



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E  
MELHORAMENTO DE PLANTAS**

**USO DE FERRAMENTAS DE  
GEOPROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DE  
MAPAS DE RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES  
PARA A MACRORREGIÃO SOJÍCOLA 3  
DO BRASIL**

**LUIZ ANTONIO CARDOSO JÚNIOR**

Orientador:  
**Prof. João Batista Duarte**

**LUIZ ANTONIO CARDOSO JÚNIOR**

**USO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA  
OBTENÇÃO DE MAPAS DE RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES PARA  
A MACRORREGIÃO SOJÍCOLA 3 DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientador:

**Prof. Dr. João Batista Duarte**

Co-orientador:

**Dr. Odilon Lemos de Mello Filho**

Goiânia, GO – Brasil  
2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

Cardoso Júnior, Luiz Antonio.  
C268u      Uso de ferramentas de geoprocessamento para obtenção de mapas de recomendação de cultivares para a macrorregião sojícola 3 do Brasil [manuscrito] / Luiz Antonio Cardoso Júnior. - 2013.  
101 f.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Duarte; Co-orientador: Dr. Odilon Lemos de Mello Filho  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2013.  
Bibliografia.  
Inclui Apêndices.  
1. Soja – Melhoramento genético    2. Mapas de adaptabilidade genotípica  
3. Genótipo e ambiente – Interação  
4. Meio ambiente - Soja I. Título.

CDU:633.34

À minha querida esposa Dayana Ananda, a  
minha filha Izabel, aos meus pais Luiz  
Antonio e Luciene e ao meu irmão Murilo,

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, da Universidade Federal de Goiás (UFG), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, indispensável à conclusão deste curso.

À Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos / UFG, em especial aos seus professores, pela formação, ensinamentos e auxílio no esclarecimento de dúvidas.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) / UFG, em especial aos professores Dr. Laerte Guimarães Ferreira e Dr. Manuel Eduardo Ferreira, e aos estudantes Genival Fernandes Rocha, Janete Rego Silva, Arielle Arantes, Silvio Braz de Sousa, pela imprescindível colaboração na obtenção dos dados de satélites e no uso dos aplicativos SIG.

Ao convênio Embrapa/Emater-GO/CTPA, em especial ao Dr. Odilon Lemos de Mello Filho, pesquisador da Embrapa Soja, pela oportunidade de aprendizagem no âmbito do programa de melhoramento da soja sob sua coordenação; extensivo também aos demais pesquisadores, Dr. José Nunes Júnior, Dr. Mauricio Meyer, Eng. Agr. Alexander Seii, pela atenção dedicada sempre que precisamos.

Ao Prof. Dr. João Batista Duarte, pelos longos quase sete anos de orientação, desde os tempos de iniciação científica até o mestrado.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Patrícia Guimarães Santos Melo, pela atenção dedicada e ajuda na elucidação das dúvidas que surgiram.

Ao amigos, Cláudio Roberto Cardoso de Godoi, Vilmar de Araujo Pontes Júnior e Adriano Câmara, pela amizade e companheirismo durante a jornada acadêmica.

A todos os familiares, pelo apoio e incentivo aos estudos.

Ao Dr. José Francisco de Toledo, sua esposa Adrienne e aos novos colegas de trabalho da Nidera Sementes Ltda., que me apoiaram na finalização deste trabalho.

A Deus, por ter propiciado a oportunidade de realização deste mestrado, bem como a de conhecer, conviver e aprender com todas as pessoas, aqui citadas ou não.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1      INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2      REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1    ORIGEM E IMPORTÂNCIA DA SOJA .....	16
2.2    EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CULTURA .....	17
2.2.1    Precipitação pluviométrica .....	17
2.2.2    Evapotranspiração .....	18
2.2.3    Latitude .....	19
2.2.4    Altitude .....	20
2.3    INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES (GxA) .....	21
2.3.1    Conceitos gerais .....	21
2.3.2    Regionalização dos testes de VCU em soja .....	25
2.4    GEOPROCESSAMENTO .....	27
2.4.1    Sensoriamento remoto .....	27
2.4.2    Sistema de informações geográficas (SIG) .....	31
<b>3      MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1    REGIÃO ALVO DO ESTUDO .....	33
3.2    MATERIAL GENÉTICO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	34
3.3    OBTENÇÃO DE DADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO .....	36
3.3.1    Confecção do mapa da Macrorregião Sojícola 3 .....	36
3.3.2    Processamento da imagem de altitude .....	36
3.3.3    Processamento das imagens de latitude e longitude .....	38
3.3.4    Processamento das imagens de evapotranspiração .....	38
3.3.5    Processamento das imagens de precipitação pluviométrica .....	40
3.4    ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	41
3.4.1    Análises individuais de variância .....	41
3.4.2    Análises conjuntas e estimação da interação GxA .....	42
3.5    IDENTIFICAÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS RELACIONADOS À INTERAÇÃO GxA .....	44
3.6    INFERÊNCIA ESPACIAL ASSOCIADA À INTERAÇÃO GxA .....	45
3.6.1    Criação de imagens das variáveis explicativas .....	45
3.6.2    Geração dos mapas de adaptabilidade genotípica .....	46
<b>4      RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1    INTERAÇÃO GxA EM SOJA TRANSGÊNICA RR .....	48
4.1.1    Genótipos de ciclo superprecoce .....	48
4.1.1.1    Análise da variação fenotípica .....	48
4.1.1.2    Variáveis ambientais associadas à interação GxA .....	53
4.1.1.3    Inferência espacial da adaptabilidade genotípica .....	56

<b>4.1.2</b>	<b>Genótipos de ciclo precoce</b> .....	58
4.1.2.1	Análise da variação fenotípica .....	58
4.1.2.2	Variáveis ambientais associadas à interação GxA .....	60
4.1.2.3	Inferência espacial da adaptabilidade genotípica .....	62
<b>4.1.3</b>	<b>Genótipos de ciclo médio</b> .....	64
4.1.3.1	Análise da variação fenotípica .....	64
4.1.3.2	Variáveis ambientais associadas à interação GxA .....	65
4.1.3.3	Inferência espacial da adaptabilidade genotípica .....	67
<b>4.2</b>	<b>INTERAÇÃO GxA EM SOJA CONVENCIONAL</b> .....	68
<b>4.2.1</b>	<b>Genótipos de ciclo superprecoce</b> .....	68
4.2.1.1	Análise da variação fenotípica e da interação GxA .....	68
4.2.1.2	Inferência sobre adaptabilidade e estabilidade genotípica .....	69
<b>4.2.2</b>	<b>Genótipos de ciclos precoce e médio</b> .....	71
4.2.2.1	Análise da variação fenotípica e da interação GxA .....	71
4.2.2.2	Inferência sobre adaptabilidade e estabilidade genotípica .....	73
<b>4.3</b>	<b>SÍNTESE DA RECOMENDAÇÃO DE GENÓTIPOS</b> .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	81
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
	<b>APÊNDICES</b> .....	88

## RESUMO

CARDOSO JÚNIOR, L. A. **Uso de ferramentas de geoprocessamento para obtenção de mapas de recomendação de cultivares para a Macrorregião Sojícola 3 do Brasil**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)—Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2012<sup>1</sup>.

A interação de genótipos com ambientes (GxA) é um fenômeno amplamente estudado em plantas e animais. Em plantas, essa interação é caracterizada pelo comportamento não consistente dos genótipos ou cultivares em diferentes ambientes. O fenômeno é um complicador ao trabalho dos melhoristas, pois suscita a necessidade, ou de recomendações de cultivares agronomicamente estáveis, porém quase sempre com rendimentos sub-ótimos; ou recomendações específicas de cultivares para cada tipo particular de ambiente (sub-região) a ser identificado na região alvo das inferências (zoneamento agrônomico). Assim, representa, ao mesmo tempo, uma oportunidade para se maximizar os rendimentos de uma cultura numa dada região produtora. Para que haja maior segurança na recomendação, há necessidade de que se conheça, por meio de ensaios varietais, a resposta dos genótipos às inúmeras variações ambientais que podem acontecer na região. Estas variações representam, na realidade, uma mistura de efeitos de fatores previsíveis e imprevisíveis do ambiente. Os primeiros estão sob relativo controle do melhorista (tipos de solo, épocas de plantio, densidade de semeadura etc.), enquanto os outros são representados principalmente pelas variações erráticas do clima, como quantidade e distribuição de chuvas, temperatura, variação no fotoperíodo, ocorrência de pragas etc. Na maioria das espécies cultivadas, os melhoristas ainda optam por recomendar um genótipo estável para toda a região alvo (genótipo amplamente adaptado), em detrimento à alternativa do zoneamento agrônomico, que, embora de maior potencial, é mais difícil de ser implementada, pois requer maior nível de conhecimento das variações ambientais. Logo, cabe ao melhorista caracterizar adequadamente os ambientes de recomendação, mediante conhecimento ou controle dos fatores ambientais determinantes no rendimento da cultura. Nesse contexto, a utilização de variáveis ambientais com efeito sobre a interação GxA, obtidas através de recursos de sensoriamento remoto, associada às facilidades de tratamento de informações espacializadas por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), representa um grande potencial a ser explorado no campo da caracterização de ambientes para fins de melhor explicação e uso de conceitos como a adaptabilidade genotípica em plantas. O resultado disto, obtido via confecção de mapas de adaptabilidade, certamente repercutirá em recomendações mais informativas e seguras. O presente trabalho buscou estudar e caracterizar a interação GxA em soja, na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, com o objetivo de identificar fatores ambientais que expliquem, pelo menos em parte, a variação associada a essa interação, incorporando-os nos mapas de adaptabilidade genotípica. Foram utilizados dados de produtividade de grãos provenientes de ensaios de “valor de cultivo e uso” (VCU), coordenados pela Embrapa Soja. Cinco grupos de experimentos foram considerados, os do tipo soja RR (genótipos transgênicos resistentes ao herbicida glifosato – *Roundup Ready*®), com três grupos de maturação (super precoce, precoce e médio), e os do tipo soja convencional, divididos em dois grupos (super precoce e precoce/médio). As variáveis ambientais avaliadas foram: latitude, longitude, altitude, evapotranspiração e precipitação pluviométrica. As duas últimas foram tomadas em diferentes fases do desenvolvimento da cultura. As imagens referentes às informações

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. João Batista Duarte. EA-UFG.

Co-orientador: Dr. Odilon Lemos de Mello e Filho. Embrapa Soja.



de latitude e longitude foram obtidas pela criação de um polígono quadriculado, com as dimensões máximas da área em estudo e resolução de 1,0 km x 1,0 km, mesma resolução das imagens do sensor Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). As imagens referentes às demais variáveis foram obtidas por sensoriamento remoto. O ambiente computacional SIG foi o ArcGis 9, desenvolvido por Environmental Systems Research Institute. Para a identificação das variáveis ambientais com influência na interação GxA, utilizou-se o método *stepwise* de regressões lineares simples, no qual se regrediram estimativas genotípicas da interação GxA para produtividade sobre os valores de cada uma destas variáveis. Os modelos ajustados, com as variáveis explicativas selecionadas para cada grupo experimental, foram implementados no aplicativo Envi 4.8, levando à obtenção da imagem referente à inferência espacial da adaptabilidade fenotípica de cada genótipo. As classes de adaptabilidade foram geradas no aplicativo ArcMap 9.3. A interação GxA apresentou efeito linear significativo ( $p < 0,05$ ) nos cinco grupos de experimentos. As variáveis ambientais avaliadas, em geral, tiveram participação significativa na interação GxA, explicando, em um ou outro grupo, parte desta interação. As variáveis mais importantes no grupo de soja RR foram: i) super precoces – altitude, longitude e precipitação pluvial acumulada do plantio à maturação; ii) precoces – precipitação acumulada do plantio à maturação, altitude e longitude; iii) ciclo médio – evapotranspiração acumulada da floração à maturação, altitude e precipitação acumulada do plantio à maturação. No grupo de soja convencional foram: i) super precoces – precipitação acumulada da floração à maturação, evapotranspiração acumulada da floração à maturação, latitude e precipitação acumulada do plantio à floração; ii) precoce/médio – precipitação acumulada do plantio à maturação, evapotranspiração acumulada da floração à maturação, e latitude. Demonstrou-se, assim, que o uso das variáveis obtidas por sensoriamento remoto auxilia na explicação da variabilidade associada à interação GxA em soja. Sua associação ao ambiente computacional SIG, materializada nos mapas de adaptabilidade, agrega valor à recomendação de cultivares em soja, pois facilita a delimitação das regiões de adaptação de cada genótipo na população de ambientes, bem como a interpretação do complexo fenômeno da interação GxA.

*Palavras-chave:* interação genótipo-ambiente, *Glycine max*, adaptabilidade, estabilidade, regressão *stepwise*, aplicação de SIG.

## ABSTRACT

CARDOSO JÚNIOR, L. A. **Using geoprocessing tools to obtain maps for cultivar recommendation in Brazilian Soybean Agricultural Macroregion 3.** 2012. 101 p. Dissertation (Master in Genetic and Plant Breeding)–Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2012<sup>2</sup>.

