

## Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definições de ambientes de produção



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Soja  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 374**

### **Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção**

*Julio Cezar Franchini  
Alvadi Antonio Balbinot Junior  
Pablo Ricardo Nitsche  
Henrique Debiasi  
Ivani de Oliveira Negrão Lopes  
Autores*

Embrapa Soja  
Londrina, PR  
2016

## **Embrapa Soja**

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta  
Caixa Postal 231  
CEP 86001-970  
Londrina, PR  
Fone: (43) 3371 6000  
Fax: (43) 3371 6100  
www.embrapa.br/soja  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

## **Comitê de Publicações da Embrapa Soja**

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretário-Executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarin, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi.*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall’Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica e capa: *Vanessa Fuzinatto Dall’Agnol*

Foto da capa: *Alvadi Antonio Balbinot Junior*

## **1ª edição**

PDF digitalizado (2016)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **Embrapa Soja**

---

Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção [recurso eletrônico]: / Julio Cezar Franchini... [et al.] – Londrina: Embrapa Soja, 2016.

42 p. : il. ; – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.374)

1. Soja-Produção. I. Franchini, Julio Cezar. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III. Nitsche, Pablo Ricardo. IV. Debiasi, H. V. Lopes, Ivani de Oliveira Negrão. VI. Título. VII. Série.

CDD 633.34

---

© Embrapa 2016

# **Autores**

**Julio Cezar Franchini, Dr.**

Engenheiro Agrônomo

Embrapa Soja, Londrina, PR

**Alvadi Antonio Balbinot Junior, Dr.**

Engenheiro Agrônomo

Embrapa Soja, Londrina, PR

**Pablo Ricardo Nitsche, MSc.**

Engenheiro Agrícola

Iapar, Londrina, PR

**Henrique Debiasi, Dr.**

Engenheiro Agrônomo

Embrapa Soja, Londrina, PR

**Ivani de Oliveira Negrão Lopes, Dr.**

Matemática

Embrapa Soja, Londrina, PR

# Apresentação

A cultura da soja é um dos principais alicerces da economia brasileira, sendo responsável pela geração de milhares de empregos, melhoria da infraestrutura e aumento do Índice de Desenvolvimento Humano nas regiões produtoras. O estado do Paraná apresenta forte vocação ao agronegócio, sendo a soja o principal produto agrícola. Apesar da grande importância econômica, social e ambiental dessa oleaginosa para o estado, há carência de informações sobre a evolução da cultura no espaço e no tempo, bem como a associação do seu desempenho com variáveis de clima e de solo. Por meio dessas informações é possível identificar os principais fatores ambientais que influem na produtividade e delinear os ambientes de produção de soja no estado, ou seja, regiões com maior ou menor potencial para obtenção de altas produtividades.

Por sua vez, o conhecimento dos ambientes de produção de soja no Paraná é importante para direcionar trabalhos de pesquisa, desenvolvimento, transferência de tecnologias, assistência técnica e políticas públicas, com intuito de otimizar o uso de recursos e incrementar a rentabilidade da sojicultura. Nesse contexto, o trabalho ora apresentado é um exemplo de ação interdisciplinar focado nas demandas da cadeia produtiva da soja, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção em que a cultura está inserida.

*Ricardo Vilela Abdelnoor*  
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Embrapa Soja



# Sumário

<b>Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>Metodologia para delimitação dos ambientes de produção .....</b>	<b>10</b>
Dados.....	11
Pré-processamento.....	11
Análise de agrupamento.....	12
Mapas .....	12
<b>Evolução da área, produção e produtividade de soja no Paraná de 2000 a 2013.....</b>	<b>13</b>
<b>Relação entre variáveis ambientais com a produtividade e a estabilidade de produção, nas safras de 1999/2000 a 2012/2013 .....</b>	<b>23</b>
<b>Delimitação dos ambientes de produção de soja no Paraná.....</b>	<b>34</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>39</b>
<b>Referências .....</b>	<b>41</b>



# Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção

---

*Julio Cezar Franchini*

*Alvadi Antonio Balbinot Junior*

*Pablo Ricardo Nitsche*

*Henrique Debiasi*

*Ivani de Oliveira Negrão Lopes*

## Introdução

O Estado do Paraná apresenta área territorial próxima de 200 mil km<sup>2</sup> e 399 municípios. De acordo com a classificação climática de Köppen, o Paraná apresenta clima Cfb (clima temperado úmido com verão temperado) mais ao sul e Cfa (clima temperado úmido com verão quente) mais ao norte (CAVIGLIONE et al., 2000). O Estado apresenta ampla variação nas características de solo, desde muito arenosos a muito argilosos (LIMA et al., 2012).

Em 2006, o Paraná apresentava 371.063 estabelecimentos agropecuários. Destes, 168.548 possuíam culturas temporárias como atividade principal, as quais foram cultivadas em uma área aproximada de 6,9 milhões de hectares (IPARDES, 2015). Na última década, a agropecuária se consolidou como o principal pilar econômico do Estado, gerando milhares de empregos diretos e indiretos. A posição da agropecuária na economia paranaense permite inferir que ela se constitui em importante fornecedor de matéria-prima para o processamento, ao mesmo tempo que demanda e gera vários serviços que aquecem a economia do Estado.

Por sua vez, em 2015, o valor bruto da produção (VBP) da soja no Paraná foi de R\$ 18,6 bilhões, participando com 29,6% do VBP to-

tal paranaense. Esta participação cresceu em relação aos 26,4% dos últimos nove anos, indicando o aumento da importância da cultura na economia do Estado. Paralelamente, deve-se considerar a importância da soja como fonte proteica na fabricação de rações, sendo indispensável para as cadeias de frangos e suínos – também relevantes para o Estado. Adicionalmente, grande parte das cooperativas paranaenses tem na soja o seu principal produto, demandando e gerando serviços em várias regiões. Depreende-se, portanto, que a principal cultura agrícola do Estado é a soja, sendo o alicerce de dezenas de milhares de propriedades rurais.

Apesar da grande importância econômica, social e ambiental dessa oleaginosa para o Estado, há carência de informações sobre a evolução da cultura no espaço e no tempo – como evoluíram a área, a produtividade e a estabilidade de produção. Com base nessas informações é possível delinear os principais ambientes de produção de soja no Estado, que são áreas homogêneas quanto ao potencial para produzir a oleaginosa. Essa delimitação é relevante para nortear trabalhos de pesquisa, desenvolvimento, transferência de tecnologias, assistência técnica e políticas públicas, visando ao aproveitamento racional e sustentável da oferta ambiental para a produção de soja, otimizando a rentabilidade da atividade.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta os seguintes objetivos:

1) Avaliar a variabilidade espacial e temporal do desempenho agrônômico da soja no Estado do Paraná, delimitando os ambientes de produção no Estado; 2) Associar fatores ambientais com a variabilidade espacial e temporal da soja.

## **Metodologia para delimitação dos ambientes de produção**

Visto que nem todos os municípios do Paraná são produtores de soja e que as estações meteorológicas são distribuídas em pontos estratégicos do Estado, mas não em todos os municípios, a delimitação

de ambientes de produção foi realizada em duas etapas. Inicialmente, foram estimados os dados de produtividade para os municípios não produtores de soja e os dados meteorológicos para os municípios que não possuem estações meteorológicas, utilizando-se técnicas de Geoestatística. Posteriormente, por meio de técnicas de mineração de dados, os municípios foram agrupados de acordo com suas semelhanças em relação aos dados obtidos.

## Dados

Esse estudo utilizou dados de 14 safras, 1999/2000 a 2012/2013. Os dados de área e de produção foram obtidos e fornecidos pelo IBGE. Os dados de altitude, precipitação e temperatura foram obtidos das bases de dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Agência Nacional das Águas (ANA) e Instituto de Terras, Cartografias e Geociências (ITCG). Os dados de temperatura foram obtidos em 46 estações meteorológicas e dados de precipitação pluvial obtidos em 421 estações (Figura 1). Como o foco do trabalho foi a cultura da soja, consideraram-se os dados de temperatura e precipitação nos meses de outubro a março, período de cultivo da oleaginosa no Estado. Adicionalmente, as relações entre a produtividade e a textura de solo foram investigadas, utilizando-se os dados de textura do solo extraídos do mapa de solos do Paraná de 1999.

## Pré-processamento

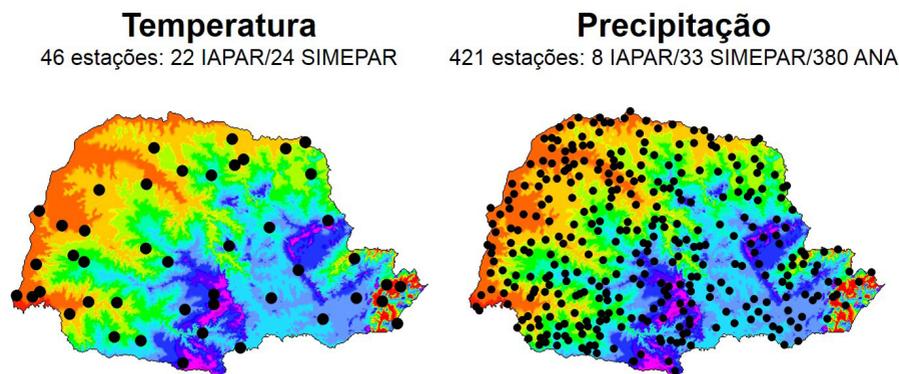
Para as análises geoestatísticas, foram considerados apenas os municípios com informações de no mínimo oito safras. Do total de 399 municípios, no mínimo 332 (safra 1999/2000) e no máximo 377 (safra 2004/2005) municípios foram considerados. Subsequentemente, semivariogramas foram ajustados, usando o programa VESPER<sup>®</sup>: Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error, versão 1.6. Semivariogramas podem ser construídos por meio de diferentes modelos. Nesse estudo, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o semivariograma Gaussiano. Os dados faltantes foram estimados por meio desses modelos.

