

ISSN 0104-1347

Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil

Characterization of the water deficit for brazilian soybean producing regions

José Renato Bouças Farias^{1,6}, Eduardo Delgado Assad², Ivan Rodrigues de Almeida³, Balbino Antônio Evangelista⁴, Cláudio Lazzarotto⁵, Norman Neumaier¹ e Alexandre Lima Nepomuceno^{1,6}

Resumo - Com o atual cenário agrícola globalizado, incrementos nos rendimentos e reduções nos custos e nos riscos de insucesso passaram a ser exigências básicas à competitividade. O aumento de eficiência no uso de recursos e de insumos, a melhora qualitativa dos produtos agrícolas e a preservação dos recursos naturais são desafios da moderna agricultura. Ferramentas que venham auxiliar a tomada de decisão são fundamentais para superar esses desafios e obter produtos competitivos e ambientalmente sustentáveis. A disponibilidade hídrica é um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade dos rendimentos da cultura de soja no tempo e no espaço. Num trabalho, envolvendo várias instituições (MAPA, EMBRAPA, ANEEL, INMET e IAPAR), procurou-se delimitar as áreas com menor risco de insucesso ao desenvolvimento da cultura da soja nos estados do Paraná, de Goiás, do Tocantins, do Mato Grosso do Sul, do Mato Grosso, de Minas Gerais, do Maranhão e da Bahia. Com o auxílio de modelos de simulação do balanço hídrico da cultura, de sistemas geográficos de informação e da geoestatística, foram definidas as áreas com diferentes probabilidades de ocorrência de déficit hídrico, durante a fase mais crítica da cultura, 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 cada estado em estudo, foram elaborados entre 54 a 72 mapas decorrentes da combinação de nove ou 12 períodos de semeadura, três tipos de solo e duas cultivares (ciclos). Cada um desses 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 determinada época de semeadura, em função do tipo de solo e do ciclo da cultivar.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, zoneamento agrícola, riscos climáticos, balanço hídrico, deficiência hídrica, geoprocessamento, época de semeadura, Brasil.

Abstract - In the current globalized agro-scenario, increments in yield and reductions in costs and in risks of failure became basic requirements to the competitiveness. Increased efficiency in the use of resources and inputs, improved quality of farm products and preserved environments are challenges of the modern agriculture. Tools for helping the decision making process are essential to tackle these challenges and succeed in obtain competitive and environmentally sustainable products. Water availability is one of the main factors of soybean yields variability in time and

¹ Pesquisador da Embrapa Soja, Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR. E-mail: jrenato@cnpso.embrapa.br

² Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

³ Assistente de Pesquisa da Embrapa Soja, Londrina, PR.

⁴ Assistente de Pesquisa da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

⁵ Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

⁶ Bolsista do CNPq-PQ.

space. In a collaborative work involving several institutions (MAPA, EMBRAPA, ANEEL, INMET, IAPAR), areas with lesser risks for the soybean crop were delimited in the states of Paraná, Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Maranhão and Bahia, Brazil. Using soybean crop water balance simulation models, geographical information systems and geostatistics, areas with different probabilities of water deficit occurrence during the most critical phase of the crop were defined and characterized as favorable, intermediate and unfavorable for the crop, based on: sowing dates; water availability in each region; water consumption in the different stages of development of the soybean crop; soil type; and cultivar cycle. For each state, 54 to 72 maps were generated as a result of the combination of nine or 12 sowing times, three soil types and two cultivar cycles. Each map portrays a combination of a level of each one of the factors listed above. That means, each map represents the drought risk classification of different areas of the state for a given sowing date, as a function of the soil type and cultivar cycle.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill, agricultural zoning, climatic risks, water balance, water deficit, geoprocessing, sowing date, Brazil.

Introdução

O complexo soja tem contribuído com um superávit considerável na balança comercial brasileira. A contribuição indireta da cultura da soja na movimentação da economia brasileira, embora, não tão facilmente mensurável, é de vital importância para o desenvolvimento do país, seja pela geração de empregos ou pela adição de valor à soja industrializada.