The genotype by environment (GE) interaction is a widely studied phenomenon in plants and animals. This interaction is characterized in plants by the inconsistent performance of genotypes or cultivars in different environments. The phenomenon hinders the work of breeders, because requires either agronomically stable cultivars recommendation, which almost always have sub-optimal yields, or specific cultivars recommendation for each particular kind of environment (sub-region) to be identified in the target region (agronomic zoning). But it is also an opportunity to maximize the crop yields in a given producing region. For more reliable recommendations, the genotype response needs to be known to the innumerable environmental variations that can occur in the region. These variations represent, in reality, a mixture of environmental effects of predictable and unpredictable factors. The first are under the relative control of the breeder (soil type, planting date, sowing density, etc.), while the others are represented mainly by the erratic variations in climate, such as the rainfall quantity and distribution, temperature, light period variation, pests occurrence, etc. In most cultivated species, breeders still choose to recommend a stable genotype for the whole target region (widely adapted genotype) in detriment the alternative of agronomic zoning, which, in spite of its greater potential, is more difficult to perform because it requires more detailed knowledge about the environmental variations. Thus the breeder should properly characterize the environments of recommendation by knowledge or control of the environmental factors that determine the crop yield. In this context, using environmental variables with effect on the GE interaction, obtained by remote sensor resources, associated to the facilities of spatial data treatment by the Geographic Information Systems (GIS), has great potential for exploitation in the field of environment characterization to better explain and use the concepts like genotypic adaptability in plants. The result, obtained by making adaptability maps, will certainly provide more informative and reliable recommendations. The objective of this study was to characterize the GE interaction in soybean in the Brazilian Soybean Cropping Macroregion 3, looking for environmental factors that explain, at least in part, the variation associated to this interaction, incorporating them in the genotypic adaptability maps. Grain yield data were used from final variety trials, called in Brazil as VCU trials (cropping and use value) trials, coordinated by the Embrapa Soja (Brazilian Agricultural Research Corporation, Soybean Center). Five groups of experiments were considered, between those of RR soybean (resistant to glyphosphate herbicide genetically modified genotypes – Roundup Ready<sup>®</sup>), with three maturity groups (very early, early and medium), and those of conventional soybean, divided into two groups (very early and early/medium). The following environmental variables were assessed: latitude, longitude, altitude, evotranspiration and rainfall. The last two were taken at different phases of the crop development. The images of the latitude and longitude data were obtained by creating a square crossline polygon with the maximum dimensions of the area under study, with 1.0 km x 1.0 km resolution, the same resolution as the images from the Modis sensor. The images for the other variables were obtained by remote probing. The SIG computational

---

<sup>2</sup> Adviser: Prof. Dr. João Batista Duarte. EA-UFG.

Coadviser: Dr. Odilon Lemos de Mello e Filho. Embrapa Soja.

environment used was the ArcGis 9, developed by Environmental Systems Research Institute. The stepwise method of simple linear regressions was used to identify the environmental variables that influenced the GE interaction, where the yield genotypic estimates of the GE interaction were regressed on the values of each one of these variables. The fitted models, with the explicative variables selected for each experimental group, were implemented in the Envi 4.8 software, so that an image was obtained referring to the spatial inference of the phenotypic adaptability of each genotype. The adaptability classes were generated in the ArcMap 9.3 software. The GE interaction showed significant linear effect ( $p < 0.05$ ) in the five experimental groups. The environmental variables assessed, in general, contributed significantly to the GE interaction, explaining part of this interaction in one or other group. The most important variables in RR soybean group were: i) very early – altitude, longitude and accumulated rainfall from plantation to maturity; ii) early – accumulated rainfall from plantation to maturity, altitude and longitude; iii) medium – cycle accumulated evapotranspiration from flowering to maturity, altitude and accumulated rainfall from plantation to maturity. In the conventional soybean group they were: i) very early – accumulated rainfall from flowering to maturity, accumulated evapotranspiration from flowering to maturity, latitude and accumulated rainfall from plantation to maturity; ii) early/medium – accumulated rainfall from plantation to maturity, evotranspiration from flowering to maturity and latitude. Thus, it was shown that the use of the variables obtained by remote sensors help to explain the variability associated to the GE interaction in soybean. Its association to the GIS software, represented by the adaptability maps, aggregate value to the recommendation of soybean cultivars, because it make more easy delimiting the adaptation regions of each genotype in the target environmental population. This also contributes for a better interpretation of the complex phenomenon of the GE interaction.

**Keywords:** genotype-environment interaction, *Glycine max*, adaptability, stability, stepwise regression, GIS application.

## 1 INTRODUÇÃO

A primeira referência sobre a soja no Brasil data de 1882, relatando seu cultivo na Bahia. Em 1908, imigrantes japoneses introduziram-na em São Paulo; em 1914, E. C. Craig introduziu-a no Rio Grande do Sul e, em 1949, foi realizada a primeira exportação de soja brasileira (Sediyama et al., 2005). A soja é uma das mais importantes culturas do país, respondendo por 40% de sua produção total de grãos e 20% de suas exportações. No mundo, a soja brasileira responde por aproximadamente 27% do mercado, sendo que o Brasil, além de ser o maior exportador, é também o segundo maior produtor (Verneti & Verneti Júnior, 2009).

Os programas de melhoramento genético de plantas, em geral, enfrentam problemas relacionados à recomendação de cultivares. Normalmente buscam-se genótipos estáveis, que apresentem pouca variação frente às mudanças de locais e/ou épocas de plantio, e com alta produtividade nesses ambientes, o que usualmente não ocorre. Um dos fatores que muito contribui para isto é a interação de genótipos com ambientes (GxA), que faz com que o comportamento relativo dos genótipos se expresse diferentemente diante das variações ambientais. Assim, embora a sua presença represente também uma oportunidade de maximizar os rendimentos produtivos, a modificação no ordenamento das médias genotípicas, sob variação nos ambientes de cultivo, representa uma dificuldade nesse processo de recomendação.

Para que se possa avaliar o comportamento das cultivares e a presença ou não da interação GxA, os locais em que estas são avaliados são selecionados considerando a dissimilaridade dos ambientes. A resposta dos genótipos aos ambientes é, então, utilizada para decidir sobre a escolha de recomendações generalizadas ou a oportunidade da exploração de recomendações particulares de cultivares para ambientes ou regiões (Chaves, 2001). Por isso, os estudos de interação GxA devem ser realizados em locais representativos das regiões de cultivo da espécie, no intuito de aproveitar de maneira eficiente os efeitos variáveis das respostas dos materiais genéticos, a fim de melhor caracterizar sua adaptabilidade e estabilidade.

O aproveitamento desses estudos com a incorporação de variáveis edafoclimáticas, obtidas, por exemplo, via sensoriamento remoto, pode ajudar a melhor prever e caracterizar essa adaptabilidade dos genótipos. Nesse sentido, o zoneamento ecológico, pode ser realizado com o objetivo de atenuar os efeitos da interação GxA. Esta estratégia tem como objetivo agrupar ambientes ecologicamente semelhantes, em sub-regiões ou zonas de recomendação, dentro das quais a interação deixa de ser significativa. Isto, entretanto, só é efetivo para diferenças macroambientais previsíveis, de modo que efeitos de variações imprevisíveis que ocorrem no ambiente não sejam considerados; o que inclui normalmente também a interação de genótipos com anos (Ramalho et al., 1993).

Deve-se acrescentar que os métodos de análise estatística utilizados nesse tipo de estudo, em geral, não levam em consideração a distribuição espacial das variáveis explicativas envolvidas na manifestação da interação GxA. Assim, a visão espacializada e geográfica de dados de algumas dessas variáveis, por meio de mapas, representa elemento útil para a melhor compreensão desse fenômeno. Um mapa é um modelo simplificado da realidade, onde a informação geográfica é apresentada de forma espacializada e em escala diretamente acessível (Barbosa, 1997). Nesse contexto, a preparação de mapas com foco na localização exata de características físicas dos ambientes mostra-se intrinsecamente ligada ao problema rotineiro de recomendação de cultivares em melhoramento de plantas (Martins, 2004).

A recomendação de cultivares de soja no Brasil ainda é feita de maneira uniforme, para toda a extensão geográfica da região que cada local de teste representa. Existe, porém, a possibilidade de refinamento dessa recomendação mediante o uso de variáveis ambientais georreferenciadas e que tenham influência significativa sobre a interação GxA. Neste caso, o comportamento variável da resposta genotípica dentro da região poderia ser estimado para cada posição geográfica em que houver informação específica destas variáveis ambientais. Assim, sobretudo no que tange à interação GxA do tipo cruzada, na qual ocorrem trocas de classificação genotípica com a mudança dos locais de teste, há perspectivas muito animadoras de ganhos no processo de recomendação com o emprego desse tipo de informação e tecnologia.

Com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, os pesquisadores têm à sua disposição uma ampla quantidade de informações acerca do ambiente terrestre. Satélites captam diariamente imagens do mundo todo, com várias finalidades. Essas imagens, uma vez tratadas por algoritmos específicos, produzem informações acerca de

variáveis ou fatores ambientais de diversas naturezas. Atualmente, são monitorados por esse tipo de tecnologia fatores como temperatura, fotoperíodo, evapotranspiração, radiação solar, nebulosidade, precipitação pluviométrica potencial, entre outros menos erráticos, como latitude, longitude e altitude. E, variáveis como estas podem ser utilizadas para uma melhor explicação científica de fenômenos complexos como a interação GxA.

Nas últimas décadas, com o uso de recursos dos chamados “sistemas de informações geográficas” (SIG), capazes de tratar esse tipo de dados de forma espacial, o entendimento da variação de ambiente relacionada às culturas agrícolas tornou-se componente essencial da pesquisa agrônoma. Com essas ferramentas, previsões de comportamento produtivo de cultivares podem ser produzidas ou interpoladas, com maior precisão, para outros locais além daqueles onde se realizaram os testes (Martins, 2004).

No processo de avaliação de genótipos em plantas, a utilização de variáveis auxiliares (covariáveis) com efeito significativo sobre a interação GxA, associadas ao uso de recursos de SIG, pode resultar numa melhor caracterização dos ambientes, com repercussão positiva na explicação da adaptabilidade genotípica. O resultado disso, obtido via confecção de mapas de adaptabilidade dos genótipos, deve repercutir diretamente em recomendações mais informativas e seguras, para a cultura e sua respectiva região produtora. Apesar desse potencial, aplicações dessa natureza ainda têm sido pouco exploradas por melhoristas de plantas, que, na maioria das vezes, fundamentam suas recomendações unicamente nas variáveis coletadas diretamente no campo experimental. Muito disso se deve ao desconhecimento das facilidades de emprego e obtenção de informações de variáveis ambientais por sensoriamento remoto.

A recomendação de cultivares é uma das fases mais difíceis a ser trabalhada pelos melhoristas de plantas. Recomendações equivocadas de podem trazer grandes prejuízos para os produtores e, conseqüentemente, gerar menor volume de comercialização dessas cultivares. Logo, justificam-se estudos com novas abordagens, com o objetivo de disponibilizar ferramentas alternativas para o melhoramento genético, que venham auxiliar na precisa caracterização dos genótipos e, assim, reduzir os problemas relacionados à recomendação de cultivares, sobretudo para ambientes de baixa produtividade.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo estudar a interação GxA para produtividade de grãos em soja, buscando entender e caracterizar melhor as relações entre essa interação e variáveis ambientais outras inerentes à região (altitude, latitude, longitude, precipitação pluviométrica e evapotranspiração). Então, fez-se uso da informação

associada a estas relações para gerar, em ambiente SIG, mapas de adaptabilidade dos genótipos avaliados, buscando subsidiar o processo de recomendação de cultivares. Os objetivos específicos foram: i) realizar análises estatísticas individuais e conjuntas de ensaios de VCU (valor de cultivo e uso) conduzidos em Goiás, na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil; ii) identificar e estimar os efeitos de variáveis ambientais com contribuição significativa sobre a variação associada à interação GxA; e iii) confeccionar mapas de adaptabilidade produtiva para cada linhagem e cultivar (genótipos) sob avaliação, levando-se em conta os efeitos estimados das variáveis ambientais selecionadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ORIGEM E IMPORTÂNCIA DA SOJA

A soja tem como centro de origem a região nordeste da China, sendo que a sua referência mais antiga consta no herbário Pen Ts ao Kang Mu (matéria médica), escrito pelo imperador Shen Nung. Seis datas são encontradas na literatura como a de surgimento deste livro, variando de 2838 a.C. a 2383 a.C (Bonetti, 1981, citado por Sedyama et al., 2005). Por outro lado, a soja aparece descrita como sendo conhecida pelo homem há mais de 5.000 anos. Da China, com o crescimento do comércio, a soja foi levada para Coréia, Japão e sudeste da Ásia (Bonetti, 1981, citado por Sedyama et al., 2005).

Os primeiros relatos sobre experimentação com soja no Brasil datam do século XIX, na Bahia. Em 1891, começaram os estudos no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e, em seguida, testes varietais no Rio Grande do Sul (Calvo & Kiihl, 2005). Em 1975, foi criado o Centro Nacional de Pesquisa de Soja da Embrapa, e iniciaram também os investimentos da iniciativa privada com o melhoramento da cultura. Os ganhos genéticos decorrentes desta atividade, em produtividade de grãos, foram estimados por Toledo et al. (1990), como 0,9% ao ano. Outras estimativas dão conta de ganhos entre zero a 71,5 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (3,49% ao ano), dependendo do grupo de maturação e da região (Lange & Federizzi, 2009). Assim, o melhoramento genético da soja tem buscado a obtenção de genótipos superiores para a reunião de uma série de atributos favoráveis, que confirmam melhor adaptabilidade e resulte em maior produtividade de grãos, de modo a satisfazer as exigências do mercado (Faria et al., 2007).

A soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial. No Brasil, o valor exportado pelos produtos do ‘complexo soja’ representou, em 2009, 22,8% das exportações no agronegócio e 9,1% das exportações do país (Lazzarotto & Hirakuri, 2010). Atualmente, a soja é a principal cultura agrícola nacional, representando aproximadamente 46,5% do total de grãos produzidos no país, 161,5 milhões de toneladas de grãos. A



produção estimada na safra 2011/2012 foi de 66,38 milhões de toneladas, já a estimativa para a safra 2012/2013 supera 80 milhões de toneladas, superior em 20% à produção obtida na safra 2011/2012 (Conab, 2012).

## 2.2 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CULTURA

As relações entre os elementos climáticos e a produção agrícola são bastante complexas, pois os fatores do ambiente podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sob diferentes formas e nas diversas fases do ciclo da cultura (Camargo et al., 1986). O ambiente exerce influência muito grande no comportamento das cultivares de soja, especialmente por efeito de fatores como: fertilidade do solo, disponibilidade de água, temperatura, luminosidade, fotoperíodo e ocorrência de pragas e doenças (Embrapa, 2012). Dado o interesse, neste estudo, de avaliar a influência de alguns destes fatores sobre as respostas diferenciais de cultivares, apresenta-se a seguir uma breve nesse sentido.

### 2.2.1 Precipitação pluviométrica

A água constitui aproximadamente 90% do peso das plantas, nas fases vegetativa e reprodutiva, e atua em praticamente todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual, gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Tem, ainda, papel importante na manutenção e distribuição do calor (Embrapa, 2010). De maneira geral, a água é disponibilizada às plantas através da chuva. Isto faz com que fatores ambientais como a precipitação pluviométrica assumam importância fundamental na produção de grãos (Martins, 2004).

A necessidade de água na soja, durante seu ciclo fenológico, varia entre 450 mm e 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Os períodos mais críticos em relação à disponibilidade hídrica são os que correspondem à germinação/emergência e à floração/enchimento de grãos. Durante o primeiro destes períodos, tanto o excesso quanto a escassez de água são prejudiciais à obtenção de boa uniformidade na população de plantas. No segundo período, o estresse hídrico expressivo, aliado à baixa umidade relativa do ar, pode provocar queda das flores, vagens e folhas, além de acelerar a senescência das plantas, reduzindo a fase destinada ao enchimento de grãos e, conseqüentemente, a produtividade (Farias et al., 2011).

### 2.2.2 Evapotranspiração

Uma forma de se estudar as relações hídricas das plantas é considerar que o movimento da água através do solo para o interior das raízes, seguido do movimento no interior da planta e, por fim, a sua saída para o exterior na forma de vapor, são processos fortemente interligados. Assim, existe um fluxo contínuo de água desde o solo até a atmosfera, através da planta, que permite tratar o movimento da água como um sistema análogo ao do fluxo elétrico num sistema condutor. Logo, pode ser descrito de forma análoga à Lei de Ohm, na qual se afirma que o fluxo de energia ocorre devido à diferença de potencial entre dois pontos, no caso, o solo e a atmosfera, através de um condutor que apresenta determinada resistência, que seria o vegetal com diferenças de potencial ao longo de seu organismo (Van Den Honert, 1948, citado por Brisson et al., 1993). Segundo estes autores, a evapotranspiração é uma informação obtida através de outras variáveis e está relacionada a outros fatores como potencial hídrico do solo e seu limite inferior na retenção de água (ponto de murcha permanente), bem como a capacidade de captação de água pelo vegetal e a temperatura, que refletem no resultado do balanço hídrico. Tais fatores interferem principalmente no metabolismo de vegetais de ciclo curto, em razão destes terem menos tempo para completar seu ciclo e se recuperar de estresses.

Thornthwaite & Wilm (1944), citados por Camargo & Camargo (2000), consideraram a evapotranspiração potencial (ETp) um elemento meteorológico normal, padrão, representando a precipitação necessária para atender à necessidade de água da cobertura vegetal. Assim, ETp é processo oposto à precipitação, representando a água que retorna forçosamente para a atmosfera, em estado gasoso, e depende da energia solar disponível na superfície do terreno para vaporizá-la. A precipitação é medida de maneira fácil e direta em pluviômetros; porém, a evaporação e a transpiração das plantas necessitam ser estimadas indiretamente, por meio de fórmulas que dependem das temperaturas máxima e mínima, da umidade relativa do ar, bem como da velocidade do vento, radiação solar, precipitação pluviométrica e evaporação.

Em outros termos, a evapotranspiração potencial corresponde ao processo de transferência da água do solo para a atmosfera, ou à passagem da água do estado líquido para o gasoso. Tal processo requer suprimento de energia, e a principal fonte disponível para isso é a radiação solar. Logo, ETp é mais elevada no verão, quando os dias são mais

longos e a radiação solar é maior. Nos trópicos, a energia solar e ETp no curso do ano são significativamente mais elevadas que em locais de clima temperado.

Na cultura da soja, a evapotranspiração é considerada uma variável ambiental muito importante. Isso porque fatores ambientais que influenciam no ciclo e no crescimento da cultura, como disponibilidade de água, temperatura e radiação solar, estão a ela diretamente relacionadas, além de serem utilizados na sua estimativa. Esta variável ambiental representa tanto a quantidade de água consumida pela planta, quanto a de água perdida através da evaporação, em condições naturais de disponibilidade hídrica (Matzenauer et al., 2003).

### **2.2.3 Latitude**

A latitude influencia diretamente o fotoperíodo, que afeta o comportamento das cultivares de soja e faz com que elas apresentem modificações no seu ciclo, altura da planta e, por consequência, na produtividade. As cultivares de soja, em geral, são altamente sensíveis às variações de fotoperíodo, característica que restringe a adaptabilidade mais ampla da cultura. Entretanto, cultivares que apresentam a característica “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando a sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes (locais) e de épocas de semeadura (Embrapa, 2010).

A sensibilidade ao fotoperíodo é variável entre cultivares, já que cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Por essa razão, a soja é considerada planta de dias curtos (Farias et al., 2011); ou, mais precisamente, planta de noites longas. Em função desta característica e do grau de resposta ao estímulo fotoperiódico, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que ocorre o seu deslocamento em direção ao norte ou ao sul. Para ilustrar, consideremos o seguinte exemplo: em Uberaba – MG (latitude 19°S), as cultivares BRSMG 251 (Robusta) e MG/BR 46 (Conquista) atingem a maturação com cerca de 130 dias; já em Sorriso – MT (latitude 15°S), Conquista chega ao ponto de colheita aos 110 dias, enquanto Robusta, aos 120 dias (Embrapa, 2012).

Segundo Rodrigues (2001), em dias longos a taxa de desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é menor. Em regiões de baixas latitudes, onde o comprimento do dia é menor (noites longas), o florescimento das plantas de soja ocorre mais cedo. Assim, a descoberta e incorporação da característica “período juvenil longo” (PJL) foi primordial

para o desenvolvimento de novas cultivares para essas regiões. As cultivares com esta característica não são induzidas ao florescimento até determinado período do desenvolvimento vegetativo, e, só depois, são induzidas pelo fotoperíodo a entrarem nos estágios reprodutivos.

Nas cultivares de soja mais sensíveis, a resposta ao fotoperíodo é quantitativa, e não absoluta, o que significa que a floração ocorrerá de qualquer modo. No entanto, o tempo requerido para tal dependerá do comprimento do dia, sendo mais rápida a indução sob dias curtos do que sob dias longos. A indução floral provoca a transformação dos meristemas vegetativos (diferenciação de talos e folhas) em meristemas reprodutivos (primórdios florais), determinando a altura final da planta (número de nós). Assim, quando o florescimento ocorre precocemente (poucos dias após a emergência), a planta não desenvolve ramos e folhas suficientes para gerarem grande número de flores e legumes. Quando a floração é muito retardada, o crescimento vegetativo é excessivo e, mesmo com grande massa verde, a planta também acaba produzindo poucos grãos. Este balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo é um dos principais fatores de produção em soja e a alteração de seu equilíbrio interfere na máxima produção de grãos e, por conseguinte, no seu potencial de rendimento (Mundstock & Thomas, 2005).

#### **2.2.4 Altitude**

A influência da altitude na cultura da soja se dá de forma indireta, já que esta influencia também a temperatura. Numa mesma latitude, a temperatura média decresce com a elevação da altitude. E, tanto o ciclo, quanto o crescimento vegetativo da soja são influenciados pela temperatura: quanto maior a altitude, maiores serão o ciclo e a altura das plantas. Dessa forma, nas maiores altitudes deve-se diminuir a população de plantas para reduzir o risco de acamamento (Embrapa, 2010). Existe, portanto, uma relação inversa entre a temperatura média e o número de dias necessários para a floração: temperaturas mais baixas causam aumento no período para que ocorra o florescimento.

A soja se adapta melhor a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C. A temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo em temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, pois provocam distúrbios na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. A floração somente

é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. Parker & Borthwick (1943), citados por Rodrigues et al. (2001), observaram que a indução floral foi ótima quando a temperatura nas folhas esteve entre 21°C e 27°C à noite, e poucos primórdios florais foram formados quando ficou acima de 27°C.

As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma mesma cultivar, semeada numa mesma época, acontecem, por isso, em geral devido às variações de temperatura. Assim, a floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, o que pode acarretar também diminuição na altura de planta e maturação mais acelerada (Embrapa, 2010).

## 2.3 INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES (GxA)

### 2.3.1 Conceitos gerais

De todas as fases de um programa de melhoramento de plantas, a **avaliação dos genótipos em diferentes condições ambientais representa, em geral, a fase mais trabalhosa e mais cara**. Dessa forma, o **programa fica limitado pela capacidade de avaliação experimental**. Qualquer ganho nesta fase representa, portanto, um **ganho em eficiência em todo processo**. Assim, um bom entendimento da interação de genótipos com ambientes poderá contribuir para o **aproveitamento de seus efeitos benéficos**, bem como para contornar seus efeitos indesejáveis sobre a avaliação de genótipos e a recomendação de cultivares (Chaves, 2001).

A interação de genótipos com ambientes (GxA) é um fenômeno amplamente estudado em plantas e animais. Em plantas, essa interação é caracterizada pelo comportamento não consistente dos genótipos ou cultivares em diferentes ambientes. O fenômeno, em geral, é um complicador ao trabalho dos melhoristas. Isso porque, segundo **Ramalho et al. (2008), suscita a necessidade de recomendação de cultivares agronomicamente estáveis, porém quase sempre com rendimentos sub-ótimos; ou de recomendações específicas de cultivares para cada tipo particular de ambiente (sub-região) a ser identificado na região alvo das inferências (zoneamento agrônomo)**. Logo, se representa um complicador, também é, ao mesmo tempo, uma oportunidade para se **maximizar os rendimentos de uma cultura numa dada região**.



O fenótipo é resultado da ação conjunta do genótipo, do ambiente e da interação entre o genótipo e o ambiente. Esse último componente reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações do ambiente, resultando em mudanças de seus desempenhos relativos. Assim, a expressão fenotípica de determinado caráter pode ter sua magnitude reduzida ou aumentada, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético com a seleção (Rocha & Vello, 1999).

As causas da interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado. Como os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, desde a semeadura até a maturação, diante da interação GxA pode haver comportamento diferenciado em termos de respostas às variações ambientais (Cruz & Regazzi, 2001). Por isso, quando são utilizados poucos locais de teste para se fazer a recomendação de cultivares, estes podem não ser suficientes para a obtenção de resultados conclusivos acerca da variação sofrida pelas cultivares.

Para que se tenha maior segurança na recomendação, há necessidade de que se conheça a resposta dos genótipos às inúmeras variações ambientais que podem acontecer na região; pois, o desempenho dos genótipos em avaliação pode ser diferenciado, com trocas de ordenamento nas médias de produtividade, diante de mudanças nos locais e/ou anos de cultivo. Desta forma, os ensaios devem ser constituídos em redes, procurando-se amostrar as variações espaciais e temporais, previsíveis e imprevisíveis, que ocorrem entre ambientes.

Segundo Chaves (2001), dos fatores previsíveis do ambiente pode-se citar o tipo de solo, as tecnologias aplicadas, a época de plantio, a latitude e altitude, entre outros. Os fatores imprevisíveis são representados principalmente pelas variações erráticas do clima, como quantidade e distribuição de chuvas, temperatura, ocorrência de geadas etc. Portanto, o efeito do ambiente representa, na realidade, uma mistura de efeitos de fatores fixos (previsíveis) e aleatórios (imprevisíveis).

O aproveitamento dos efeitos favoráveis da interação GxA implica em que se tenha, para cada ambiente, o genótipo mais adaptado. Quanto mais previsível for o ambiente de uma lavoura, maior será a possibilidade de aproveitamento dos efeitos da interação. Um desafio, portanto, na avaliação de cultivares para a recomendação será obter o máximo de caracterização dos ambientes de teste, para possibilitar maior previsibilidade no ambiente de cada agricultor. O ideal seria se os efeitos ambientais pudessem ser



tomados como fixos, ou que a parte fixa da interação pudesse ser medida e seus resultados utilizados na recomendação de cultivares (Chaves, 2001). Nesse contexto, os estudos de interação GxA devem ser realizados para se aproveitar da melhor maneira os efeitos variáveis de respostas dos materiais genéticos, a fim de melhor caracterizar suas adaptabilidades e estabilidades.

