 2018.
- KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. **Climate change and agriculture: a review of impacts and adaptation**. Paper n. 91, jun. 2003. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/16616/787390WP0Clima0ure0377348B00PUBLIC0.pdf?sequence=1>> Acesso em: 28 jun. 2018.
- MATSUO, E.; LOPES, E. A.; SEDIYAMA, T. Manejo de doenças. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Org.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. pp. 288-309.
- MEADOWNS et al., **Limites do crescimento**. São Paulo: Editora Perspectiva AS, 1972.
- PRADO, L. A.; MIZIARA, F.; FERREIRA, M. E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 151-165, jan./jun. 2012.

SILVA, A. F. et al. Exigências edafocimáticas. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Org.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. pp. 54-65.

TAVARES, L. C. et al. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, ago. 2013.