## Análise de agrupamento

A análise de agrupamento de dados permitiu identificar os grupos de municípios que compartilham características semelhantes, com relação aos atributos: altitude, produtividade, temperatura do ar e precipitação pluvial. Nesse trabalho, foi utilizado o algoritmo de agrupamento hierárquico de dados *flexible beta* (LANCE; WILLIAMS, 1967). Esse algoritmo realizou o agrupamento dos municípios com base na similaridade entre eles, à qual foi calculada pela métrica distância Euclidiana. Para o cálculo da distância, foram utilizados os 30 primeiros componentes principais (CP) extraídos de 183 atributos (1 altitude, 6 meses x 14 anos de dados de temperatura do ar e de precipitação pluvial) dos 399 municípios do Paraná. Os CP utilizados preservaram 99,67% da variação total presente nos dados. Os grupos obtidos na análise de agrupamentos de dados foram apresentados no mapa do Estado do Paraná, e são denominados nesse trabalho como ambientes de produção.

## Mapas

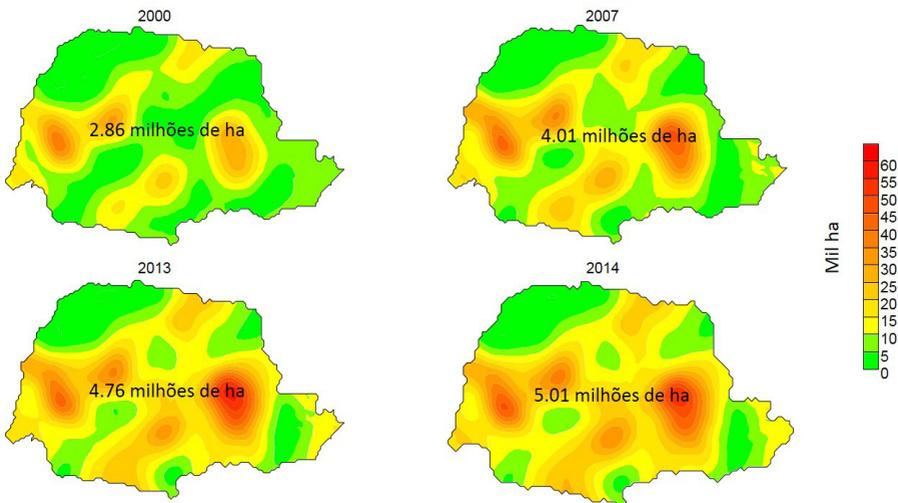
Todos os mapas apresentados nesse trabalho foram construídos utilizando o programa Golden Software Surfer®, versão 9.0.



**Figura 1.** Localização das estações fornecedoras de dados de temperatura do ar e precipitação pluvial no Paraná.

## Evolução da área, produção e produtividade de soja no Paraná de 2000 a 2013

Em 2000, o Paraná já possuía tradição na produção de soja e apresentava extensa área de cultivo com a oleaginosa, cerca de 2,86 Mi de hectares (Figura 2). A partir desse ano, o Estado experimentou expressiva taxa de evolução da área cultivada com soja - 130 mil ha/ano - chegando em 2013 a 4,76 Mi de hectares - 66% de aumento em relação a 2000, mantendo-se como segundo maior produtor de soja do Brasil, atrás somente do Mato Grosso. Os principais fatores relacionados ao aumento da área com soja no Paraná foram o mercado favorável da oleaginosa, amplo portfólio tecnológico para produção, redução da área de milho de safra e aumento da área com milho de segunda safra, em sucessão à soja.

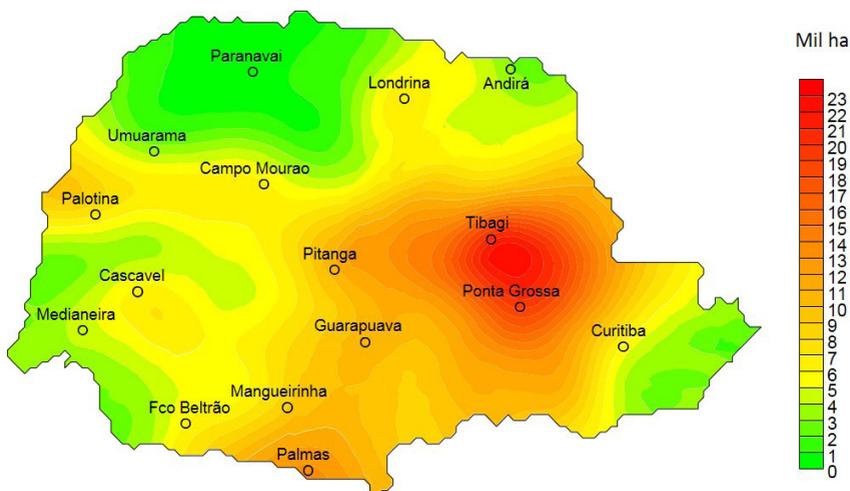


**Figura 2.** Concentração de área de soja no Estado do Paraná nas safras 1999/2000, 2006/2007, 2012/2013 e 2013/2014. A escala se refere a hectares por município.

Na Figura 2, observa-se a dinâmica de evolução da área cultivada com soja nas diferentes regiões do Estado. Inicialmente, percebe-se que no ano 2000 havia a formação de alguns polos de produção, especial-

mente Cascavel, Campo Mourão, Maringá, Londrina, Ponta Grossa e Guarapuava. De 2000 a 2013, ocorreu consolidação desses polos e aumento expressivo da área cultivada nas regiões de Ponta Grossa e Tibagi (Figuras 2 e 3). Enfatiza-se que nessas regiões os municípios tem vasta área territorial e a soja substituiu o milho de safra ou foi cultivada em áreas de pastagens nativas ou naturalizadas. Outra constatação interessante é que os aumentos mais expressivos de área de soja no Paraná durante o período de avaliação ocorreram em regiões com clima Cfb, com temperaturas mais amenas e mais favoráveis à produção da oleaginosa.

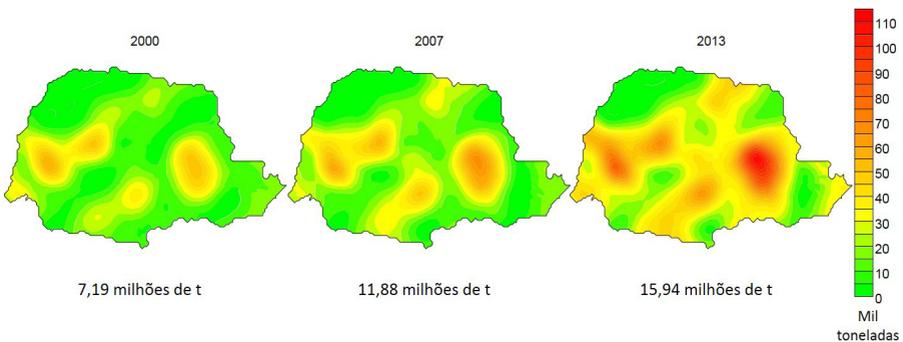
Por outro lado, na região noroeste do Estado, que apresenta clima quente (Cfa) e solos arenosos, praticamente não houve evolução da área cultivada com soja nos últimos 14 anos. Isso ocorreu porque essa região apresenta características de solo e de clima restritivo à sojicultura – solos arenosos com baixa capacidade de armazenamento de água e clima quente - aumentando os riscos da atividade, mesmo considerando o mercado favorável da oleaginosa. Outro fator que faz com que o avanço da soja no noroeste do Estado seja lento é a forte predominância da atividade pecuária.



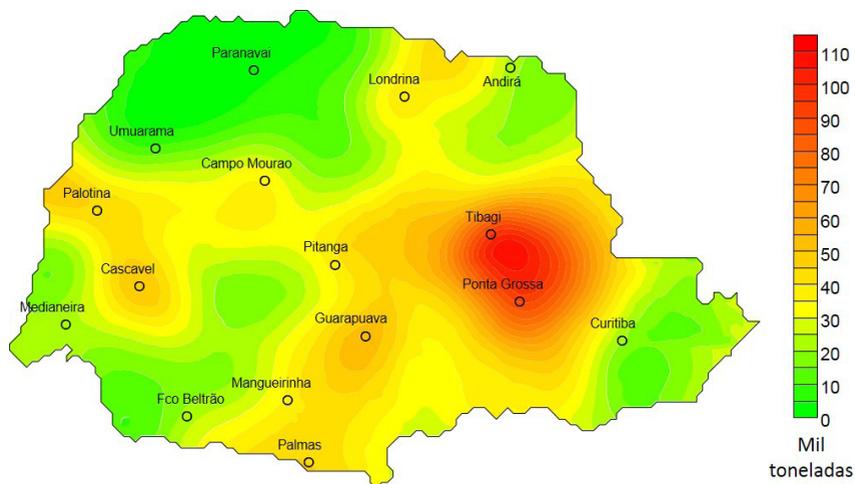
**Figura 3.** Mapa da evolução da área de soja por município no Paraná entre as safras 1999/2000 a 2013/2014. A escala se refere a hectares por município.

Na safra 2000, o Paraná produziu 7,19 Mi toneladas de grãos de soja; ou seja, já era um produtor tradicional da oleaginosa (Figura 4). No entanto, de 2000 a 2013, a produção aumentou 122%, chegando a 15,94 Mi toneladas. Nesse período, a taxa de aumento de produção foi de 0,482 Mi de toneladas de grãos/ano. Fixando a primeira safra do período avaliado (1999/2000) como referência e considerando os ganhos anuais de produção, área cultivada e produtividade a partir dessa safra, estima-se que 70% do aumento da produção foi decorrente do incremento da área cultivada com soja, sendo os outros 30% decorrentes do aumento de produtividade.

Nas Figuras 4 e 5, constata-se que a variação espacial da evolução da produção da soja no Paraná segue a mesma tendência da evolução da área cultivada, com destaque para o aumento expressivo da produção em regiões com elevada altitude e com clima Cfb – região de Ponta Grossa e Tibagi. Em adição, observa-se a consolidação de regiões tradicionais de produção de soja: Cascavel, Campo Mourão, Maringá e Londrina. De 2000 a 2013, o Paraná apresentou aumento de 8,75 Mi de toneladas de grãos, algo expressivo, considerando que em 2000 o Estado já possuía tradição no cultivo de soja.