Quando o efeito da interação GxA é significativo, os melhoristas de soja selecionam os genótipos com rendimento médio superior ao longo dos locais e anos, para serem lançados como novas cultivares. Assim, os genótipos escolhidos para serem recomendados comercialmente normalmente são aqueles mais estáveis, que podem crescer bem em diferentes ambientes e proporcionar maiores rendimentos médios. Segundo



Ramalho et al. (1993), a identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica é a estratégia que tem sido mais empregada nos programas de melhoramento. Neste contexto, uma alternativa para aproveitamento ou controle da interação GxA é a utilização de análises estatísticas de estabilidade, que são utilizadas a fim de determinar cultivares altamente estáveis para determinadas regiões (Arslanoglu & Aytac, 2010).

Um dos modelos mais amplamente usados para avaliar estabilidade fenotípica é o de Eberhart & Russell (1966). Os parâmetros considerados nesse modelo são a média geral, o coeficiente de regressão linear de cada genótipo (que mede a resposta do genótipo  $i$  à variação nos ambientes), e a variância dos desvios da regressão de cada genótipo. Por esse modelo, em primeiro lugar considera-se a média genotípica. Assim, genótipos com médias adequadas e reduzidos desvios da regressão são considerados e avaliados para o coeficiente de regressão linear, que define a adaptabilidade do genótipo. Dentre esses genótipos, os que apresentarem coeficientes de regressão significativos e superiores à unidade são considerados responsivos e especialmente adaptados a ambientes favoráveis. Aqueles que apresentarem coeficientes de regressão estatisticamente inferiores à unidade são considerados mais rústicos, ou especificamente adaptados a ambientes desfavoráveis ou de estresse. E, genótipos com tal coeficiente não diferindo de 1,0 apresentam resposta média à variação ambiental e são mais adaptados a ambientes médios (Chaves, 2001).

Outra opção que pode ser utilizada para o melhor aproveitamento da interação GxA é a identificação de cultivares com adaptação específica a determinados ambientes. Os genótipos são avaliados em vários ambientes e através da análise dos dados são identificados os mais adaptados para cada ambiente específico (Ramalho et al., 1993). Essa opção sendo empregada poderia aumentar a produção total das regiões específicas; pois a

linhagem escolhida como cultivar, em decorrência de sua maior estabilidade em toda a região, em geral apresenta boa média de produção, mas não é a mais produtiva em regiões específicas. Porém, essa alternativa é pouco utilizada por instituições de pesquisa, pois elas teriam que manter um portfólio com maior número de cultivares e com menor produção de sementes por cultivar.

Em síntese, a recomendação de cultivares é a fase mais importante de um programa de melhoramento, embora tenda a ser limitada aos locais de teste e suas áreas circundantes. Mesmo na presença de muitos locais de teste, a incerteza pode surgir sobre as recomendações para os locais que estão relativamente distantes de qualquer local de teste ou são intermediários entre dois ou mais locais de teste. Assim, a recomendação de cultivares com base em rendimentos modelados espacialmente, em vez dos rendimentos observados nos locais de teste, pode reduzir o erro aleatório que afeta as estimativas associadas a cada genótipo. Pode também melhorar a previsão das respostas futuras dos genótipos em cada local e simplificar a recomendação através de redução do número de sub-regiões. Segundo Annicchiarico et al. (2006), há incerteza sobre os métodos para a definição de recomendações e extensão dos resultados de testes para locais não avaliados; mas, a modelagem de respostas adaptativas pela utilização de regressão sobre variáveis com informação espacializada, juntamente com o uso de sistema de informação geográficas (SIG), pode ajudar nesse processo, dentro de uma região alvo, assim como possibilitar a criação de mapas de adaptabilidade.

Para a realização de uma modelagem adaptativa, primeiramente é necessário estimar a contribuição de covariáveis ambientais sobre o efeito de interação (GxA); e, uma técnica que pode ser empregada para isso é a regressão linear *stepwise*. Essa técnica tem sido utilizada com sucesso em culturas como azevém perene (Van Eeuwijk & Elgersma, 1993), milho (Ramasamy et al., 1996), trigo (Annicchiarico et al., 2006), soja (Martins, 2004; Oliveira et al., 2006) e melão (Nunes et al., 2011). A utilização dessa abordagem possibilita identificar e estimar os efeitos de variáveis ambientais quantitativas sobre a interação GxA, bem como incorporá-los no modelo de predição das respostas fenotípicas de cada genótipo em cada ambiente. Essa técnica traz algumas vantagens, sendo uma delas o fato de que os coeficientes de regressão que estimam a resposta dos efeitos de interação do genótipo *i* sobre uma variável ambiental *Z*, para cada genótipo, são independentes do número de genótipos avaliados. Outra vantagem é o fato de eles serem estimados de forma independente (Hardwick & Wood, 1972). Estes coeficientes, juntamente com a informação





especializada das variáveis ambientais escolhidas, podem, enfim, ser utilizados em ambiente SIG para a geração de mapas de adaptabilidade produtiva.

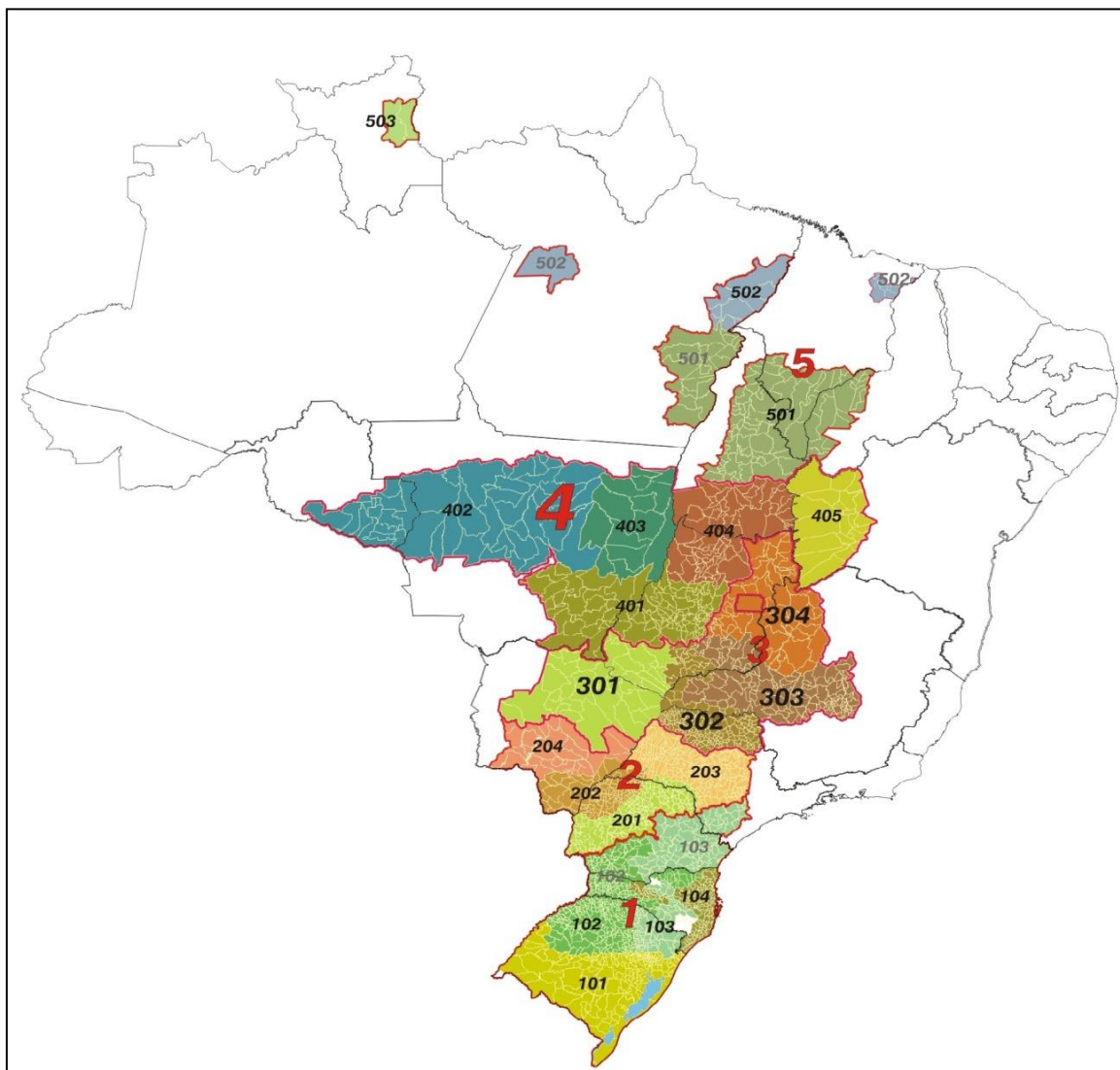
### **2.3.2 Regionalização dos testes de VCU em soja**

Experimentos de campo são essenciais nos programas de melhoramento genético e, também, no processo de recomendação de cultivares melhoradas. Nesses experimentos é desejável alto grau de precisão experimental e, consequentemente, uma alta acurácia na inferência sobre as médias genotípicas; isto é, sobre os valores genotípicos dos tratamentos genéticos em avaliação (Resende & Duarte, 2007). No Brasil, uma cultivar para ser recomendada comercialmente deve ter sido avaliada nos chamados testes ou ensaios para determinação do “valor de cultivo e uso” (ensaios de VCU).

As normas da Coordenação de Sementes e Mudanças, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (CSM/MAPA), para inscrição de cultivares de soja no Registro Nacional de Cultivares, prevêem a realização de ensaios em pelo menos um local por região edafoclimática, durante dois anos (Kaster & Farias, 2012). Para a definição dessas regiões, a Embrapa foi solicitada por este Ministério a elaborar um modelo de regionalização dos ensaios de VCU, associado à indicação de cultivares de soja para todas as áreas de produção dessa oleaginosa no Brasil.

Na criação desse modelo de regionalização para indicação de cultivares de soja, levaram-se em consideração: o Zoneamento Macroagroecológico do Brasil (Embrapa, 1990, citada por Kaster & Farias, 2012); a Classificação Climática do Brasil, segundo Köppen (Vianello & Alves, 1991; citados por Kaster & Farias, 2012); as Recomendações Técnicas para o Cultivo da Soja (Recomendações, 1992a; 1992b; 1992c; 1992d; citadas por Kaster & Farias, 2012); a Avaliação de Cultivares para o Estado de Santa Catarina (Epagri, 2000, citada por Kaster & Farias, 2012); e as Atas das Reuniões Regionais de Pesquisa de Soja (Reunião, 1999; Reunião, 2001; citadas por Kaster & Farias, 2012). Posteriormente, pesquisadores de diversas instituições ofereceram subsídios para o aprimoramento da proposta (‘segunda aproximação’ do modelo de regionalização). Na sequência, o modelo passou por adequações, alimentado por inúmeras sugestões de melhorias, tendo culminado na ‘terceira aproximação’ (versão da regionalização dos testes de VCU em soja, adotada pelo MAPA), com cinco Macrorregiões Sojícolas e vinte Regiões Edafoclimáticas, que representam a geografia da soja no Brasil (Figura 1). Os fatores principais que determinaram as macrorregiões foram latitude (fotoperíodo/

temperatura) e regime de chuva, enquanto as microrregiões diferenciam-se principalmente por altitude (temperatura) e tipo de solo.



**Figura 1.** Macrorregiões Sojícolas do Brasil (identificadas de 1 a 5), indicando também suas microrregiões (de 101 a 503) (Fonte: Kaster & Farias, 2012).

No caso específico da Macrorregião 3, objeto do presente estudo, suas microrregiões são: i) 301, com áreas mais baixas (menor altitude) e com melhor distribuição de chuvas – mais propícia ao cultivo de “safrinha”, exigindo, pois, cultivares superprecoces; ii) 302, com áreas mais elevadas, menos chuva e temperatura mais elevada; iii) 303, com áreas de baixa altitude e, também, com menos chuva e quente; e iv) 304, com áreas mais elevadas e com distribuição irregular de chuva. Os agricultores das microrregiões 302 a 304, em geral, requerem cultivares de ciclo mais longo.

## 2.4 GEOPROCESSAMENTO

A crescente disponibilidade de ferramentas para análise espacial e sistemas de informação geográfica oferece oportunidades aos pesquisadores para melhorar as análises da variação inerente à pesquisa agronômica. Esse tipo de tecnologia possibilita uma melhor seleção de locais de pesquisa ou de tratamentos, avaliações quantitativas do impacto de fatores edáficos, climáticos e uma melhor apresentação de como as respostas podem variar sobre uma região alvo, através da utilização de mapas. A disponibilidade de dados básicos sobre clima, solos, topografia, cobertura do solo e outros fatores, obtidos muitas vezes por sensoriamento remoto, também está melhorando, especialmente pela facilitação de obtenção desses dados via Internet. Além disso, o georreferenciamento dos locais de avaliação é cada vez mais simples, tornando muito mais fácil vincular os locais de pesquisa aos dados de imagens obtidas por sensoriamento remoto (White et al., 2002).

Em resumo, o objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico, e as interrelações entre diferentes fenômenos (Câmara & Medeiros, 1998). E, nesse sentido, trataremos a seguir de algumas ferramentas de sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas.

### 2.4.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto consiste num conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos), através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores distantes, ou remotos. Na prática, o sensoriamento remoto é realizado para a análise de imagens obtidas normalmente por satélites ou aviões (Xavier, 1998).