A imprevisibilidade das variações climáticas confere à ocorrência de adversidades climáticas o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja. Em relatório sobre securidade agrícola elaborado pelo Ministério do Planejamento (GÖPFERT et al., 1993), consta a ocorrência de secas como principal evento sinistrante (71% dos casos), seguida por chuva excessiva (22% dos casos), granizo e geada. Além desses, são mencionadas, ainda, perdas devido a *tromba d'água*, vento frio, vento forte, variação excessiva de temperatura e enchente. Não considerando os eventos exclusivamente climáticos, são relatadas ainda as perdas por ocorrência de pragas e de doenças (responsáveis por 0,20% nas safras de verão e por 0,05% nas de inverno).

Estresses abióticos, como a seca, podem reduzir, significativamente, rendimentos em lavouras, restringindo as latitudes e os solos onde espécies, comercialmente, importantes podem ser cultivadas. As implicações são enormes uma vez que, não somente produtores, mas toda a sociedade é afe-

tada. O déficit hídrico, normalmente, é o principal fator responsável por perdas na lavoura. Com as secas ocorridas nas safras 1977/1978 e 1978/1979, nos três estados da Região Sul (perdas médias de 32% ao ano), deixou-se de colher cerca de 7,2 milhões de toneladas de grãos de soja, o que representa, em valores atuais, aproximadamente 1,5 bilhões de dólares (FARIAS et al., 1993). No Rio Grande do Sul, estado da Região Sul mais afetado pelas secas, as perdas verificadas em 1990/1991 chegaram próximo a 70%, caindo de um rendimento médio de grãos de 2.000 kg/ha (em 1989/1990) para 750 kg/ha (em 1990/1991).

A soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: da semeadura à emergência e no enchimento dos grãos. Durante a germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura. Durante esse período, excessos hídricos são mais limitantes que déficits (SALINAS et al., 1989). A ocorrência de déficit hídrico durante o período de enchimento dos grãos é mais prejudicial do que durante a floração (DOSS et al., 1974; SIONIT & KRAMER, 1977). 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 (STEWART & NIELSEN, 1990; BERGAMASCHI et al., 1992). Para o Sul do Brasil, BERLATO et al. (1986), obtiveram valores

médios de evapotranspiração máxima (ET_m) ao redor de seis mm/dia, sendo o menor consumo verificado no início do ciclo (2,7 mm/dia) e o maior ocorrendo do início da floração ao início do enchimento de grãos (7,5 mm/dia). Para todo o ciclo da cultura, foi obtida uma ET_m de 827 mm. AZEVEDO et al. (1989), obtiveram para as condições semi-áridas do Nordeste brasileiro, uma ET_m da cultura da soja de 620 mm, para todo seu ciclo.

Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas (DOSS & THURLOW, 1974), já que pode tolerar curtos períodos de déficit pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento, relativamente, longo (MOTA, 1983).

Na moderna agricultura, incrementos nos rendimentos e reduções nos custos e nos riscos de insucesso dependem cada vez mais do uso criterioso dos recursos. Neste processo, o agricultor deve tomar decisões em função dos fatores de produção disponíveis e dos níveis de risco envolvendo sua atividade, visando a obtenção de maior rentabilidade. Dentre os fatores de risco, pode-se considerar como principais aqueles referentes às incertezas de mercado e às condições climáticas imprevisíveis. Toda e qualquer ferramenta que venha ajudar o processo decisório é de grande valia ao setor agrícola (FARIAS et al., 1997). Diante desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo delimitar as áreas com menores riscos de insucesso devido à probabilidade de ocorrência de déficits hídricos durante as fases mais críticas da cultura da soja, fornecendo informações que subsidiem a definição de políticas agrícolas e a tomada de decisões pelo setor produtivo, para a obtenção de maiores rendimentos com menores riscos. Isso leva à utilização mais racional da cultura, bem como ao incremento da produção e da produtividade da soja, trazendo inúmeros reflexos positivos à economia e à sociedade brasileiras.