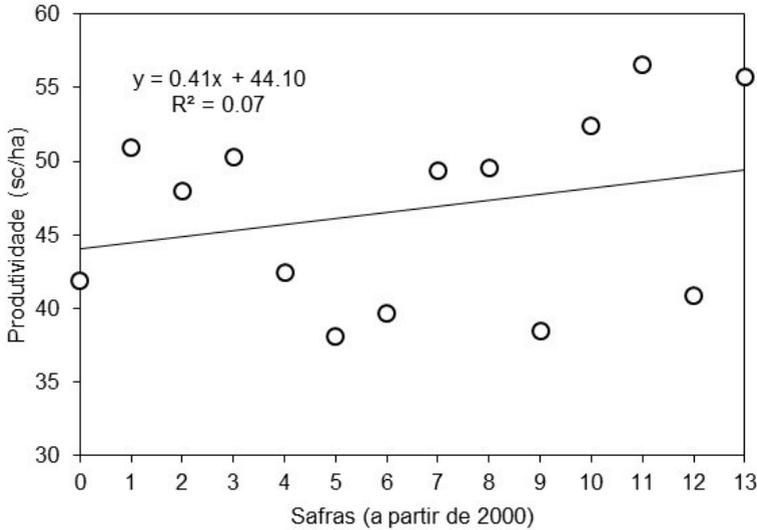
**Figura 4.** Produção de soja no Paraná nas safras 1999/2000, 2006/2007 e 2012/2013. A escala se refere a toneladas por município.



8,75 milhões de t

**Figura 5.** Mapa da evolução da produção de soja no Paraná entre as safras 1999/2000 a 2013/2014. A escala se refere a toneladas por município.

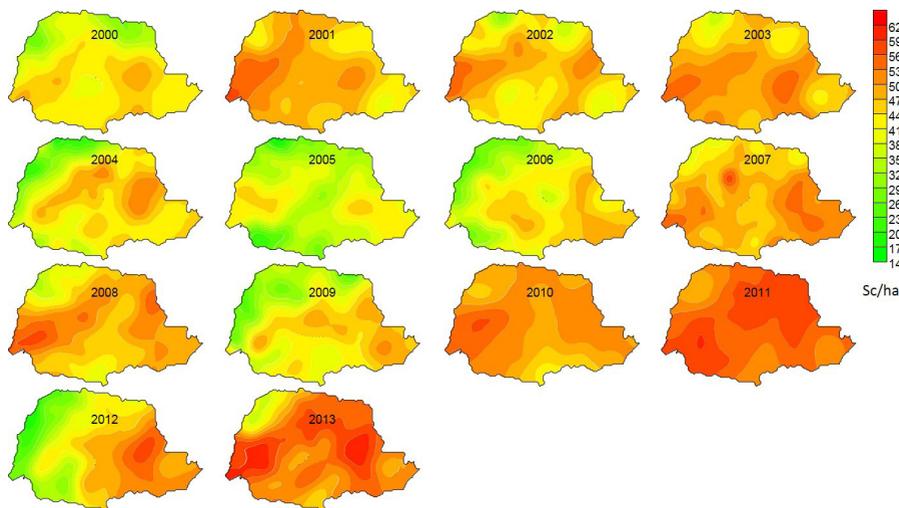
Ao contrário da tendência clara de aumento linear da área e da produção da soja no Paraná nos últimos 14 anos, não há ajuste da equação linear para a produtividade da soja no Estado nesse período (Figura 6). Ou seja, durante o período avaliado, a produtividade média do Estado experimentou grandes oscilações, mormente decorrentes de veranicos. De forma geral, a produtividade apresentou discreto aumento no período avaliado, 0,41 sacas/ha/ano (1 saca de soja = 60 kg de grãos). A safra 2010/11 foi a que apresentou a maior produtividade média – cerca de 56 sacas/ha, muito acima da média brasileira, demonstrando o alto potencial do Estado para a produção da oleaginosa.



**Figura 6.** Evolução da produtividade de grãos de soja no Estado do Paraná de 2000 a 2013.

Fonte: CONAB (2015).

As variações espaciais da produtividade da soja no Paraná de 2000 a 2013 são apresentadas na Figura 7. Verificam-se, novamente, as grandes variações no tempo, sendo que as safras 2005, 2006 e 2009 apresentaram desempenho baixo em praticamente todo o Estado. Em oposto, as safras 2001, 2003, 2010, 2011 e 2013 se destacaram com altas produtividades, em praticamente todas as regiões paranaenses. Adicionalmente, na região noroeste do Estado, a produtividade média de soja dificilmente ultrapassou 45 sacas/ha, demonstrando que a evolução da cultura em áreas hoje ocupadas com pastagens degradadas, presentes em vasta extensão na região, é um desafio para a pesquisa, transferência de tecnologia e assistência técnica.



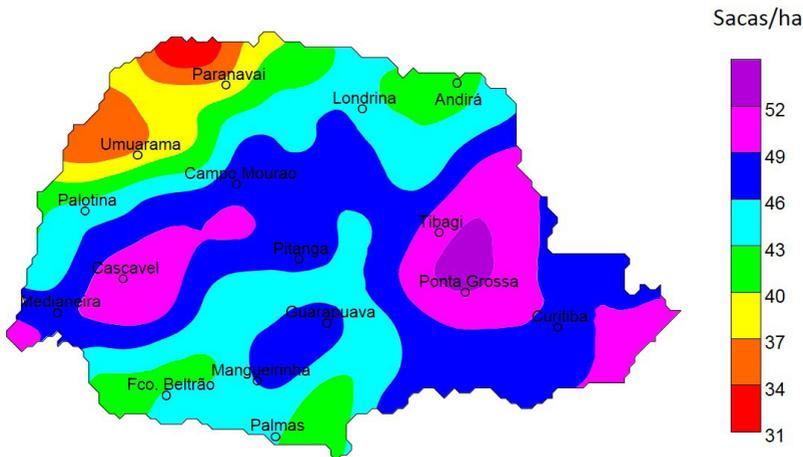
**Figura 7.** Distribuição espacial e temporal das produtividades da soja no Paraná entre a safra 1999/2000 e 2012/2013.

De forma geral, observa-se que as maiores produtividades médias de soja no período de avaliação se encontram nos grandes polos de produção (Figura 8). No entanto, destaque especial deve ser dispendido às regiões de Ponta Grossa e Cascavel, em que, no período avaliado, apresentaram produtividades médias superiores a 50 sacas/ha. Enfatiza-se que essas regiões apresentam altitude superior a 700 m, apresentando variáveis atmosféricas mais adequadas às demandas ecofisiológicas da cultura. Além disso, nessas regiões, as características dos solos são favoráveis à cultura e há emprego do portfólio de tecnologias para obtenção de altas produtividades de soja.

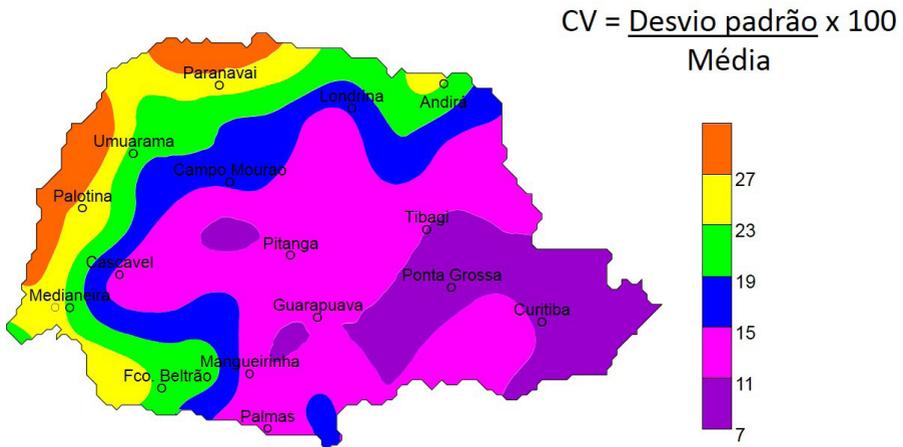
A produtividade de grãos de soja é dependente das características genéticas das plantas, do ambiente de produção e da interação entre esses fatores. Nesse contexto, as características de solo e de clima intrínsecas de cada região apresentam elevada influência sobre a produtividade da cultura. Observa-se na Figura 9 que os maiores coeficientes de variação (CV) das produtividades no período de avaliação ocorrem

na região noroeste e oeste do Estado. São regiões baixas e que apresentam clima quente, aumentando a possibilidade de estresses por déficit hídrico e/ou por altas temperaturas. Nessas regiões é comum quebras de produtividade, tornando a sojicultura uma atividade com risco relativamente elevado.

O eixo em que se concentra a maior parte da produção de soja do Paraná – Cascavel, Campo Mourão, Maringá e Londrina – apresentou variação intermediária de produtividade nas 14 safras avaliadas. Por outro lado, na região sul do Estado, em que há altitudes superiores a 800 m e temperaturas mais amenas, a variação temporal de produtividade foi baixa. No período avaliado, a produtividade nas regiões de Guarapuava, Ponta Grossa e Tibagi foram praticamente constantes, com baixo CV da produtividade. Ou seja, nessas regiões há elevada estabilidade de produção. Essa característica aumenta a competitividade da sojicultura nessas regiões, reduzindo os riscos de insucesso da atividade. De certa forma, a maior estabilidade de produção fomentou a sojicultura nas regiões mais frias do Paraná e contribuiu para a substituição do milho de safra pela soja.

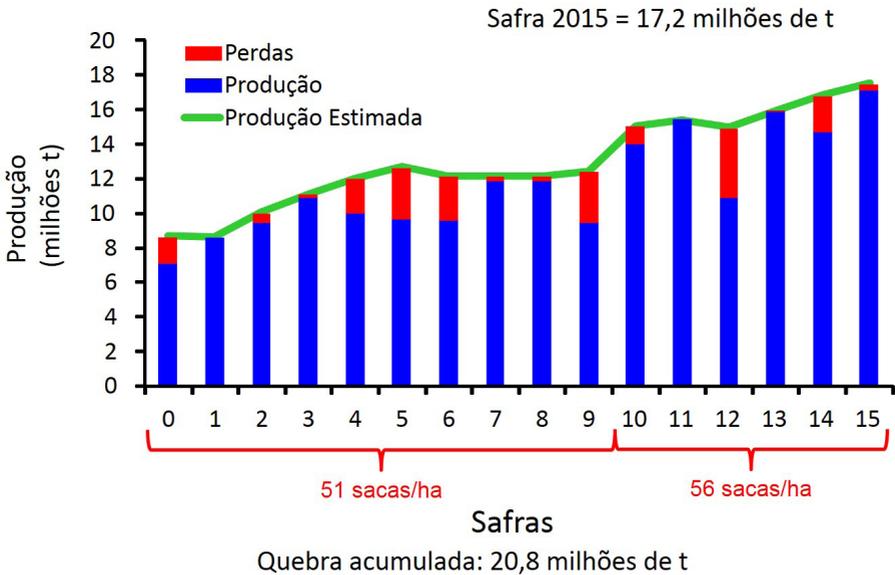


**Figura 8.** Distribuição espacial das produtividades da soja no Paraná, médias de 14 safras (1999/2000 a 2012/2013).



**Figura 9.** Distribuição espacial dos coeficientes de variação da produtividade da soja no Paraná, médias de 14 safras (1999/2000 a 2012/2013).