A radiação eletromagnética, após atravessar a atmosfera, atinge alvos na superfície terrestre e interage com eles. Como resultado dessa interação, a energia incidente é fracionada em três componentes. Uma parte dela é absorvida, outra é transmitida e a outra parte é refletida de volta para o espaço. Além disso, os alvos também emitem a radiação eletromagnética resultante de reações físico-químicas que ocorrem em nível atômico e molecular. Assim, é possível analisar as condições dos alvos na superfície

terrestre através do emprego de sensores que captam a radiação refletida ou emitida por eles (Rodríguez, 2000).

Um dos objetivos do sensoriamento remoto é a identificação de características do terreno, que são obtidas através do fluxo radiante que emana deste em diferentes comprimentos de onda, passa pela atmosfera e é gravado pelo sensor de algum satélite em órbita da Terra. Ao incidir sobre um alvo, a radiação proveniente do sol interage com o seu material constituinte. Os dados obtidos por satélite de sensoriamento remoto são representados, geralmente, em uma matriz de números digitais, em intervalo numérico, para tons de cinza ou números digitais. Estes números representam a radiância quantificada, e podem ser utilizados, por exemplo, para classificar estatisticamente tipos de cobertura ou identificar e caracterizar o terreno (Xavier, 1998).

Uma das utilizações do sensoriamento remoto na obtenção de imagens para o processamento digital é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações nelas contidas, para posterior interpretação (Crosta, 1992, citado por Rizze, 2004). Assim, através de algoritmos pré-estabelecidos, o usuário procura identificar pontos na imagem pertencentes a classes desejadas, deixando ao programa de classificação a tarefa de identificar todos os demais “pixels” pertencentes àquelas classes.

A idéia de se criar procedimentos computacionais para a análise de dados coletados por sistemas sensores surgiu basicamente por duas razões: i) agilizar as tarefas manuais realizadas durante a interpretação visual (delimitação de áreas, confecção de mapas, cálculo de área etc.); e ii) possibilitar ao analista introduzir outros tipos de informações e cruzá-las com padrões espectrais, contidos nas imagens, de tal modo a tornar a interpretação mais fácil de ser realizada (Xavier, 1998).

O resultado obtido por sensoriamento remoto, associado aos sistemas de informações geográficas (SIG), possibilita a união de informações espectrais, espaciais e temporais, características de dados de sensores orbitais em banco de dados georreferenciados. Estes bancos de dados permitem o armazenamento de dados históricos das áreas de interesse, integrando-os a outros dados disponíveis, constituindo assim, um conjunto de informações úteis, com possibilidade de consultas instantâneas e respostas derivadas de manipulações realizadas no sistema. A grande característica de um SIG é a sua capacidade em fornecer ferramentas de análise espacial (D’Arco, 2008).

Dentre as várias imagens que podem ser obtidas via sensoriamento remoto citamos aqui a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração e a altitude, em razão do

emprego de alguns de seus produtos derivados, na presente pesquisa. Essas imagens podem ajudar na melhor caracterização dos ambientes de cultivo, pois trazem informação espacializada da área de abrangência do estudo.

#### *a) Imagem de precipitação pluviométrica TRMM*

Imagens referentes à precipitação pluviométrica podem ser obtidas por satélite. Este é o caso do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), lançado em 1997, numa missão conjunta da NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). O uso de instrumentos de microondas ativos e passivos, a precessão (fenômeno físico de mudança do eixo de rotação de um objeto) e a órbita de baixa inclinação fizeram deste satélite o primeiro para estudo remoto da precipitação pluviométrica, associada com tempestades e processos climáticos nos trópicos. A meta inicial de obtenção de dados por este satélite foi ultrapassada, propiciando o avanço da compreensão da distribuição das chuvas tropicais e sua relação com a quantidade de água global e os ciclos de energia. Assim, o satélite TRMM evoluiu de uma missão experimental, enfocando climatologia da precipitação tropical, para um sistema de pesquisa operacional que disponibiliza dados especializados (imagens) com informações de precipitação pluviométrica em escalas de três horas, mensal e anual (Kummerow et al., 1998), e em resolução de  $\frac{1}{4}$  de grau.

Segundo Collischonn et al. (2007), embora as estimativas de precipitação sejam pouco precisas quando comparadas com valores pontuais medidos no solo, elas fornecem boa noção da distribuição das chuvas ao longo do espaço. O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3B43, que foi usado no presente trabalho, possui resolução mensal, emprega estimativas de precipitação pluvial por microondas, do imageador de microondas (TMI), corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas do radar de precipitação (PR). Segundo esses autores, dados de precipitação estimados a partir de satélites como o TRMM podem ser alternativa eficiente e barata quando comparados a instrumentos no solo, como estações pluviométricas.

#### *b) Imagem de evapotranspiração MOD16*

Obter imagens referentes à evapotranspiração por algoritmos algébricos, em escala global, representa um desafio significativo, porque seu cálculo requer muitos parâmetros

físicos da superfície terrestre, que são de difícil obtenção em amplas escalas. O produto de evapotranspiração global MOD16 é procedente de algoritmos, diferentemente dos demais produtos Modis, que normalmente são obtidos diretamente pelos sensores Terra/Modis e Aqua/Modis. Este produto é estimado por algoritmo que combina dados de sensoriamento remoto com dados meteorológicos de reanálise (séries de dados meteorológicos obtidos através da assimilação e análise de dados observados em todo o planeta). O algoritmo é baseado na equação de Penman-Monteith, a partir da qual é calculada a transpiração das plantas e do dossel, além da evaporação do solo. Então, estima-se a evapotranspiração da superfície com base em dados dos sensores Terra/Modis e Aqua/Modis, para uso em aplicações ecológicas de larga escala (Mu et al., 2012).

Os dados de entrada para a confecção da imagem de evapotranspiração (MOD16) incluem: o produto MOD12Q1, que traz informações de classificação de uso e cobertura da terra; o produto MOD15A2, com informações de índice de área foliar (LAI) e fração de radiação fotossinteticamente ativa (fPAR); e produto MOD43B2/B3, com informação sobre o albedo (razão entre todo o fluxo solar refletido por uma superfície e o fluxo nela incidente). Os dados meteorológicos de reanálise incluem radiação incidente, temperatura média do ar, temperatura média do ar durante o dia, temperatura mínima do ar e pressão do vapor d'água. Estes são obtidos da base de dados GMAO (Global Modeling and Assimilation Office, 2004, citado por Ruhoff, 2011). Assim, tais conjuntos de dados são utilizados para a estimativa do produto MOD16, através do algoritmo proposto por Mu et al. (2011).

Segundo Martins (2013)<sup>3</sup>, a informação sobre a cobertura vegetal (MOD12Q1) poderia ser substituída pelo coeficiente de cultura da espécie ( $K_c$ ), em cada fase de seu desenvolvimento. Este coeficiente é a razão entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), e é variável de acordo com o estágio fenológico da cultura (Embrapa, 2013). A incorporação deste coeficiente, que seria facilmente implementada por matemática de bandas, poderia melhorar a qualidade dessa variável, padronizando-a para a cultura da soja.

Ruhoff (2011) considerou que a estimativa de evapotranspiração obtida por esse algoritmo pode ser aplicada em escalas regionais e globais, pois capta razoavelmente bem as respostas da vegetação em função da variabilidade climática. Assim, a utilização desse tipo de variável em estudos de interação GxA pode ser mais interessante que o emprego da própria precipitação pluviométrica; pois, em razão de diferentes fatores, locais

---

<sup>3</sup> Informação verbal fornecida por Adilson Santos Martins (Limagrain Guerra do Brasil S.A.), em Goiânia. 28 fev. 2013.

que receberam a mesma quantidade de chuva podem não ter a mesma quantidade de água disponível para as plantas, e a evapotranspiração mensura melhor este aspecto.

#### c) *Imagem SRTM da altitude*

Imagens referentes à altitude foram obtidas, em fevereiro de 2000, pelas instituições National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a NASA, que, juntamente, responderam pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). O propósito desta missão foi gerar um banco de dados digitais para todo o planeta, necessário na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais; ou seja, a obtenção precisa da altitude em cada 'pixel' das imagens. Até hoje esses dados foram produzidos apenas para a região do planeta posicionada entre os paralelos 56°S e 60°N (Carvalho & Bayer, 2008).

Os produtos SRTM fazem parte de um conjunto de imagens de radar e se distinguem por serem obtidos por sensores de visada vertical e lateral, que são capazes de reproduzir altitudes. Trata-se de um modelo que representa três dimensões espaciais, a latitude, a longitude e a altitude (x, y, z) (Carvalho & Bayer, 2008). Esse gigantesco arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo terrestre, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea (Miranda, 2012).

No Brasil, a Embrapa disponibiliza estas imagens tratadas, com o objetivo de gerar aplicações para o desenvolvimento sustentável da agricultura nacional. São disponibilizadas informações de elevação para cada área de 90 m x 90 m do território brasileiro, dispondo-se de medida altimétrica precisa. E, no contexto do presente estudo, a escala e as características desse tipo de imagem atendem perfeitamente ao objetivo de uso da variável altitude nos estudos relacionados à interação GxA e à recomendação de cultivares.

### 2.4.2 Sistema de informações geográficas (SIG)

O termo *sistema de informação geográfica* (SIG) refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre, e numa projeção cartográfica qualquer.

Normalmente o objetivo de utilização de SIG é a obtenção de mapas, que são utilizados para descrever de forma qualitativa a distribuição espacial de uma grandeza geográfica. Assim, o fenômeno em estudo é representado por um “modelo numérico de terreno” (MNT). Este termo é utilizado para denotar a representação de alguma informação quantitativa que varia continuamente no espaço. Logo, MNT pode ser definido como modelo matemático que reproduz uma superfície real, a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer com atributos denotados por  $Z$ , os quais descrevem a variação contínua da superfície. A criação de um modelo matemático de certa superfície consiste no agrupamento de amostras  $(x, y, z)$ , que descrevem uma superfície real, de maneira que todo conjunto simule, de modo ideal, o comportamento da superfície original (Câmara & Medeiros, 1998).

A partir de dados numéricos, obtidos principalmente por sensoriamento remoto, é possível materializar informações georeferenciadas e analisar, por meio de mapas, a sua abrangência geográfica (Assad et al., 1998). Isto é possível utilizando-se técnicas de interpolação ou de modelagem, por exemplo, via variogramas, para materializar esses dados na forma de mapas, desde que os pontos de coletas dos dados estejam georeferenciados por meio da longitude e da latitude (Câmara et al., 2004).

Para gerar superfícies que se aproximem realisticamente do fenômeno estudado, é necessário modelar sua variabilidade espacial. Os modelos que objetivam criar superfícies com base em procedimentos de interpolação, de forma geral, representam a variável em estudo como combinação da variabilidade em larga e pequena escala (Druck et al., 2004). Segundo estes autores, outra forma é a utilização de regressão para modelar a variabilidade espacial, que permite estabelecer as relações entre as variáveis, levando a geração de superfícies com a informação espacializada e os padrões da variável avaliada.

Neste contexto, a utilização das ferramentas disponibilizadas por SIG nos ajuda a compreender a distribuição espacial de fenômenos para a elucidação de questões importantes. Estudos assim vêm-se tornando cada vez mais comuns, devido à disponibilidade de SIG de baixo custo e com interfaces amigáveis. Com estas ferramentas basta dispor de um banco de dados e de uma base geográfica que é possível apresentar um mapa que permite a visualização do padrão espacial do fenômeno em estudo (Druck et al., 2004). Isto contempla perfeitamente os objetivos do presente estudo, no que tange à tentativa de representar espacialmente a adaptabilidade fenotípica diferencial de genótipos de soja sob condições variáveis de cultivo.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 REGIÃO ALVO DO ESTUDO

A área de abrangência do estudo corresponde à Macrorregião Sojícola 3 do Brasil (Figura 1), definida em conformidade com a Lei de Proteção de Cultivares (Brasil, 1997), a Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) e a indicação atual de cultivares de soja em sua ‘terceira aproximação’ (Kaster & Farias, 2012). As normas da Coordenação de Sementes e Mudanças, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento estabelecem que uma linhagem somente pode ser registrada como cultivar se for testada em, pelo menos, um local durante dois anos agrícolas, em cada região edafoclimática de expectativa de adaptação. Assim, todas as microrregiões nessa área de produção (301, 302, 303 e 304) foram consideradas, com pelo menos um ponto de avaliação (local de experimentação) em cada uma delas. Os ensaios foram instalados em oito localidades do Estado de Goiás (Tabela 1), durante o ano agrícola 2010/2011, no período de 29 out. 2010 a 02 abr. 2011.

**Tabela 1.** Rede de ensaios VCU de soja na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, em Goiás, indicando suas microrregiões, tipos de linhagens avaliadas, com seus ciclos de maturação, e coordenadas geográficas de cada local.