Material e métodos

A realização deste trabalho envolveu a participação de várias instituições (MAPA, EMBRAPA, ANEEL, INMET e IAPAR), compreendendo os estados do PR, de GO, do TO, do MS, do MT, de

MG, do MA e da BA. A primeira etapa do trabalho consistiu na obtenção do banco de dados necessário. As séries pluviométricas foram obtidas junto à ANEEL e analisadas pela Embrapa Cerrados, compreendendo os valores diários de precipitação, observados num período mínimo de 15 anos, abrangendo várias estações (de 45 a 331 estações por estado), localizadas nos diferentes estados. Os valores de evapotranspiração potencial foram fornecidos pelo INMET e pelo IAPAR, estimados pelos métodos de Penman (para o estado do Paraná) e de Hargreaves (para os demais estados).

Para representar a maioria das cultivares de soja recomendadas para as diferentes regiões, foram eleitas duas cultivares hipotéticas, consideradas perfeitamente adaptadas às condições termofotoperiódicas dos diversos locais, com ciclos diferentes, as quais foram denominadas de Precoce e Tardia (Tabela 1). A duração dos estádios fenológicos foi estimada para cada cultivar e local de estudo. Os coeficientes de cultura (K_c) empregados para estimar o consumo hídrico em cada fase fenológica foram adaptados daqueles obtidos por BERLATO et al. (1986) e por DOORENBOS & KASSAM (1979). Na Tabela 2 são apresentados a duração dos estádios fenológicos, em função dos ciclos das cultivares, e os respectivos coeficientes de cultura (K_c) utilizados.

As classes de solo presentes em cada estado foram agrupadas segundo sua capacidade de armazenamento de água, trabalhando-se com três tipos para cada estado. A capacidade de água disponível (CAD) foi estimada em função da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (35 a 50 cm), resultando em valores de CAD de 25, 35 e 50 mm, para os tipos de solo I, II e III, respectivamente, para todos os estados estudados, com exceção do Paraná. Para esse estado, foram usados valores maiores de CAD (30, 50 e 75 mm, respectivamente, para os tipos de solo I, II e III) em função das práticas de manejo do solo empregadas em grande parte do estado, as quais, em geral, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular.

Tabela 1. Duração dos ciclos das duas cultivares hipotéticas de soja em cada estado.

Ciclo	PR	MS	GO, MT, MG, TO, BA, MA
Precoce	120	115	110
Tardia	130	135	140

Tabela 2. Duração dos estádios fenológicos das cultivares de soja com diferentes ciclos e respectivos coeficientes de cultura (Kc).

Ciclos	S-V2	V2-R1	R1-R5/R6	R6-R8
110	10	35	35	30
115	10	35	40	30
120	15	35	40	30
130	15	40	45	30
135	15	40	50	30
140	15	45	50	30
Kc	0,56	1,21	1,50	0,90

* S: semeadura; V2: folha desenvolvida no primeiro nó acima do unifoliolado; R1: início da floração; R5: legume contendo grãos com três mm em um dos quatro nós superiores; R6: legume contendo grãos completamente desenvolvidos em um dos quatro nós superiores e, R8: maturidade completa, segundo FEHR & CAVINESS (1977).

De posse dos dados necessários, foram estimados os índices de satisfação das necessidades de água (ISNA), definidos como a relação existente entre a evapotranspiração real (ETr) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETm), utilizando-se um o modelo BIPZON de simulação do balanço hídrico da cultura (FOREST, 1984). O modelo BIPZON estima o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e das disponibilidades hídricas da região. Os principais dados de entrada para esse modelo são: chuva diária, evapotranspiração potencial decendial, coeficientes de cultura, duração do ciclo e das fases fenológicas da cultura e capacidade de água disponível do solo em função do sistema radicular. Para a definição dos níveis de risco hídrico, foram estabelecidas três classes, de acordo com a relação ETr/ETm obtida:

- favorável ($ETr/ETm > 0,65$);
- intermediária ($0,65 > ETr/ETm > 0,55$) e
- desfavorável ($ETr/ETm < 0,55$).