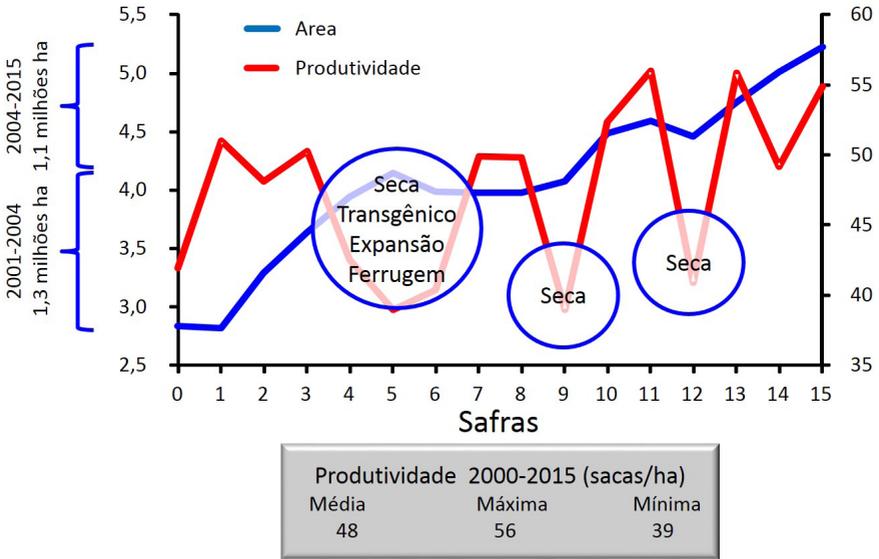
Nas últimas 16 safras, é possível estimar uma perda total de 20,8 milhões de toneladas de grãos de soja em decorrência de estresses, sobretudo por déficit hídrico (Figura 10). Essa estimativa pode ser realizada com base nas produtividades médias nos períodos avaliados. Certamente grande parte dessas perdas ocorreu em regiões que apresentam maior variação temporal de produtividade, em geral com menor altitude e com clima mais quente. Portanto, nessas regiões as práticas de manejo do sistema de produção devem focar na mitigação dos efeitos do déficit hídrico, mormente quando associados com altas temperaturas.



**Figura 10.** Estimativa de quebras de produtividade da soja no Estado do Paraná nas últimas 16 safras. Nas primeiras 10 safras analisadas adotou-se a produtividade de 51 sacas/ha como referência e nas últimas 6 safras adotou-se como referência a produtividade de 56 sacas/ha.

Fonte: CONAB (2015).

Em uma análise mais detalhada, observa-se na Figura 11 que a produtividade média da soja no Paraná nas últimas 16 safras foi de 48 sacas/ha, enquanto que a maior produtividade foi de 56 sacas/ha e a menor 39 sacas/ha. Nesses termos, apesar da cultura da soja ser considerada rústica pelos agricultores, a variação da produtividade no tempo é expressiva. No período avaliado, provavelmente os estresses que mais limitaram a produtividade foi o déficit hídrico e a ferrugem asiática. Nesse contexto, o clima é o principal fator determinante de produtividade, como ilustrado na Figura 12.



**Figura 11.** Evolução da área e da produtividade de soja no Estado do Paraná nas últimas 16 safras.

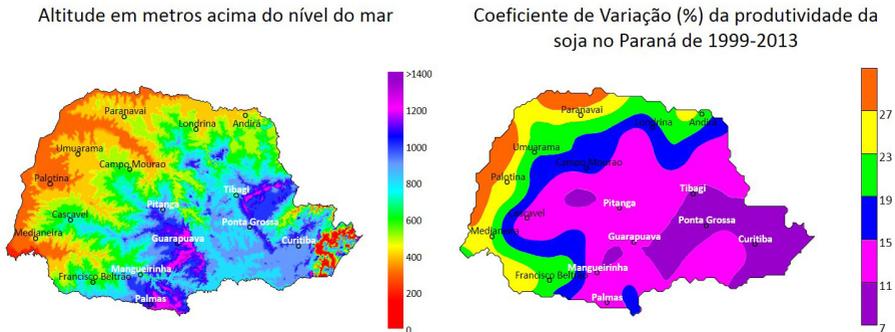
Fonte: CONAB (2015).



**Figura 12.** Principais fatores limitantes à produtividade de soja – o clima em destaque.

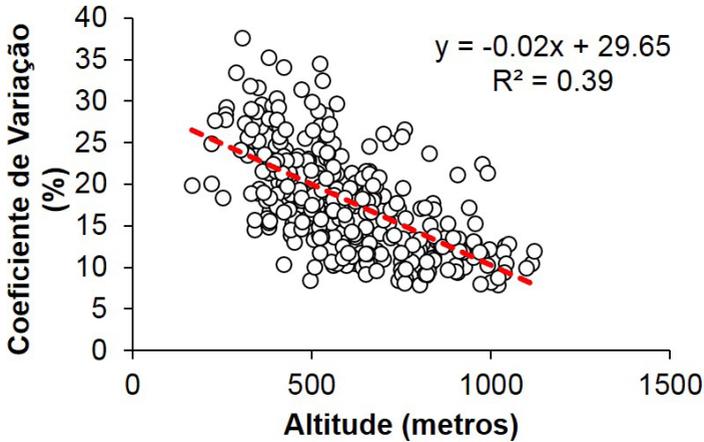
## Relação entre variáveis ambientais com a produtividade e a estabilidade de produção, nas safras de 1999/2000 a 2012/2013

O Paraná apresenta ampla variação de altitude (Figura 13). Do sul do Estado em direção à divisa com São Paulo e Mato Grosso do Sul há redução gradual da altitude. Verifica-se que há certa similaridade nos mapas de altitude e CV da produtividade nas 14 safras avaliadas.



**Figura 13.** Mapa de altitude no Paraná e distribuição espacial dos coeficientes de variação da produtividade da soja em 14 safras.

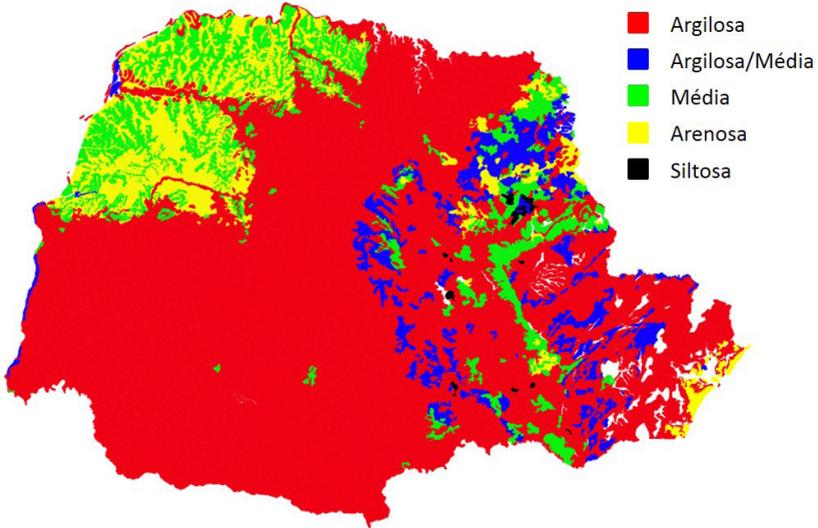
Em uma análise mais aprofundada sobre a variação temporal de produtividade no Estado, constatou-se que existe correlação linear negativa entre a altitude dos municípios e o CV da produtividade (Figura 14). Isso ocorre porque à medida que há aumento da altitude, há redução das temperaturas médias do ar, impactando diretamente na fisiologia da planta de soja, que apresenta máximo crescimento em temperaturas de 20 a 30°C (TECNOLOGIAS, 2013). As menores temperaturas propiciam menor evapotranspiração, reduzindo a probabilidade de déficit hídrico, muito prejudicial à expressão do potencial produtivo da soja, especialmente se ocorrer nas fases de florescimento e enchimento de grãos. Verifica-se que os maiores CV foram próximos de 40%, enquanto os menores foram da ordem de 7%, retratando as grandes diferenças entre municípios paranaenses quanto à estabilidade da produtividade.



**Figura 14.** Relação entre a altitude e o coeficiente de variação da produtividade da soja no Paraná.

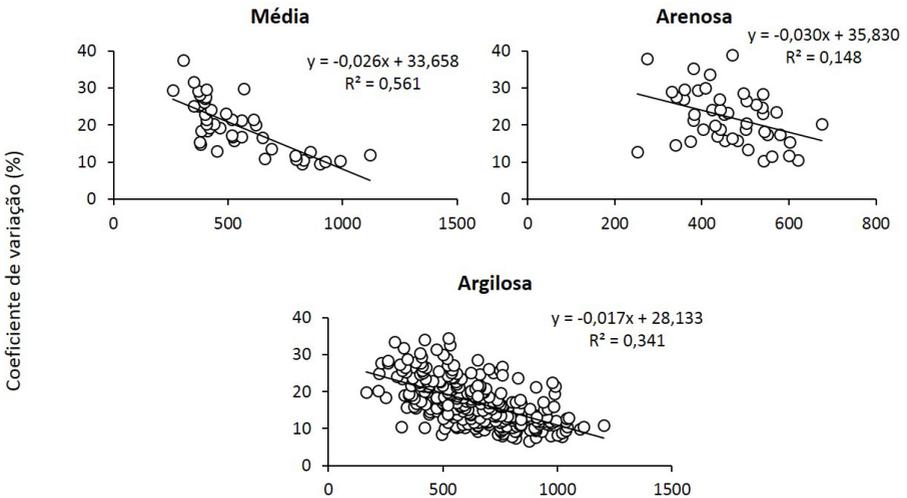
Em relação à textura do solo, grande parte das áreas agricultáveis do Paraná apresenta textura argilosa (Figura 15). A maior concentração de solos com textura média e arenosa se encontra na região Noroeste, que apresenta baixa altitude e clima quente. Solos com textura média também são observados em alguns pontos mais ao leste do Estado, onde as altitudes são elevadas e o clima mais ameno.