Microrregião sojícola	Local	Ensaios <sup>1</sup>		Altitude (m)	Latitude	Longitude
		Conv	RR			
302	Goiatuba	o (pr)	o p r	815	17°58'45"S	49°21'46"O
301	Rio Verde	o (pr)	o p	760	17°47'16"S	50°57'36"O
301	Jataí	o (pr)	o p r	683	17°55'31"S	51°42'47"O
304	Anápolis	o (pr)	o p r	1017	16°20'15"S	48°52'58"O
304	SMPQ <sup>2</sup>	o (pr)	o p r	1026	16°55'58"S	48°40'50"O
302	Itumbiara	o (pr)	o p r	495	18°24'31"S	49°11'29"O
303	Piracanjuba	o (pr)	o p r	777	17°35'20"S	48°46'2"O
304	Goiânia	o (pr)	o p r	762	16°38'4"S	49°12'14"O

<sup>1</sup> Nomenclatura adotada pela Embrapa para os ensaios de VCU de soja, conforme o ciclo de maturação dos genótipos em teste: o: superprecoce, p: precoce, r: médio, pr: ensaios com genótipos de ciclo precoce e médio. <sup>2</sup> SMPQ: São Miguel do Passa Quatro.

### 3.2 MATERIAL GENÉTICO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios estudados fazem parte do programa de melhoramento genético da soja para a região central do Brasil, desenvolvido em parceria pela Embrapa Soja, Emater-GO (Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária) e CTPA (Centro Tecnológico para Pesquisas Agropecuárias). Atualmente, esses ensaios de VCU são divididos em dois grupos, quanto ao tipo de cultivar sob avaliação: ensaios de soja transgênica RR (resistente ao herbicida glifosato – *Roundup Ready*®) e ensaios de soja convencional (não transgênica). Essa divisão decorre do manejo diferenciado da cultura, principalmente no que tange ao controle de plantas daninhas. No material transgênico o controle é realizado com o herbicida glifosato, um herbicida não seletivo; já nas cultivares convencionais, isto é feito com herbicidas seletivos, cuja eficiência depende de sua aplicação em estágio ideal de desenvolvimento das plantas daninhas. Cada grupo teve, ainda, seus experimentos subdivididos conforme o grupo de maturação das linhagens, o que se justifica pelas demandas específicas dos agricultores nas diferentes microrregiões sojícolas avaliadas. Assim, no grupo de soja transgênica os ensaios subdividem-se em: superprecoce (o), precoce (p) e médio (r); e no grupo convencional em: superprecoce (p) e precoce/médio (pr).

O delineamento experimental de cada ensaio foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições (blocos) e 25 tratamentos. Os tratamentos, em cada ensaio, foram compostos por 21 linhagens experimentais desenvolvidas no programa, mais quatro cultivares comerciais, adotadas como testemunhas (Tabela 2). A unidade experimental ou parcela constituiu-se de quatro fileiras de plantas, espaçadas 0,5 m entre si e com 5,0 m de comprimento. Na colheita, desprezaram-se as duas fileiras laterais e 0,5 m na extremidade de cada fileira, o que resultou em área útil de 4,0 m<sup>2</sup> por parcela.

A determinação da produção por parcela foi realizada obtendo-se o peso dos grãos colhidos na área útil, seguindo-se à padronização de umidade para 13%. Esta produção foi convertida em produtividade, em kg.ha<sup>-1</sup>. Também foram obtidas as datas de floração e de maturação, bem como o número de plantas colhidas por parcela (estande final). As variáveis de floração e maturação, neste estudo, foram utilizadas apenas para a obtenção dos dados relacionados aos fatores ambientais evapotranspiração e precipitação pluviométrica durante determinadas fases fenológicas da cultura. Já estande final foi utilizado para ajuste da produtividade por análise de covariância (Pimentel Gomes, 2009), quando ocorreu desuniformidade nesse estande.

**Tabela 2.** Identificação e códigos das linhagens experimentais e cultivares de soja avaliadas em ensaios de VCU (valor de cultivo e uso) dos grupos soja transgênica RR e convencional, divididos em subgrupos conforme os ciclos de maturação (Goiás, 2010/2011).

Grupo RR (Roundup Ready®)						Grupo Convencional			
Super-precoce		Precoce		Médio		Super-precoce		Precoce-Médio	
Código	Genótipo	Código	Genótipo	Código	Genótipo	Código	Genótipo	Código	Genótipo
G01	BRY08-1.049Y	G26	BRBIGO04-682-28GO	G51	BRBIGO04-722-48GO	G76	GOBR03-2776-33GO	G101	GOBR02-1678-34GO
G02	BRY08-3.163Y	G27	BRY08-1.876Y	G52	BRBIGO03-200180-41GO	G77	GOBR04-3470-5GO	G102	GOBR03-2699-1GO
G03	BRY08-2.007Y	G28	GO04-5003-77GO	G53	GO 04-5003-73GO	G78	GOBR03-3151-24GO	G103	GOBR02-2130-20GO
G04	BRY08-4.402Y	G29	BRBIGO03-200260-3GO	G54	BRBIGO04-724-16GO	G79	GOBR03-2776-16SFGO	G104	GOBR02-2394-4GO
G05	BRY08-3.151Y	G30	GO04-5003-32GO	G55	BRBIGO04-728-13GO	G80	BRY10-50.001Y	G105	GOBR02-1750-67GO
G06	BRY08-5.865Y	G31	GO04-5074-16GO	G56	GO04-682 -55GO	G81	BRY10-50.006Y	G106	GOBR02-2117-10GO
G07	BRY08-4.901Y	G32	BRY08-2.123Y	G57	BRASR06-0187Y	G82	BRY10-50.009Y	G107	BRN03-04606Y
G08	BRY08-1.687Y	G33	BRBIGO03-200176-29GO	G58	BRBIGO03-200424-8GO	G83	BRY10-50.010Y	G108	GOBR03-2886-4GO
G09	BRY08-1.787Y	G34	BRY08-1.833Y	G59	BR/DF05205 -20Y	G84	BRY10-50.014Y	G109	GOBR03-2637-3GO
G10	BRY08-1.840Y	G35	BRY08-2.006Y	G60	GO04-5004 -126GO	G85	GOBR10-3176GO	G110	BRN05-05619Y
G11	BRY08-2.414Y	G36	BRY08-2.122Y	G61	BRASR06-0719Y	G86	BRY10-50.011Y	G111	BR05-01297Y
G12	BRY10-0093Y	G37	BRY08-1.039Y	G62	BRASR06-1548Y	G87	GOBR10-3670GO	G112	BRN06-14511Y
G13	BRY10-0046Y	G38	BRASR06-0168Y	G63	BRASR06-0560Y	G88	GOBR10-3269GO	G113	GOBR03-2701-49GO
G14	BRY10-0045Y	G39	BRY08-3.179Y	G64	BRASR06-1127Y	G89	BRAS06-0029Y	G114	GONBR02-2279-25GO
G15	BRY10-0036Y	G40	BRY10-0096Y	G65	BRASR06-1484Y	G90	BRAS06-0038Y	G115	BRN05-4874Y
G16	BRY10-0029Y	G41	BRY10-0064Y	G66	BRASR06-0868Y	G91	GOBR10-2362GO	G116	GOBR03-2708-3GO
G17	BRY10-0017Y	G42	BRY10-0061Y	G67	BRASR06-1255Y	G92	BRAS06-0037Y	G117	BRN05-7896Y
G18	BRY08-1.668Y	G43	BRY10-0060Y	G68	BRY08-1.442Y	G93	GOBR10-2351GO	G118	BR05-04218Y
G19	BRY08-1.812Y	G44	BRY10-0058Y	G69	BRASR06-0543Y	G94	GOBR10-2402GO	G119	GOBR10-2402GO
G20	BRY08-1.803Y	G45	BRY10-0010Y	G70	BRASR06-1403Y	G95	GOBR10-2775GO	G120	BRN05-7575Y
G21	GOBR10-7602GO	G46	BRY10-0063Y	G71	GOBR10-7523GO	G96	BRS GO 7560	G121	BRS GO 8360
G22 (T) <sup>1</sup>	Anta 82RR	G47 (T)	Anta 82RR	G72 (T)	AS 8380RR	G97 (T)	BRS GO Araçu	G122 (T)	Emgopa 316
G23 (T)	CD 240RR	G48 (T)	M7908RR	G73 (T)	BRS Valiosa RR	G98 (T)	CD 228	G123 (T)	MG/BR46 (Conquista)
G24 (T)	NA7255RR	G49 (T)	CD 229RR	G74 (T)	CD 247RR	G99 (T)	Emgopa 316	G124 (T)	MSOY 6101
G25 (T)	NK7074RR	G50 (T)	NK7074RR	G75 (T)	P 98R31 RR	G100 (T)	MSOY 6101	G125 (T)	CD 228

<sup>1</sup> T: cultivares comerciais utilizadas como testemunhas ou controle.

### 3.3 OBTENÇÃO DE DADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Os sistemas de informações geográficas (SIG) possuem funcionalidades que propiciam a utilização de imagens de satélites para a realização de estudos envolvendo variáveis com informação espacial. Assim, no presente estudo, utilizou-se dessa ferramenta para se trabalhar com dados de variáveis ambientais disponíveis para a Macrorregião Sojícola 3 do Brasil. Para isso, foram escolhidas variáveis quantitativas, cujos efeitos sobre a interação dos genótipos com os locais de teste (interação GxA) pudessem ser avaliados. Por gerarem imagens de fácil obtenção e utilização, as variáveis utilizadas foram: altitude, latitude, longitude, evapotranspiração e precipitação pluviométrica.

#### 3.3.1 Confecção do mapa da Macrorregião Sojícola 3

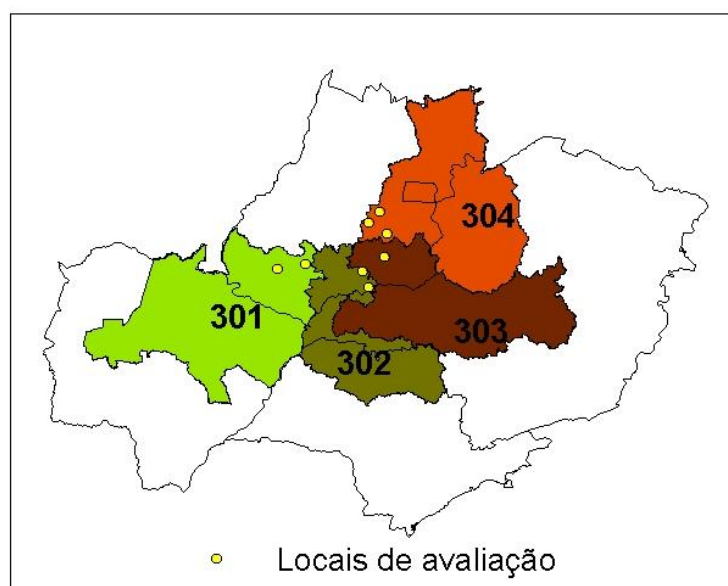
Para a obtenção do mapa com a divisão geopolítica da área em estudo, foram utilizadas informações da malha municipal, do ano de 2007, contidas em mapa disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012). Também utilizou-se a tabela com as informações dos municípios pertencentes à Macrorregião Sojícola 3 e respectivas microrregiões (Kaster & Farias, 2012). Assim, foram carregados o mapa e a tabela no *software* Arcmap (Esri, 2012), no qual se utilizou a função *Join*, que realiza a junção das informações. Após este procedimento, obteve-se um mapa localizando os municípios em sua específica microrregião sojícola. Depois, foram selecionados os municípios pertencentes à região e, utilizando-se a função *Extract select* do mesmo aplicativo, foram extraídos todos os municípios selecionados, obtendo-se o mapa de interesse, tal como mostrado na Figura 2.

Para se trabalhar as imagens de altitude, latitude, longitude, precipitação pluviométrica e evapotranspiração, antes de iniciada a confecção dos mapas criou-se um polígono de forma retangular com comprimento e largura máximos da área de estudo, o chamado de “polígono padrão”. Isso foi implementado no *software* Arcmap. Assim, todas as imagens trabalhadas foram recortadas nesse polígono padrão, de forma a apresentarem a mesma dimensão.

#### 3.3.2 Processamento da imagem de altitude

Para criar a imagem com informação da variável altitude, foram utilizadas imagens disponibilizadas pela Embrapa, advindas do projeto Brasil em Relevo (Miranda,

2012). Esse projeto utilizou como fonte primária os modelos digitais de elevação, com aproximadamente 90 m de resolução espacial, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pelas agências NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), dos Estados Unidos, no ano 2000 (Embrapa, 2012). São disponibilizados arquivos em forma de imagens com grande precisão nas estimativas de altitude, compatíveis com a escala 1:250.000 (Miranda, 2012).



**Figura 2.** Mapa com a representação da Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, e suas microrregiões (301, 302, 303 e 304), indicando também os locais dos testes experimentais (ensaios de VCU).

Essas imagens encontram-se disponíveis no formato TIFF/GeoTIF (metadado que permite embutir informações de coordenadas geográficas), para cada estado do país. Foi realizado, então, o *download* de todas aquelas que cobriam a região de abrangência do estudo. Após a obtenção das imagens, foi criado um mosaico da área (combinação das imagens numa imagem única), através da função *Mosaic to new raster* do aplicativo Arcmap. Como próximo passo, a imagem obtida foi recortada no polígono padrão e exportada para a resolução espacial escolhida para o trabalho (1,0 km x 1,0 km), a qual é compatível com a resolução do sensor Modis. A imagem formada apresentou 1.533 colunas e 995 linhas, sendo a correspondente informação, relacionada à variável altitude, utilizada na matemática de bandas para a produção dos mapas de adaptabilidade.