Foram feitas simulações para nove períodos de semeadura (1° a 10/out, 11 a 20/out, 21 a 31/out, 1° a 10/nov, 11 a 20/nov, 21 a 30/nov, 1° a 10/dez, 11 a 20/dez e 21 a 31/dez), sempre englobando as épocas recomendadas pela pesquisa para obtenção dos maiores rendimentos. Para o estado do Maranhão, foram feitas simulações para mais três épocas de semeadura: 1° a 10, 11 a 20 e 20 a 31 de janeiro. Ao todo, foram simulados cerca de 80.000 ciclos de cultivo, considerando-se as interações entre estações pluviométricas, cultivares, tipo de solo e datas de semeadura nos diferentes estados.

A espacialização dos resultados foi realizada empregando-se os valores de ISNA estimados para

o período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento de grãos (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80%, nos anos utilizados em cada estação pluviométrica. Cada valor de ISNA observado durante essa fase foi associado à localização geográfica da respectiva estação para posterior espacialização dos mesmos, utilizando um sistema de informações geográficas (SIG) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IMAGEM E GEOSISTEMAS, 1995). Convertidos os dados e feitas as transformações necessárias na espacialização dos valores, verificaram-se os erros e ajustaram-se os valores das interpolações.

As informações geradas pelo trabalho foram testadas com os valores observados em safras anteriores. Compararam-se os resultados obtidos com séries históricas de produção, área cultivada e rendimento de grãos, por município, nos últimos dez, cinco e três anos, por estado. Todas essas informações foram espacializadas, utilizando sistemas de informações geográficas (ASSAD & SANO, 1993) e os mapas gerados foram comparados aos obtidos pela metodologia inicial, havendo, quando necessário, ajustes das informações geradas, resultando em recomendações mais próximas da realidade de cada estado.

Resultados e discussão

Com base nos coeficientes de cultura (Kc) empregados, o modelo de balanço hídrico (BIPZON) estimou, para os diferentes estados, valores de evapotranspiração máxima que variaram, em

média, de 550 a 800 mm, os quais estão muito próximos dos obtidos em trabalhos de campo (BERLATO et al., 1986; AZEVEDO et al., 1989). Como a disponibilidade hídrica é um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade dos rendimentos das culturas, no tempo e no espaço, esse modelo aparece como uma alternativa adequada para trabalhos de regionalização de riscos, considerando sua simplicidade de uso e necessidade de pequeno conjunto de dados, mais facilmente disponíveis. Deve-se, no entanto, considerar que modelos mais completos e/ou complexos são, na maioria das vezes, capazes de fornecer estimativas mais precisas das variações da produtividade, em função de variáveis climáticas. Porém, têm menor aplicabilidade espacial em função da inexistência de dados para muitas regiões, principalmente para os Cerrados e para o Nordeste brasileiro.

Para cada estado em estudo, foram confeccionados 54 ou 72 mapas, decorrentes da combinação de nove ou doze períodos de semeadura, três tipos de solo e duas cultivares. Na Figura 1, apresenta-se um exemplo com mapas obtidos para o estado do Paraná. 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 da cultivar. As áreas favoráveis representam as regiões onde é menor o risco de ocorrência de déficit hídrico durante as fases mais críticas (floração e enchimento de grãos). 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.

Solos com baixa capacidade de armazenamento de

água (CAD) apresentaram-se, em geral, impróprios para o cultivo da soja na maioria das regiões, nos diferentes ciclos das cultivares e de épocas de semeadura considerados. Observou-se, também, que a cultivar tardia tem sua época de semeadura favorável, na maioria das regiões, mais cedo que a precoce. 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. Além disso, cultivares tardias semeadas muito cedo ficarão mais tempo expostas às condições de campo e, conseqüentemente, mais sujeitas ao ataque de pragas e de doenças.