Na Figura 16, constata-se que a relação da altitude com o CV da produtividade da soja é dependente da textura do solo. Em solos arenosos, a relação é pequena porque a variação de altitude em que se encontra esse tipo de solo é limitada e são regiões em que a soja é pouco cultivada. Em solos argilosos a correlação entre altitude e CV também foi pequena, pois a retenção elevada de água no solo reduz os efeitos do elevado calor observado em regiões com menor altitude. Por outro lado, em solos com textura média, em que há reduzida capacidade de retenção de água no solo houve forte associação da altitude com o CV da produtividade. Ou seja, com o aumento da altitude houve redução das variações de produtividade ao longo das safras. Nesse sentido, os efeitos da altitude na estabilidade de produção da soja foram mais intensos nos solos com menores teores de argila.



**Figura 15.** Mapa de textura do solo no Paraná.

Fonte: Embrapa/Emater (1999).



**Figura 16.** Relação entre a altitude e o coeficiente de variação da produtividade da soja no Paraná em três classes de solo.

Referente à relação entre a altitude e a produtividade média de grãos de soja, verifica-se na Figura 17 que há fraca correlação entre essas variáveis, sobretudo em solos com textura argilosa e arenosa (Figura 18). Porém, há tendência de haver maiores produtividades com o incremento da altitude. Ou seja, de forma geral, o presente estudo apontou que a altitude afetou mais a estabilidade da produtividade da soja ao longo das safras do que a produtividade média. A relação entre altitude e produtividade não é mais significativa porque variáveis de solo e de manejo também afetam expressivamente a produtividade de grãos. Por exemplo, em um município baixo, com menos de 500 m de altitude, mas que apresenta solos com alta aptidão ao cultivo da soja e uso adequado de tecnologias, a produtividade média pode ser superior a de um município com elevada altitude, mas que apresenta solos com baixa aptidão à soja e que apresenta uso inadequado das tecnologias de produção. Por outro lado, em solos com textura média, observou-se forte associação da altitude com a produtividade, já que nessa condição edáfica há ampla variação de altitude e a baixa capacidade de retenção de água nesses solos maximiza os efeitos da temperatura sobre a cultura. Nesse tipo de solo, há produtividades médias elevadas em altitudes próximas de 1000 m (região de Arapoti, por exemplo) e baixas produtividades em altitudes inferiores a 500 m (Norroeste do Paraná, por exemplo).

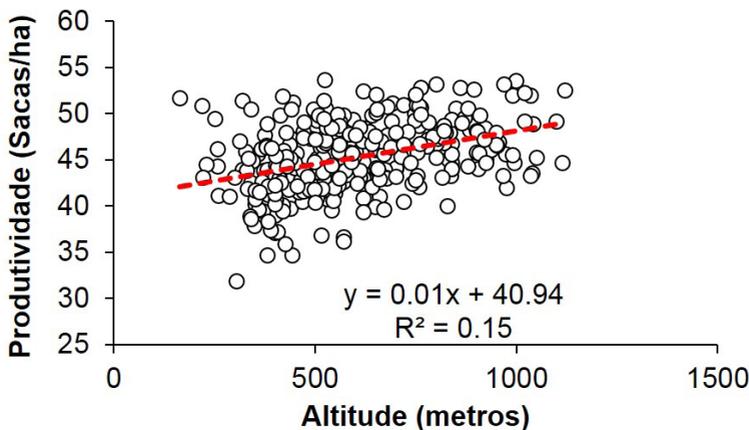
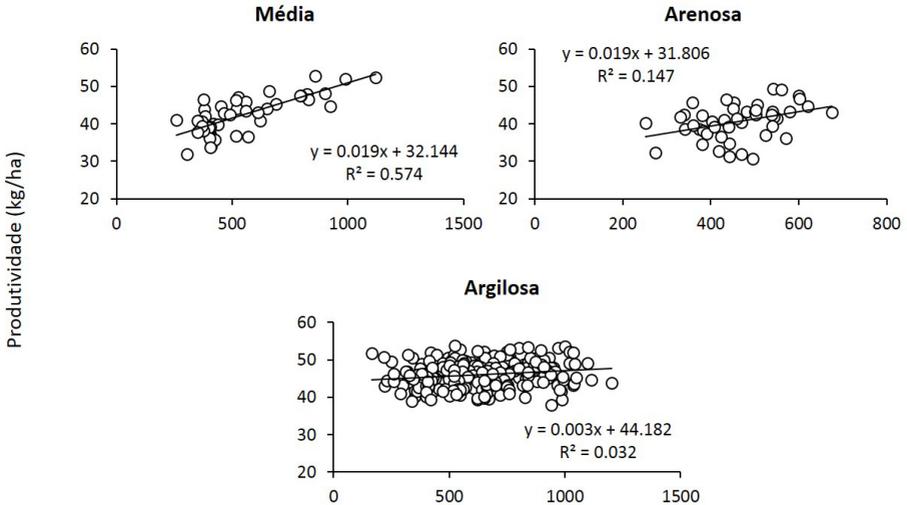


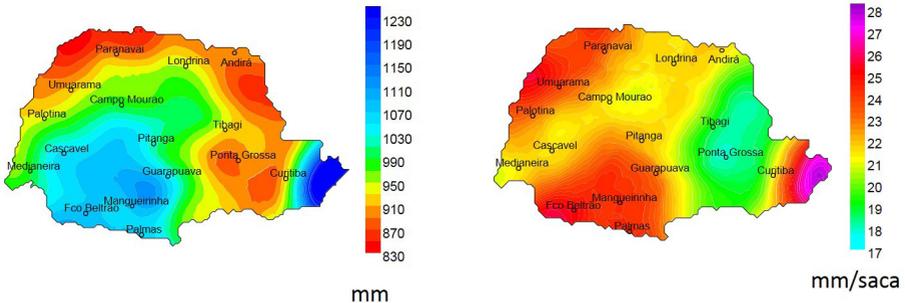
Figura 17. Relação entre a altitude e a produtividade da soja no Paraná.



**Figura 18.** Relação entre a altitude e a produtividade da soja no Paraná em três classes de solo.

Em relação à precipitação pluvial, considerando o período compreendido entre os meses de outubro e março – meses em que a soja está presente nas áreas agrícolas do Paraná, a região compreendida entre os municípios de Francisco Beltrão, Cascavel e Guarapuava é a que apresenta os maiores volumes de chuva (Figura 19). Em oposto, a região noroeste é a que apresenta o menor volume precipitado, mas, mesmo assim, superior a 800 mm nos seis meses analisados. Uma análise importante é a eficiência do aproveitamento da precipitação pela cultura da soja; ou seja, a relação entre o volume de chuvas e a produtividade da soja. Quanto maior a relação, menor é a conversão da água precipitada em produtividade de grãos. Na Figura 20, nota-se que as menores relações ocorreram nas regiões de maior altitude, como Ponta Grossa, por exemplo. Isso ocorreu, fundamentalmente porque nessas regiões as temperaturas são mais amenas e os solos possuem adequada capacidade de armazenamento de água. Por outro lado, as maiores relações entre volume precipitado e a produtividade ocorreram nas regiões sudoeste e noroeste do Estado. No caso do sudoeste do Estado, a relação é maior em função da elevada quantidade média de chuvas no

período de outubro a março (Figura 19), tendo excesso de chuvas em determinadas safras e déficit em outras. No caso da região noroeste, a eficiência de conversão das chuvas em produção de grãos ocorre em função da elevada temperatura e reduzida capacidade de retenção de água pelo solo, já que o mesmo é arenoso. A região litorânea apresentou alta relação entre precipitação e produtividade, mas a produção de soja é pouco expressiva.

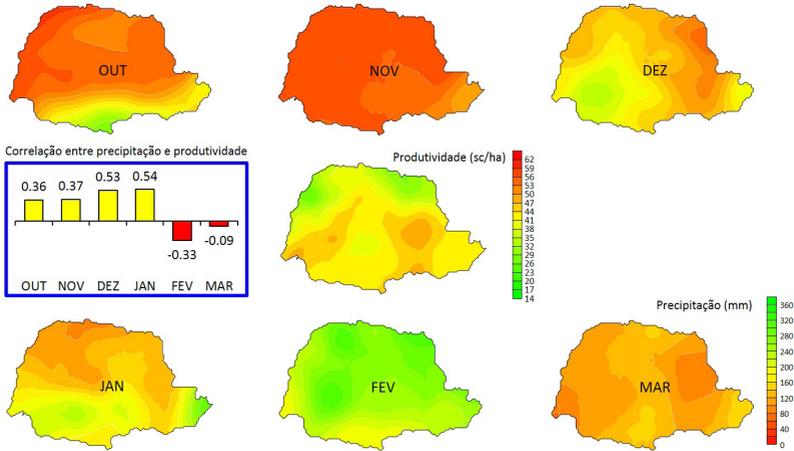


**Figura 19.** Mapa com a distribuição espacial da precipitação pluvial, média de 14 safras, nos meses de outubro a março, no Paraná (esquerda) e sua relação com a produtividade média da soja (direita).