### 3.3.3 Processamento das imagens de latitude e longitude

Para a obtenção dos dados das variáveis longitude e latitude, foi criado um polígono (arquivo vetorial) com grade quadriculada de 1,0 km x 1,0 km, e com as dimensões máximas de largura e comprimento da imagem da macrorregião estudada. Para isso, utilizou-se também o aplicativo Arcmap. Após essa etapa, foram extraídas para a tabela de atributos do arquivo as coordenadas de latitude e longitude; o que foi implementado via função *Add X, Y, Z*, na opção *Table Operations* da ferramenta *X Tools pro* do Arcmap. Após esse procedimento, foi realizada a transformação de arquivo vetorial para arquivo “raster” (arquivo matricial), usando-se a função *Polygon to raster*, que utiliza cada coluna selecionada da tabela de atributos para criar um arquivo “raster”. Assim, extraíndo-se a coluna de latitude, criou-se uma imagem, e com a de longitude, outra. Estas imagens corresponderam às variáveis ambientais latitude e longitude, abordadas neste estudo.

### 3.3.4 Processamento das imagens de evapotranspiração

Para o tratamento das variáveis de evapotranspiração, foram utilizadas imagens disponibilizadas pela Universidade de Montana, nos Estados Unidos (Numerical Terradynamic Simulation Group, 2012). Essas imagens fazem parte do projeto da NASA/EOS (Earth Observing System), para estimar a evapotranspiração global da superfície terrestre usando dados de sensoriamento remoto obtidos por satélite, o produto MOD16. Este produto pode ser usado para calcular a água regional, o balanço energético e o estado da água do solo, entre outras utilizações (Mu et al., 2009). As imagens são disponibilizadas com resolução espacial de 1,0 km x 1,0 km, e resolução temporal de oito dias (MOD16A2). Assim, a partir do sitio na internet <<http://www.ntsug.umt.edu/project/mod16>>, foram baixadas todas as imagens associadas ao período de 29 out. 2010 (data do primeiro plantio de experimentos, em Jataí) a 02 abr. 2011 (data da maturação média do último experimento, conduzido em São Miguel do Passa Quatro). Essas imagens correspondem aos seguintes dias julianos do ano 2010, contados sem a separação mensal: 297, 305, 313, 321, 329, 337, 345, 353 e 361; além dos seguintes de 2011: 1, 9, 17, 25, 33, 41, 49, 57, 65, 73, 81, 89.

As imagens de evapotranspiração são disponibilizadas no formato HDF-EOS (padrão de metadados com informações geográficas), de 16 bits, projeção sinusoidal. Foram convertidas para o formato TIFF e projeção segundo o modelo WGS-84, através do *software* MRT 4.1 – Modis Reprojection Tools (MRT, 2013). Após esse procedimento, os valores de referência de corpo de água (32766), terra exposta (32767), vegetação escassa (32765), neve permanente ou gelo (32764), áreas alagadas permanentemente (32764), área urbana ou construída (32762) e áreas não classificada (32761) foram substituídos por zero, de modo a não influenciar na multiplicação e formação dos mapas. O procedimento seguinte foi a retirada de “pixels” com valores duvidosos, utilizando-se a imagem de *Quality control* (QC), que vem juntamente com a imagem de evapotranspiração e que foram substituídos por zero. Então, essas imagens foram multiplicadas pelo fator de escala de 0,1, como orientado no manual do produto (Mu et al., 2012), e, em seguida, salvas. Esses procedimentos foram realizados no *software* Envi 4.8 – Environment for Visualizing Images (Sulsoft, 2011).

As imagens formadas executadas no aplicativo Arcmap e as informações de cada “pixel” transformadas em vetor de pontos. Depois, analisando as tabelas de atributos desses vetores e excluídos os pontos com valor nulo. Com a técnica de interpolação por vizinhos próximos, foram estimados os valores para os “pixels” faltantes e as imagens ficaram completas para a informação de evapotranspiração. Após esse procedimento, cada “pixel” da imagem conterá a informação de milímetros de evapotranspiração acumulados em oito dias.

Após o tratamento das imagens, o passo seguinte foi executá-las novamente no Arcmap, para serem recortadas no polígono padrão. Essas imagens foram salvas e, em seguida, utilizadas para a produção das variáveis relacionadas à evapotranspiração. Para gerar a informação de evapotranspiração por local, foram inseridas as coordenadas geográficas dos oito locais em que foram instalados os experimentos. Considerando-se que a informação pontual (cada “pixel”) do produto MOD16A2 é pouco precisa, para cada local, calculou a média dos “pixels” numa circunvizinhança de 2,0 km. Para tal, utilizou-se a função *Buffer* do mesmo aplicativo, com parâmetro de entrada de 2,0 km. Esse procedimento gerou uma máscara com área circular de raio 2,0 km ao redor de cada ponto avaliado. As imagens foram, então, recortadas a partir desta máscara. Depois, realizou-se a leitura do valor de cada “pixel”, dentro de cada uma das oito áreas, utilizando-se o recurso

de *zoom* do aplicativo. De posse desses valores, foi obtido o valor de evapotranspiração médio de cada um desses oito pontos (Apêndice A).

Com a informação pontual das imagens de evapotranspiração, foram constituídas três variáveis: evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM); evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF); e evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM). As datas médias de floração e maturação de cada experimento foram definidas a partir das informações de data de plantio, floração e maturação de cada genótipo em cada local. Assim, foram utilizadas para acumular os valores de evapotranspiração de cada nova variável em cada localidade.

### 3.3.5 Processamento das imagens de precipitação pluviométrica

Para a criação das variáveis de precipitação pluvial, foram utilizadas imagens disponibilizadas pela NASA, no sitio: <[http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM\\_README/TRMM3B43\\_readme.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM_README/TRMM3B43_readme.shtml)>. Estas são captadas pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), mantido em órbita por missão conjunta da NASA e JAXA (Agência Espacial Japonesa). Foi utilizado o produto 3B43, que fornece informação de precipitação mensal, sendo recuperadas as imagens dos meses de novembro e dezembro de 2010, e de janeiro a abril de 2011. Este produto possui resolução temporal mensal e resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Estas foram recuperadas no formato HDF, processadas e convertidas de mm/h para mm/mês. Em seguida, foi realizado um recorte dessa imagem no polígono padrão, utilizando-se a função *Masking - Apply Mask*, do aplicativo Envi 4.8. A imagem formada foi salva em formato TIFF.

Como realizado para as variáveis de evapotranspiração, cada imagem foi executada no aplicativo Arcmap, adicionado-se os metadados de arquivo vetorial (*shapefile*), com os pontos georreferenciados dos oito locais e as informações lidas em mm/mês, da precipitação pluviométrica de cada ponto (Apêndice B). Como a resolução espacial da imagem de precipitação é maior do que a resolução utilizada para a confecção dos mapas, neste caso dispensou-se o uso da função *Buffer*; ou seja, diferentemente do que se fez para evapotranspiração, neste caso a leitura da variável precipitação (mais precisa) foi realizada diretamente nos pontos de interesse.

Com a informação pontual das imagens de precipitação pluviométrica foram constituídas as seguintes variáveis: precipitação acumulada do plantio à maturação – PPM



(informações da precipitação acumulada do mês de novembro/2010 – plantio dos ensaios, até fevereiro/2011 ou até março/2011, conforme ocorreu a maturação média nos experimentos de ciclo superprecoce ou de ciclos precoce/médio, respectivamente); precipitação acumulada do plantio à floração – PPF (informações da precipitação acumulada nos meses de novembro e dezembro de 2010); e precipitação acumulada da floração à maturação (PFM), determinada pela diferença entre PPM e PPF.

Havia a opção de utilização de dois produtos relacionados com precipitação pluviométrica: as estimativas 3B42, com resolução temporal de três horas; e as estimativas 3B43, de resolução temporal de um mês. Estudos realizados por Viana et al. (2013) mostraram que o produto 3B42 apresenta menor correlação com dados reais, quando comparado a 3B43; assim, consideraram o segundo como mais confiável, também por ser calibrado com estimativas de pluviômetros. Em razão disso, no presente estudo optou-se pelo produto 3B43.

### 3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram inicialmente implementadas para avaliar a existência de diferenças significativas entre os genótipos, e, sobretudo, a existência de interação entre genótipos e ambientes (GxA). Na sequência, foram implementadas para identificar as variáveis ambientais de importância especial na explicação da variabilidade associada à interação GxA. Após identificadas, estas variáveis foram utilizadas no processo de produção dos mapas de adaptação produtiva dos genótipos.

#### 3.4.1 Análises individuais de variância

De posse dos dados de produtividade em cada experimento, o primeiro passo foi inspecioná-los em busca de possíveis erros de digitação e valores atípicos (*outliers*). Estes foram removidos do banco de dados para não prejudicar a qualidade das inferências estatísticas. O procedimento seguinte foi a realização das análises individuais de variância, para avaliar a magnitude e a significância da variabilidade produtiva entre as linhagens e cultivares, em cada ambiente de teste. Tais análises foram realizadas seguindo o modelo de blocos completos casualizados:

$$Y_{ik} = \mu + b_k + g_i + e_{ik}$$

em que:

$Y_{ik}$  : valor observado na parcela que recebeu o  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ ),  
no  $k$ -ésimo bloco ( $k = 1, 2, \dots, r$ );

$\mu$  : média geral do experimento;

$b_k$  : efeito fixo do bloco  $k$ ;

$g_i$  : efeito fixo do genótipo  $i$ ;

$e_{ik}$  : erro experimental associado a  $ik$ -ésima observação, admitido idêntica e independentemente distribuído (i.i.d.)  $\sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Com a informação do número de plantas colhidas por parcela, foi empregada a técnica de análise de covariância para melhorar a precisão das análises e corrigir possíveis efeitos de baixa população de plantas. Esta análise consome um grau de liberdade do resíduo (modelo utilizado com uma só covariável) e foi empregada apenas quando se constatou efeito significativo da covariável (estande final). A análise foi implementada utilizando-se o comando *lsmeans* do procedimento GLM (*general linear model*) do aplicativo computacional Statistical Analysis System (SAS, 2011). Assim, foram produzidas as médias ajustadas para o número médio de plantas na parcela, as quais foram utilizadas para a realização da análise conjunta.

### 3.4.2 Análises conjuntas estimação da interação GxA

Como foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nos locais, realizaram-se análises conjuntas de variância, considerando os diferentes subgrupos de experimentos. O modelo estatístico usado para tal avaliação foi o seguinte (Chaves, 2001):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + (ga)_{ij} + \bar{e}_{ijk}$$

em que:

$Y_{ij}$  : valor observado na parcela que recebeu o  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ ),  
no  $j$ -ésimo ambiente ( $j = 1, 2, \dots, a$ );

$\mu$  : média geral;

$g_i$  : efeito fixo do genótipo  $i$ ;

$a_j$  : efeito fixo do ambiente  $j$ ;

$(ga)_{ij}$  : efeito fixo da interação do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$ ;

$\bar{e}_{ijk}$  : erro aleatório médio, admitido i.i.d.  $\sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Antes de realizar as análises conjuntas, testou-se a homogeneidade das variâncias residuais através do teste de Bartlett, conforme recomendação de Pimentel Gomes (2009). Como foi detectada a existência de heterogeneidade entre variâncias residuais em alguns grupos de experimentos, para não se descartar experimentos ou localidades, foi feito o ajuste dos graus de liberdades associados aos quadrados médios residuais e da interação GxA, pelo método de Cochran conforme descrito em Pimentel Gomes (2009). Assim, viabilizou-se a realização de testes de hipóteses válidos mediante emprego da estatística F (de Snedecor). Em razão da ocorrência de parcelas perdidas, para a realização das análises conjuntas e consolidação das variâncias do erro médio, utilizou-se ainda a média harmônica do número de repetições, conforme recomendam Ramalho et al. (2005).

Essas análises foram realizadas para todos os ciclos, dentro de cada grupo de experimentos (soja transgênica RR e soja convencional), utilizando-se planilhas eletrônicas do aplicativo Microsoft Office Excel (Microsoft, 2007). Depois das análises conjuntas, procedeu-se ao cálculo das estimativas dos efeitos genotípicos ( $\hat{g}_i$ ), de ambiente ( $\hat{a}_j$ ) e da interação de genótipos com ambientes,  $(\widehat{ga})_{ij}$ . Os respectivos estimadores, de quadrados mínimos ordinários, utilizados para estes efeitos são:

$$\hat{g}_i = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}; \quad \hat{a}_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..} \quad \text{e} \quad (\widehat{ga})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$$

em que:  $\bar{Y}_{i.}$ ,  $\bar{Y}_{.j}$  e  $\bar{Y}_{..}$  são, respectivamente, as médias do genótipo  $i$ , do ambiente  $j$  e geral sobre todos os genótipos e ambientes.

A contribuição de cada genótipo para a interação GxA também foi avaliada. Para isso, utilizou-se a estatística “ecoalência”, proposta por Wricke (1965), citado em Cruz & Regazzi (2001), como medida da estabilidade fenotípica do genótipo. Seu estimador  $\omega_i$ , que resulta da decomposição da soma de quadrados da interação nas partes associadas a cada genótipo, é dado por:  $\omega_i = \sum_j (\widehat{ga})_{ij}^2$ .