Utilizando o estado do Paraná como referência, procedeu-se validação da metodologia empregada, comparando os resultados até então obtidos com séries históricas de produção, área cultivada e produtividade, por município, nos últimos anos. Na Figura 2 são apresentados os mapas obtidos para o estado do Paraná, considerando a área média colhida e os rendimentos de grãos de soja, respectivamente, verificados por município, num período de dez anos. Observa-se grande correlação entre

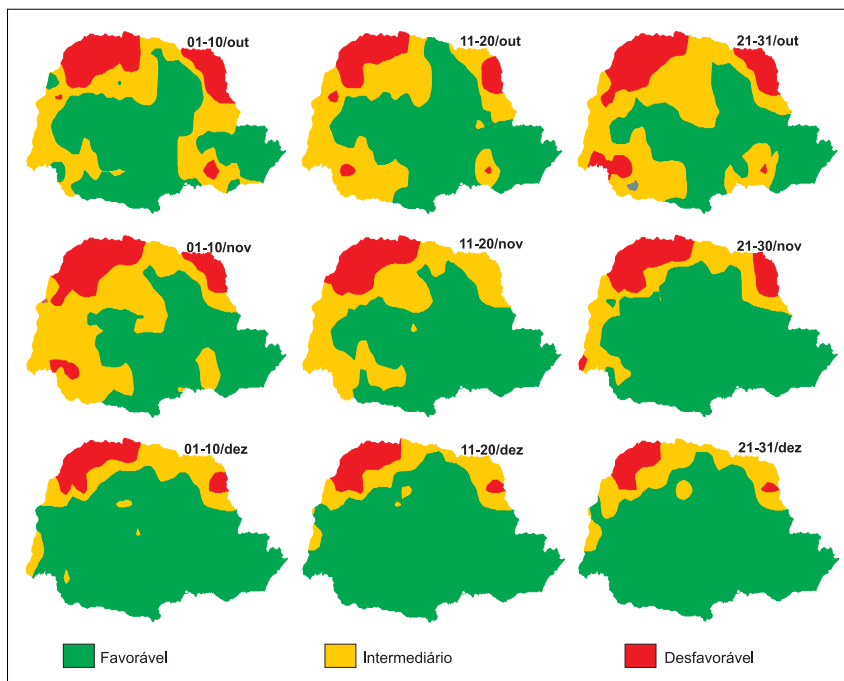


Figura 1. Classificação de épocas de semeadura em relação ao risco hídrico à cultura da soja no estado do Paraná, em nove épocas de semeadura, para cultivar precoce (120 dias) e solo de média retenção de água (CAD = 50 mm). Embrapa Soja, Londrina, 2001.

esses mapas e os gerados pelo trabalho, demonstrando que a metodologia empregada, bem como os resultados obtidos, estão bastante próximos da realidade desse estado. Na maioria das áreas em que a produtividade e/ou área cultivada são desfavoráveis, o zoneamento apresentou condições desfavoráveis ao cultivo da soja, o que pode ser facilmente verificado analisando a região Nordeste do estado.

Deve-se, no entanto, ressaltar algumas limitações da metodologia utilizada. Assim, 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. Além disso, nem todos os municípios classificados como 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 e, principalmente, aumentar a densidade de dados para incrementar a precisão espacial das recomendações. Finalmente, muitas das áreas classificadas como intermediárias podem ser enquadradas como favoráveis, devido a práticas de manejo do solo e da cultura que permitem a planta superar curtos períodos de adversidade climática. Outros modelos agroclimáticos, mais precisos, já estão levando em consideração as modificações de umidade do solo em função do manejo adotado.

Salienta-se que as informações geradas por este trabalho devem ser usadas com cautela, levando em conta as características particulares de cada produtor e/ou região, buscando assim o refinamento destas informações, principalmente, no que diz respeito à escala de trabalho. Este trabalho deve ser, também, constantemente revisado, atualizado e aprimorado, levando em conta todo o conhecimento acumulado pelo cultivo da soja nas diferentes regiões há vários anos. Para ser cumprida com êxito, esta tarefa exigirá a participação efetiva de vários outros segmentos do setor agrícola.