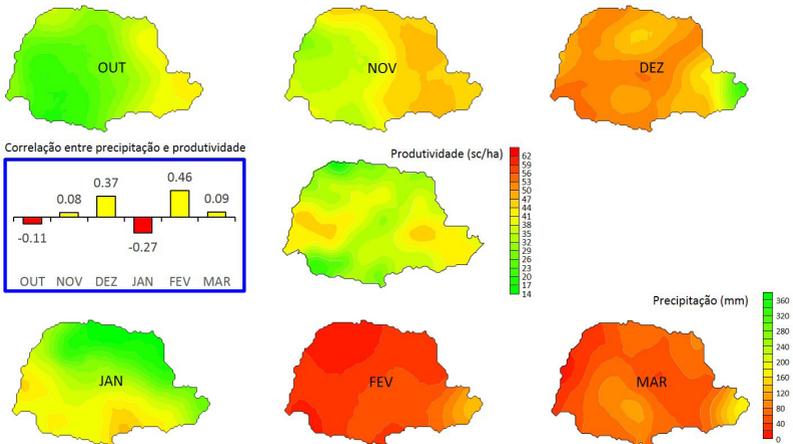
Nas Figuras 20 a 25 são apresentados alguns mapas de precipitação mensal de outubro a março no Paraná, entre as safras 1999/2000 e 2012/13. De forma geral, observa-se fraca correlação entre a precipitação mensal e a produtividade de grãos. Isso ocorre porque a disponibilidade hídrica à cultura depende de outras variáveis além da chuva, como capacidade de armazenamento de água no solo e potencial de evapotranspiração, sendo esse muito influenciado pela temperatura do ar.

Verifica-se que a correlação da precipitação mensal com a produtividade da soja é muito variável de safra para safra. Considerando as 14 safras avaliadas, houve maiores correlações positivas entre a precipitação e a produtividade nos meses de outubro e dezembro. Provavelmente isso ocorreu porque grande parte da soja cultivada nas regiões mais quentes do Estado é semeada no mês de outubro, sendo a precipitação nesse mês fundamental para o adequado estabelecimento da lavoura. Nesses casos, a soja florescerá e iniciará o enchimento de

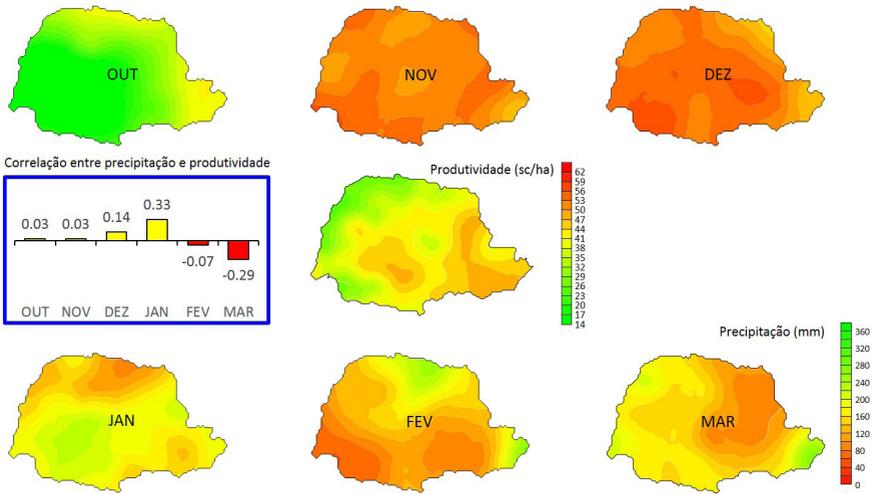
grãos no mês de dezembro, o que explica a correlação positiva entre precipitação e a produtividade nesse mês. Todavia, para os meses de fevereiro e março, em muitas safras houve correlação negativa entre a precipitação e a produtividade. Nesses meses ocorre a colheita da soja, sendo o excesso de chuva prejudicial à cultura.



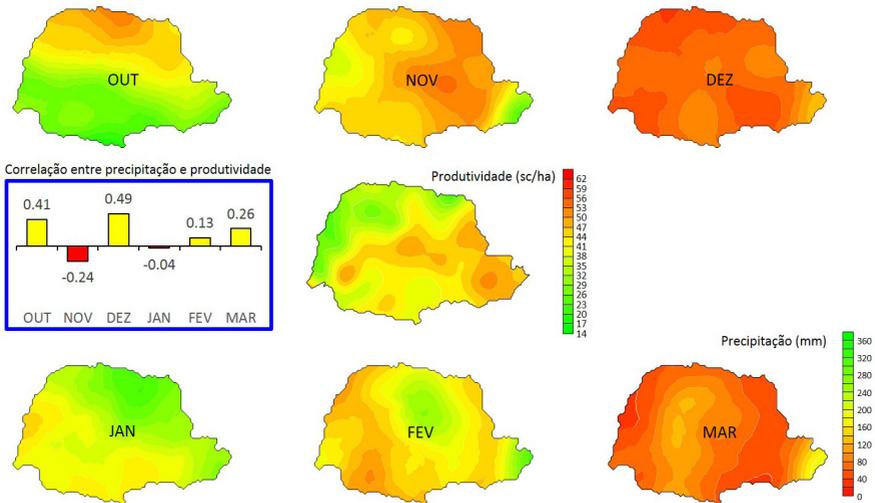
**Figura 20.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 1999/2000.



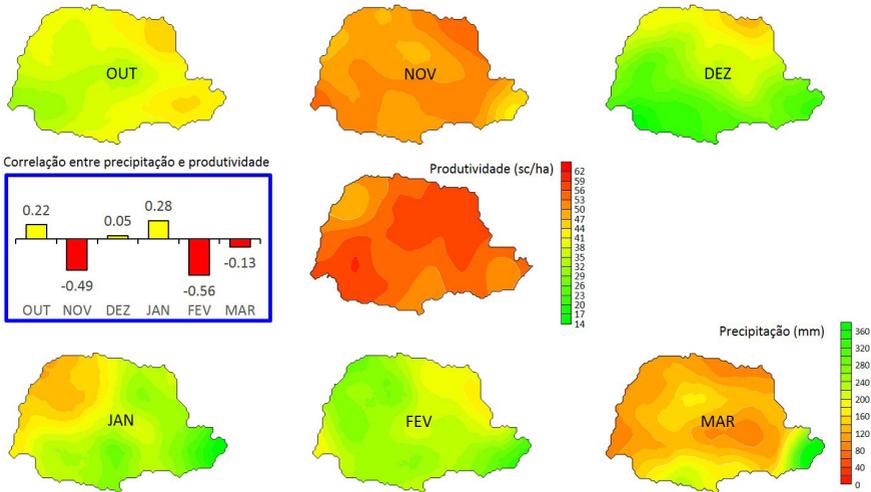
**Figura 21.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 2004/2005.



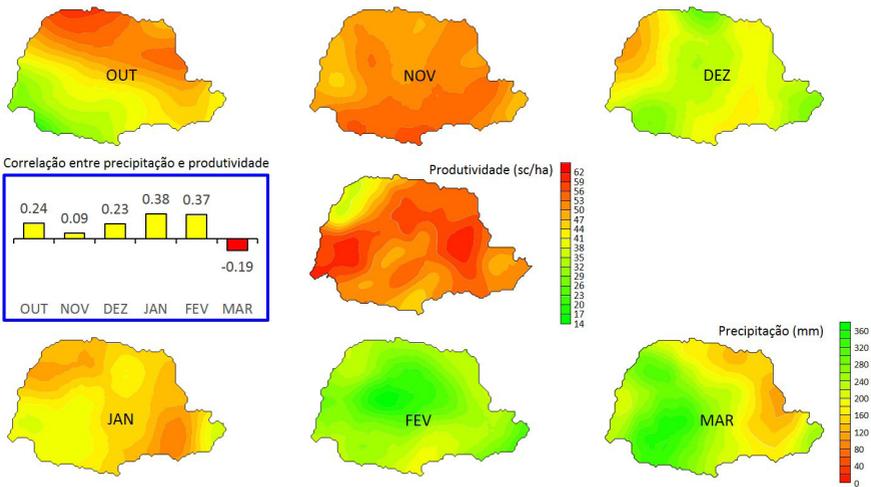
**Figura 22.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 2005/2006.



**Figura 23.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 2008/2009.

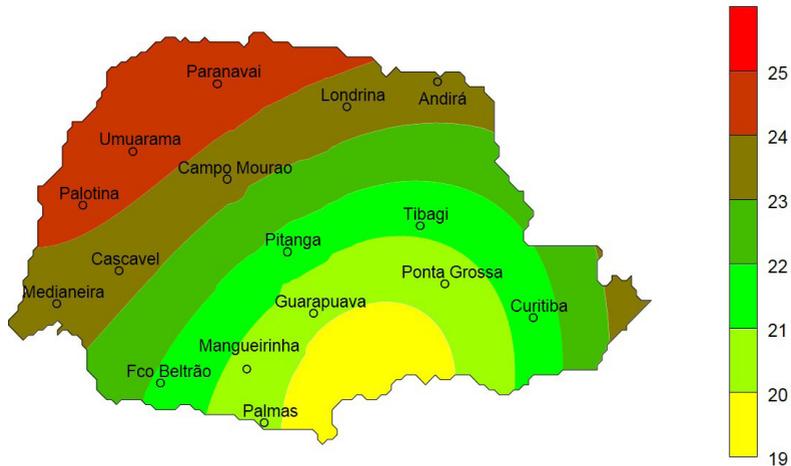


**Figura 24.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 2010/2011.



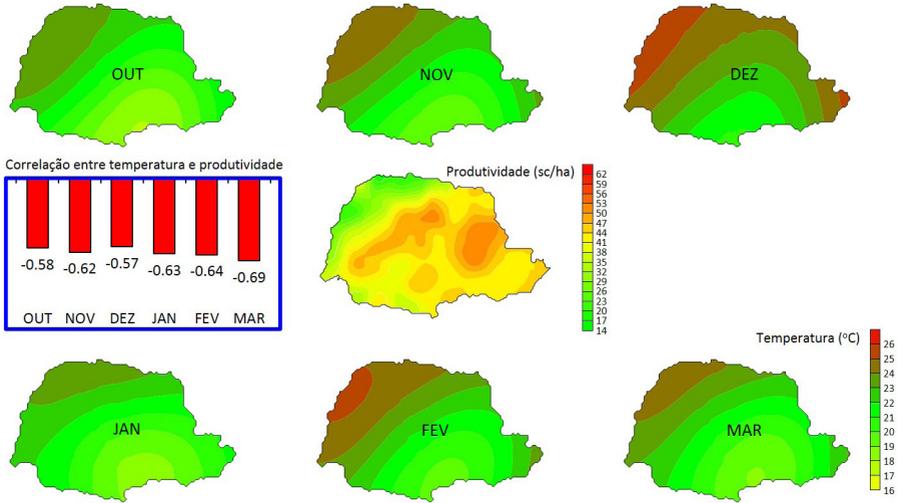
**Figura 25.** Precipitação mensal (mm), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre as precipitações mensais e a produtividade no Paraná, safra 2012/2013.

O Paraná apresenta grandes variações espaciais de temperatura do ar (Figura 26), sobretudo pela grande variação de altitude. A região noroeste, se caracteriza por apresentar as maiores temperaturas nos meses de cultivo da soja, o que, aliado à menor precipitação e à textura arenosa, gera ambiente de produção menos favorável à soja. Por outro lado, as regiões próximas de Guarapuava e de Ponta Grossa, apresentam temperaturas mais amenas, favorecendo o cultivo da oleaginosa.

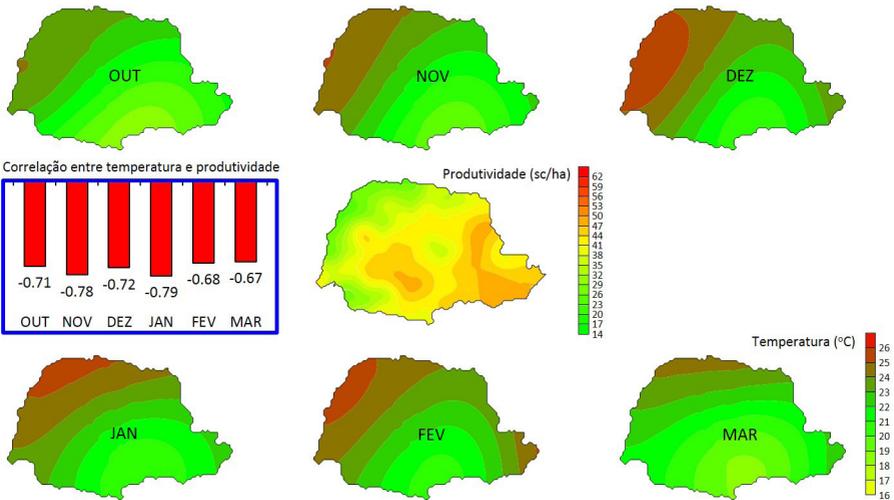


**Figura 26.** Temperatura média do ar entre outubro e março no Paraná, média de 14 safras, de 2000 a 2014.

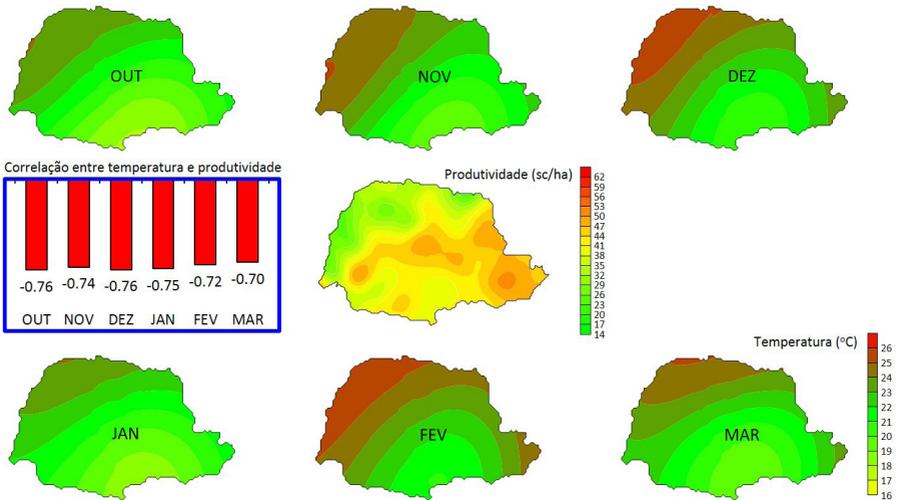
Nas Figuras 27 a 29 são apresentados os mapas de temperatura do ar (média mensal) de outubro a março no Paraná e a sua relação com a produtividade de grãos. De forma geral, observa-se correlação negativa entre a temperatura mensal e a produtividade de grãos. Nas regiões mais quentes do Estado, as altas temperaturas podem se constituir em estresse abiótico, mesmo com adequada disponibilidade hídrica, pois os picos de temperatura nos meses em que a soja é cultivada pode chegar a mais de 38 °C, muito além da faixa de temperatura adequada à cultura, 20 a 30 °C. Além disso, com o aumento da temperatura, há incremento da evapotranspiração, aumentando as chances de estresse hídrico. Verifica-se que a correlação da temperatura mensal com a produtividade da soja é muito variável entre as safras, mas em geral é negativa.



**Figura 27.** Temperatura média mensal do ar (°C), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre a temperatura média mensal e a produtividade no Paraná, safra 2003/2004.



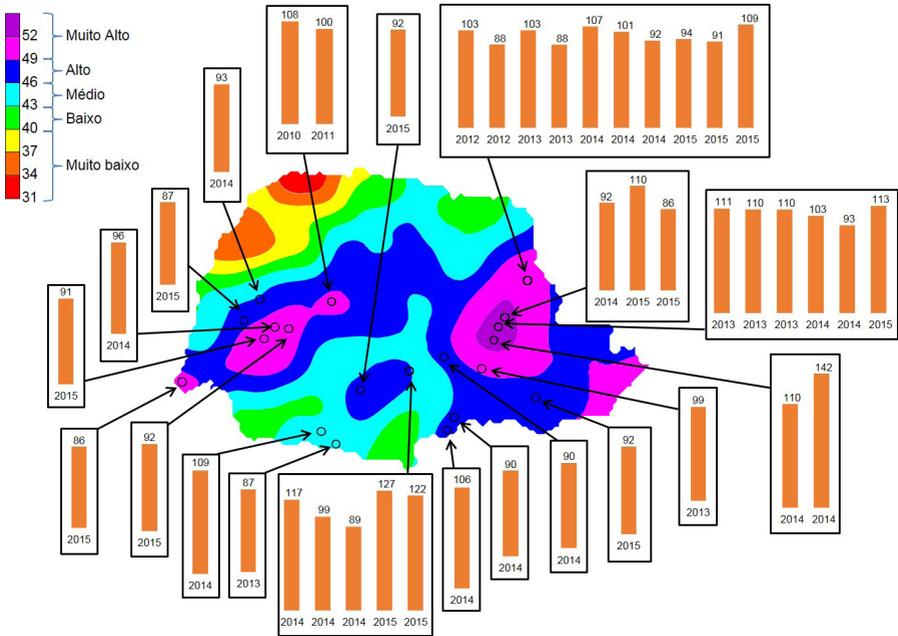
**Figura 28.** Temperatura média mensal (°C), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre a temperatura média mensal e a produtividade no Paraná, safra 2005/2006.



**Figura 29.** Temperatura média mensal (°C), produtividade da soja e coeficiente de correlação entre a temperatura média mensal e a produtividade no Paraná, safra 2008/2009.

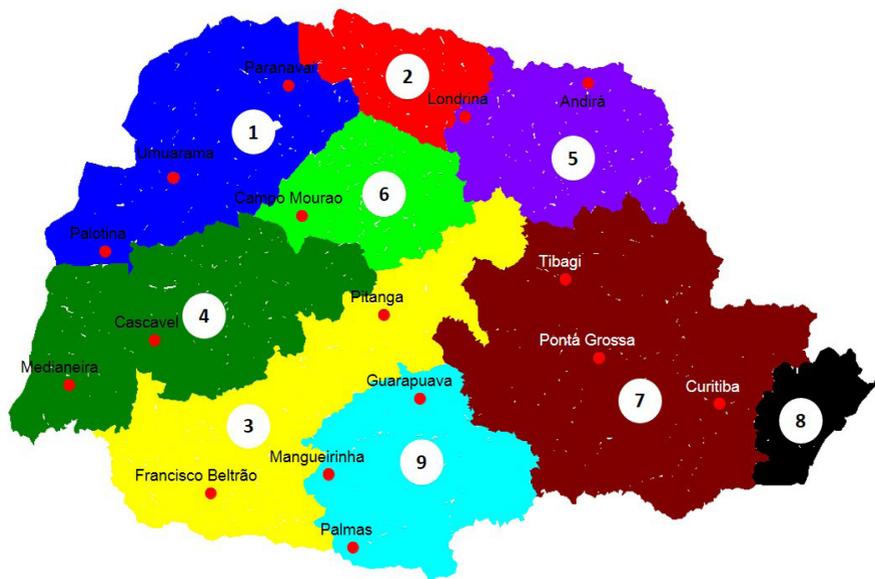
## Delimitação dos ambientes de produção de soja no Paraná

Os resultados do concurso de máxima produtividade do Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) nos últimos seis anos evidenciaram que, no Paraná, a grande maioria das áreas com produtividades superiores a 85 sacas/ha situa-se em regiões com histórico de altas produtividades e elevada oferta ambiental (Figura 30). As duas únicas exceções foram as lavouras situadas em Pato Branco e Clevelândia, que foram enquadradas como médio potencial produtivo. Isso ilustra bem a relevância de fatores naturais na determinação do potencial de produtividade da soja. Nesse contexto, o raciocínio de estimar futuras produções estaduais ou mesmo nacionais com base nas produtividades obtidas em concursos é incorreto, uma vez que a oferta ambiental é heterogênea. Em outras palavras, há regiões com sérias limitações naturais à obtenção de altas produtividades, cujas limitações não são eliminadas diretamente pelo manejo.



**Figura 30.** Localização das lavouras que produziram mais de 85 sacas/ha nas últimas seis safras no Concurso de Máxima Produtividade do Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), associada ao mapa de produtividade média de soja em 14 safras. Nesse caso, as produtividades foram categorizadas de muito baixo a muito alto. Na figura, são apresentadas as produtividades obtidas (sacas/ha) e safra.