Referências bibliográficas

ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 247p.

AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R., LEITÃO, M.M.V.B.R. Medidas e estimativas da evapotranspiração numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.185-194.

BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, Série Livro-Texto nº 17, 1992. 125p.

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. **Agrometria Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

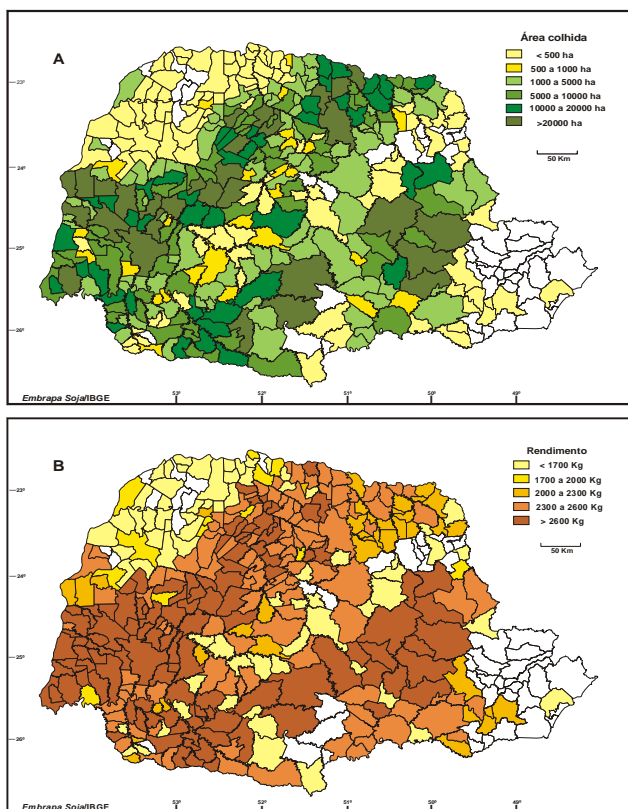


Figura 2. Área média colhida com soja (A) e rendimento médio de grãos (B), por município do Paraná, observado no período de 1989/1990 a 1998/1999. Embrapa Soja, Londrina, 2001.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 1979. (Irrigation and Drainage paper, 33).

DOSS, B.D., PEARSON, R.W., ROGGERS, H.T. Effect of soil water stress of various growth stages on soybean yields. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, n.2, p.297-299, 1974.

DOSS, B.D., THURLOW, D.L. Irrigation, row width and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, n.5, p.620-623, 1974.

FARIAS, J.R.B., ALMEIDA, I.R., GARCIA, A. **Zoneamento agroclimático da cultura da soja para o estado do Paraná**. Londrina: Embrapa-Soja, 1997. 84p. (Documentos, 102).

FARIAS, J.R.B., NEUMAIER, N., NEPOMUCENO, A.L. Impactos da seca na produção de soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 10., 1992, Chapecó. **Ata e Resumos...** Chapecó: EPAGRI, 1993. p.169.

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

FOREST, F. **Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP**. Montpellier: IRAT-CIRAD, 1984. 63p.

GÖPFERT, H., ROSSETTI, L.A., SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade Agrícola**. Brasília: IPEA, Ministério do Planejamento, 1993. 78p.

IMAGEM GEOSISTEMAS. **Sistemas de informações geográficas SIG: manual do usuário, versão 2.5**. São José dos Campos, 1995. 281p.

MOTA, F.S. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F.J. (Coord.) **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. v.1, p.93-126.

SALINAS, A.R., SANTOS, D.S.B., SANTOS F.O. et al. Comportamiento de genotipos de soja, hasta el estadio de plantulas, en diferentes niveles de humedad. IN: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja (AASOJA), 1989. p.376-382.

SIONIT, N., KRAMER, J.P. Effect of water stress during different stages of growth of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, n.2, p.274-278, 1977.

STEWART, B.A., NIELSEN, D.R. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1990. 1218p. (Series Agronomy, n.30).