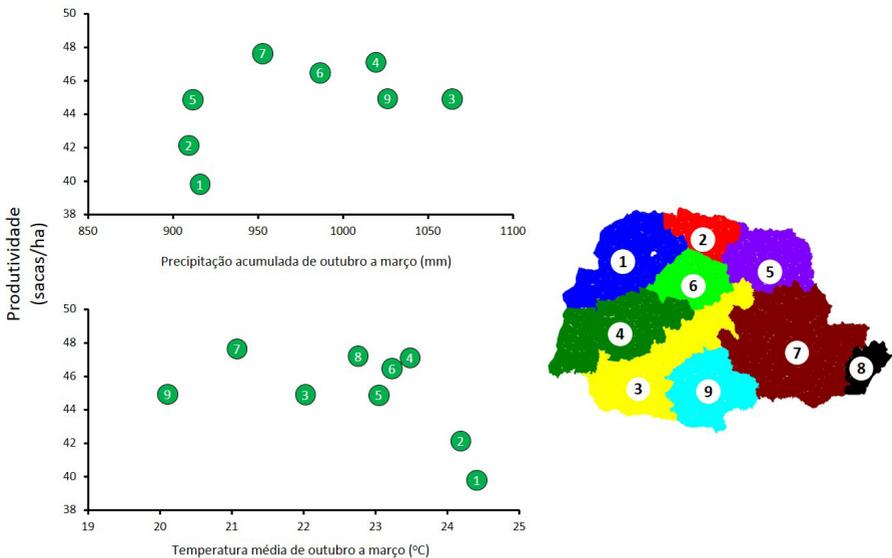
Por meio de análise de agrupamento e com base em dados climáticos, altitude e produtividade de grãos, foi possível definir nove ambientes homogêneos de produção de soja no PR (Figura 31). Os ambientes 4 e 7 são os mais favoráveis ao cultivo da soja no Estado. Por outro lado o ambiente 1 é o mais limitante ao cultivo da oleaginosa. Os demais ambientes possuem potencial intermediário. No ambiente 8 praticamente não há cultivo de soja. Enfatiza-se que a definição dos ambientes de produção ora apresentada é preliminar. Uma análise pormenorizada está em andamento, visando detalhar o comportamento dentro dos ambientes e, possivelmente, a subdivisão de alguns deles.



**Figura 31.** Ambientes de produção definidos com base em dados climáticos, altitude e desempenho da cultura da soja.

Os ambientes 1, 2 e 5 apresentam os menores volumes de precipitação pluvial no período de outubro a março, enquanto que o ambiente 3 apresenta o maior volume de chuvas nesse período do ano (Figura 32). Os demais ambientes apresentam precipitações intermediárias. É importante observar que os ambientes 4 e 7 – mais favoráveis à soja – não apresentam as maiores precipitações. Outra constatação é que os ambientes 1, 2 e 5 apresentam precipitações similares no período de cultivo da soja, todavia a produtividade média no ambiente 5 foi de 45,5 sacas/ha e no ambiente 1 foi de apenas 39,5 sacas/ha. Isso indica que outros fatores de ambiente e de manejo afetam expressivamente a resposta produtiva da soja à precipitação. Nesse caso, no ambiente 1, o clima quente associado à presença de solos arenosos limita a produtividade da oleaginosa. Por outro lado, no ambiente 5 as temperaturas são um pouco mais amenas e o solo mais argiloso, com maior capacidade de retenção de água.

Com relação à temperatura do ar, verifica-se que nos dois ambientes mais quentes há menores produtividades (Figura 32). A região 9, que apresenta a menor temperatura média do ar, não apresenta a maior produtividade média. Nesse ambiente, talvez a produtividade seja limitada por temperaturas muito baixas ou outro fator de produção não identificado nesse trabalho. O ambiente 7 - mais favorável à produção da soja - apresenta temperatura média do ar no período de outubro a março de 21 °C. Por outro lado, o ambiente 4, também favorável à produção de soja e que apresenta grande área cultivada com a oleaginosa, apresenta temperatura média de 23,5 °C.



**Figura 32.** Relação entre a precipitação acumulada e a temperatura média do ar de outubro a março com a produtividade média de grãos de soja nos nove ambientes de produção do Paraná.

Por meio do conhecimento dos ambientes de produção é possível delinear estratégias de manejo para aumentar a rentabilidade e a estabilidade de produção da soja frente às potencialidades e fragilidades de cada ambiente. Para os ambientes favoráveis, especialmente 4 e 7, as

práticas de manejo devem focar altas produtividades, maximizando o aproveitamento da oferta ambiental. Nesses ambientes, o investimento em cultivares produtivas, fertilização, defesa fitossanitária e maquinário de alta performance é justificado, uma vez que os fatores naturais são favoráveis à **conversão dos investimentos em produtividade e, consequentemente, rentabilidade**. Além disso, esses ambientes apresentam maior estabilidade de produção, reduzindo os riscos de insucesso econômico da sojicultura. Esse conhecimento é fundamental para ajustar trabalhos de pesquisa, transferência de tecnologia, assistência técnica e políticas públicas no sentido de estimular a obtenção de altas produtividades nesses ambientes favoráveis.

Nos ambiente menos favoráveis – especialmente 1 e 2 – as práticas de manejo devem focar o aumento da estabilidade de produção, para tornar a cultura viável frente às restrições naturais. Nesses ambientes, o investimento em alta tecnologia pode não se refletir em aumento de rentabilidade, uma vez que há restrições de ordem ambiental, as quais limitam a produtividade da cultura – lei dos mínimos. Nesses ambientes, os principais estresses que limitam a produtividade é o déficit hídrico e/ou calor excessivo. A convivência com esses estresses pode se fundamentar nas seguintes práticas de manejo:

Ajuste na época de semeadura para reduzir as chances de haver incidência de déficit hídrico no período de pleno florescimento e enchimento de grãos. Nesse caso, uma alternativa é semear a soja tão logo haja umidade no solo (geralmente início de outubro). Nesse caso, em meados de janeiro, quando há alta probabilidade de déficit hídrico e calor excessivo, a cultura já está no final de enchimento de grãos, reduzindo os prejuízos se comparado à semeadura no final de outubro ou em novembro.

Escolha de cultivares de soja com maior tolerância ao calor e ao déficit hídrico. As cultivares com grupo de maturidade relativa de 6.0 a 6.7 têm sido preferidas. Cultivares mais precoces não são indicadas em ambientes de produção limitantes, pois apresentam menor tempo em

cada fase fenológica, de tal forma que toleram menos os estresses.

Manejo do solo seguindo os fundamentos do Sistema Plantio Direto (SPD) – diversificação de culturas, cobertura do solo, mínima mobilização e continuidade do manejo. O SPD possibilita maiores produtividades de soja, comparativamente a sistemas de preparo que mobilizam o solo em situação de baixo índice de satisfação das necessidades hídricas da cultura (FRANCHINI et al., 2012).

Uso do Sistema Integração Lavoura-Pecuária (SILP). O uso de pastagens perenes ou anuais, associadas à cultura da soja, é relevante para melhorar a qualidade do solo, mormente atributos físicos e biológicos, contribuindo para aumentar a estabilidade da cultura da soja frente a estresses (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; FRANCHINI et al., 2014).

Correção química do solo até camadas subsuperficiais (abaixo de 40 cm). Nesse caso, o perfil de solo corrigido em termos de pH e disponibilidade de nutrientes estimula o crescimento de raízes em camadas abaixo de 20 cm, aumentando o volume de solo explorado pelo sistema de raízes das plantas e, por consequência, reduzindo os danos ocasionados pela restrição hídrica.

Nos ambiente menos favoráveis à sojicultura no Paraná há necessidade de ajuste nos trabalhos de pesquisa e transferência de tecnologia para aumentar a viabilidade econômica da cultura, já que o seu uso é relevante para o desenvolvimento regional. Para esses ambientes, há necessidade de uma ampla discussão acerca de políticas públicas que visem estimular o uso de tecnologias para melhorar a convivência com estresses, sobretudo déficit hídrico e calor.

## **Considerações finais**

A cultura da soja apresenta elevada importância econômica, social e ambiental no Paraná. Nos últimos 15 anos, a sojicultura evoluiu expressivamente no Estado, tanto em área cultivada quanto em

produtividade. No entanto, há elevada variabilidade espacial e temporal na produtividade de grãos. O fator ambiental mais fortemente associado à produtividade da soja é a temperatura do ar. O Paraná apresenta regiões com baixa altitude, com clima excessivamente quente na primavera/verão, aumentando o estresse por calor e/ou déficit hídrico. Contudo, também apresenta regiões com altitude superior a 700 m, que apresentam características climáticas mais favoráveis à soja.

O entendimento da variabilidade espacial e temporal de produção de soja é fundamental para definir ambientes de produção para a oleaginosa - áreas homogêneas para produção. O presente trabalho delimitou nove ambientes de produção de soja. Nos ambientes com alto potencial, as práticas de manejo dos sistemas de produção em que a soja está inserida devem focar altas produtividades. Por outro lado, em ambientes menos propícios para a soja, as práticas de manejo devem focar a estabilidade de produtividade e a viabilidade da cultura, considerando as peculiaridades regionais. O conhecimento sobre os ambientes de produção de soja pode auxiliar no planejamento de ações de pesquisa, transferência de tecnologia, assistência técnica e políticas públicas. Por fim, o trabalho ora desenvolvido para o PR pode ser realizado em outros Estados, contribuindo para o entendimento da evolução da cultura da soja no espaço e no tempo, bem como a determinação de regiões mais ou menos propícias à oleaginosa.

## Referências

- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. M., CARAMORI, P. H., OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná – edição 2000, versão 1.0**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2000. 1 CD-ROM.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: v. 2, safra 2014/15, n. 7, Sétimo levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2015. 100p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; EMATER. Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Escala 1: 250.000, 1999.
- FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SICHIERI, F. R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, p. 999-1005, 2014.
- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and growing systems over two decades in Southern Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.137, p.178-185, 2012.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social . **Caderno Estatístico Estado do Paraná**. Disponível em <<http://www.ipardes.gov.br>> . Acesso em 10 nov. 2015.

LANCE, G. N.; WILLIAMS, W. T. A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. **Computer Journal**, Oxford, v.9, p.373-380, 1967.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V .F. **Conhecendo os principais solos do Paraná**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual do Paraná, 2012. 18p.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

**Embrapa**

---

**Soja**

MINISTÉRIO DA  
**AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13093