### 3.5 IDENTIFICAÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS RELACIONADOS À INTERAÇÃO GxA

Para a seleção dos fatores ambientais relacionadas à interação GxA, investigaram-se os efeitos lineares das seguintes variáveis quantitativas: altitude, latitude, longitude, EPM, EPF, EFM, PPM, PPF e PFM. Os dados relativos a cada uma destas variáveis ( $Z$ ) foram denotados como  $z_j$  ( $j = 1, 2, \dots, a$ ). O modelo descritivo que contempla a contribuição de cada variável explicativa sobre a interação GxA original é (Van Eeuwijk et al., 1996):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \beta_i z_j + (ga)'_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

em que: além de termos já definidos,  $\beta_i$  é o coeficiente de regressão que mede a resposta linear dos efeitos de interação associados ao genótipo  $i$  com a covariável  $Z$ , descrita por seus desvios  $z_j = Z_j - \bar{Z}$ ; e  $(ga)'_{ij}$  é o efeito residual na interação original, após remoção do efeito linear associado à covariável  $Z$ .

Para identificar as variáveis relacionadas com a interação GxA, no modelo de análise conjunta o termo  $(\widehat{ga})_{ij}$  é remodelado como:  $\beta_i z_j + (ga)'_{ij}$ . O coeficiente de regressão é estimado por:  $\hat{\beta}_i = b_i = \sum_j (\widehat{ga})_{ij} z_j / \sum_j z_j^2$ , com respectiva soma de quadrados associada à variável  $Z$ , dada por:  $SQ_Z = \sum_i \left\{ \left[ \sum_j (\widehat{ga})_{ij} z_j \right]^2 / \sum_j z_j^2 \right\} = \sum_i b_i^2 \sum_j z_j^2$ .

Após a determinação do efeito de todas as variáveis sobre a soma de quadrados da interação GxA, estas são ordenadas decrescentemente pelas suas somas de quadrados ( $SQ_Z$ ). Quanto maior  $SQ_Z$ , mais a respectiva variável explica a variação associada à interação,  $SQ_{GxA}$ . Após esse ordenamento, remove-se o efeito da primeira variável, diminuindo-se  $SQ_Z$  da soma de quadrados  $SQ_{GxA}$ . Na soma de quadrados restante ( $SQ_{GxA} - SQ_Z$ ), correspondente ao termo  $(\widehat{ga})'_{ij}$  do novo modelo, se este termo ainda apresentar efeito significativo, estima-se as interações residuais, isto é:  $(\widehat{ga})'_{ij} = (\widehat{ga})_{ij} - \hat{\beta}_i z_j$ ; ou seja, desconta-se da interação original o efeito linear associado à primeira variável no ordenamento das somas de quadrados.

Em seguida, recalcularam-se as somas de quadrados associadas às variáveis remanescentes, procedendo-se novamente ao seu ordenamento decrescente pelas somas de

quadrados resultantes. Na sequência e do mesmo modo, remove-se da interação residual o efeito da variável mais explicativa nesse novo ciclo de análise. Assim, procede-se sucessivamente, enquanto houver efeito significativo na variação associada à interação residual; embora, no máximo, até o limite de  $(a-1)$  variáveis, em razão de limitação de graus de liberdade, pois cada ciclo utiliza  $(g-1)$  graus de liberdade (Martins, 2004). No final deste processo de regressão *stepwise*, identificam-se as variáveis ambientais explicativas da interação GxA, que devem ser selecionadas. Isto foi realizado para cada um dos grupos de experimentos (soja RR, nos ciclos superprecoce, precoce e médio; e soja convencional, nos ciclos superprecoce e precoce/médio).

Para cada ciclo de análise foram obtidos os valores dos coeficientes de regressão  $b_i$ , referentes a cada genótipo e à covariável mais explicativa daquele ciclo. Estes coeficientes foram salvos em planilha eletrônica do aplicativo Excel, juntamente com a informação do efeito genotípico,  $\hat{g}_i$ . A partir daí, o coeficiente  $b_i$  do primeiro ciclo passou a ser denotado como  $b_{i1,}$ ; no segundo ciclo, como  $b_{i2,}$ ; e assim por diante, até as  $v$  variáveis selecionadas em ciclos seguintes de análises; ou simplesmente  $\hat{\beta}_{il}$ , com  $l = 1, 2, \dots, v$  variáveis.

### 3.6 INFERÊNCIA ESPACIAL ASSOCIADA À INTERAÇÃO GxA

#### 3.6.1 Criação de imagens das variáveis explicativas

As imagens com as informações das variáveis ambientais na região alvo foram criadas apenas para aquelas que apresentaram efeito significativo sobre a interação GxA. Primeiramente, foram criadas imagens com as informações de cada variável na mesma dimensão e resolução espacial (1.533 colunas e 995 linhas e resolução de 1,0 km).

As imagens de altitude, latitude e longitude foram formadas diretamente via recorte no quadro contendo as informações de comprimento e largura máxima da Macrorregião Sojícola 3 (polígono padrão). Isto porque tais variáveis não possuem variação temporal, ou seja, não variam com mudanças de data. Quanto às variáveis relacionadas à evapotranspiração e à precipitação pluviométrica, por possuírem variação temporal, suas imagens passaram novamente pela matemática ou álgebra de bandas, via função *Band math* do aplicativo Envi. Assim, para evapotranspiração foram utilizadas as datas médias de plantio, floração e maturação de cada experimento, resultando nas três

novas variáveis (EPM, EPF e EFM). Estas tiveram suas imagens produzidas também via função *Band math*, a partir da soma e ponderação pelo número de dias envolvidos em cada uma delas.

Para formar as imagens com a informação de precipitação pluviométrica, foram somadas as imagens que compunham cada período, também mediante uso da função *Band math* do Envi 4.8. Assim, obteve-se uma banda para cada variável relacionada (PPM, PPF e PFM).

### 3.6.2 Geração dos mapas de adaptabilidade genotípica

Para a produção dos mapas em ambiente SIG, foram utilizadas as estimativas do efeito genotípico médio ( $\hat{g}_i = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}$ ), dos coeficientes de regressão  $\hat{\beta}_{il}$ , associados às variáveis explicativas selecionadas e às informações geográficas relativas a estas variáveis, em cada posição  $s$  da região de interesse ( $z_{ls}$ ). Estas, expressas como os desvios de cada “pixel” em relação à média da respectiva variável ( $z_{ls} = Z_{ls} - \bar{Z}_l$ , em que  $\bar{Z}_l$  é a média dos “pixels” em toda a região). Assim, a medida espacial da adaptabilidade do genótipo  $i$  na posição geográfica  $s$ , denotada por ( $Ad_{is}$ ), é estimada por (adaptada de Martins, 2004):

$$Ad_{is} = \hat{g}_i + \sum_{l=1}^v \hat{\beta}_{il} z_{ls}$$

O cálculo desta estatística foi implementado no *software* Envi, utilizando-se também a função *Band math*. Assim, foram produzidas as imagens referentes aos mapas de adaptabilidade de cada genótipo, com a largura e o comprimento máximos do polígono padrão. Para implementar a fórmula nessa função, primeiramente os valores dos efeitos genotípicos ( $\hat{g}_i$ ), dos coeficientes de regressão  $\hat{\beta}_{il}$  e os valores médios das imagens ( $\bar{Z}_l$ ), referentes às “ $v$ ” variáveis explicativas selecionadas, foram organizados numa planilha Excel. Formou-se, então, uma tabela na qual foram inseridas colunas com os valores dos efeitos genotípicos e dos coeficientes de regressão das variáveis selecionadas. Em seguida, foram construídas expressões, que, posteriormente, quando executadas via função *Band math*, deram origem às imagens com informações referentes à espacialização de  $Ad_{is}$ , para cada genótipo.

A expressão de cada cultivar ou linhagem experimental foi construída da seguinte maneira: para cada variável selecionada, diminuiu-se, do valor  $Z_{ls}$  de cada “pixel”

(denotado como “ $b_l$ ”, do Inglês *band*, na sintaxe do Envi 4.8), a média da variável na imagem; o valor resultante foi, então, multiplicado pelo coeficiente de regressão que mede a resposta do genótipo  $i$  à variação naquela variável  $l$ :  $(\hat{\beta}_{il} * (b_l - \bar{Z}_l))$ , com  $l = 1, 2, \dots, v$ . Essa parte da expressão corresponde à espacialização da resposta fenotípica do genótipo  $i$  para a variável  $l$ . Assim, acumulando-se isto para todas as variáveis selecionadas e adicionando-se o efeito genotípico estimado, tem-se a expressão final para cada genótipo:

$$\hat{g}_i + (\hat{\beta}_{i1} * (b_1 - \bar{Z}_1)) + (\hat{\beta}_{i2} * (b_2 - \bar{Z}_2)) + \dots + (\hat{\beta}_{iv} * (b_v - \bar{Z}_v)).$$

Depois disso, essas expressões foram organizadas sequencialmente numa planilha Excel. Para seu reconhecimento no aplicativo Envi 4.8, foi ainda inserida uma linha no início da planilha, com seguinte descrição: “Envi expressions”; e a planilha foi salva no formato TXT. Tal procedimento foi realizado para se evitar possíveis erros de digitação, que poderiam surgir se cada valor fosse declarado manualmente.

Para a produção dos mapas, as imagens com as informações de cada variável com efeito significativo sobre a interação GxA foram executadas no *software* Envi 4.8. Através da função *Band math*, carregou-se o arquivo com as expressões ou fórmulas, para a produção dos mapas. Então, as imagens referentes a cada variável ambiental selecionada foram executadas, produzindo uma imagem referente à adaptabilidade de cada genótipo. Estas foram salvas em arquivo do tipo TIFF. Assim, cada imagem continha o resultado da espacialização da estatística  $Ad_{is}$  em ambiente SIG. Depois, foram iniciadas no *software* Arcmap, onde foram convertidas de arquivo TIFF (arquivo “raster”) para “shapefile” (arquivo vetorial). Esses arquivos vetoriais, como apresentavam as larguras e os comprimentos máximos da região alvo, foram recortados via arquivo vetorial contendo a representação da área (utilizado como molde), através da função *Clip* do mesmo aplicativo.

O próximo passo foi definir as classes de adaptabilidade e as cores de cada classe, para indicar as melhores, piores ou médias adaptações produtivas dos genótipos ao longo da região de recomendação (Macrorregião Sojícola 3 do Brasil). Este procedimento foi realizado para as imagens obtidas de todos os genótipos, e levou à geração final dos mapas. As classes foram definidas em  $\text{kg.ha}^{-1}$ , como unidades de desvio padrão acima e abaixo de zero (a média geral dos ensaios em cada grupo). A estimativa deste desvio, para cada grupo de experimentos, foi obtida como o desvio padrão amostral das estimativas de interação  $(\widehat{ga})_{ij}$  na respectiva tabela ou matriz GxA de cada grupo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As análises realizadas na presente pesquisa consideraram, separadamente, os grupos comerciais de soja transgênica RR (*Roundup Ready*<sup>®</sup>) e soja convencional. Logo, inicialmente reitera-se que isto se justifica em razão do manejo diferencial da cultura nesses dois sistemas, sobretudo em relação ao controle de plantas daninhas. A subdivisão adicional de cada um, conforme o grupo de maturação das linhagens avaliadas, também se justifica pelas demandas específicas dos produtores ao longo da região em estudo – Macrorregião Sojícola 3.

Agricultores da microrregião sojícola 301, onde ocorre boa distribuição de chuvas no período da safra, geralmente iniciam o cultivo da soja mais cedo do que nas outras microrregiões. Por isso, demandam cultivares de ciclo superprecoce ou, no máximo, precoce, para que possam realizar o plantio da segunda safra de verão (“safrinha”) com milho. Já os agricultores da microrregião sojícola 302, onde normalmente ocorre instabilidade na distribuição das chuvas, em geral procuram cultivares de ciclo médio, que têm maior tempo para o seu desenvolvimento e, por conseguinte, melhor resposta quando sujeitas a períodos de déficit hídrico. Essa microrregião se distingue da 301 por ser um pouco mais elevada e com menor quantidade de chuvas durante o período de safra. Por último, aqueles das microrregiões 303 e 304 (áreas de maiores altitudes que as microrregiões 301 e 302 e com período chuvoso mais restrito, sobretudo em relação à microrregião 301) também preferem cultivares de ciclo médio a tardio (mais produtivas), pois, normalmente não realizam o plantio de segunda safra. As microrregiões 303 e 304 se distinguem principalmente pela diferença de latitude, sendo que a microrregião 304 fica em menores latitudes.

### **4.1 INTERAÇÃO GxA EM SOJA TRANSGÊNICA RR**

#### **4.1.1 Genótipos de ciclo superprecoce**

##### **4.1.1.1 Análise da variação fenotípica**

As análises de variância sobre a produtividade de grãos nos experimentos do grupo de cultivares RR e ciclo superprecoce, para cada local, encontram-se no Apêndice C.



A síntese desses resultados, com maior interesse no contexto do presente estudo, é apresentada na Tabela 3.

Pode-se observar que os graus de liberdade associados às variâncias residuais tiveram valores diferentes, em decorrência de perdas de parcelas, ocasionadas principalmente por excesso de chuva no período da colheita. Os locais que resultaram nas maiores médias de produtividade foram: Rio Verde (3438 kg.ha<sup>-1</sup>), Goiânia (3316 kg.ha<sup>-1</sup>) e Goiatuba (3113 kg.ha<sup>-1</sup>). Já os ambientes com as piores médias foram Itumbiara (1769 kg.ha<sup>-1</sup>) e Anápolis (2318 kg.ha<sup>-1</sup>). Essa variação mostra que os ensaios cobriram diferentes condições de cultivo na região, desde ambientes de elevada produtividade até aqueles com condições pouco satisfatórias.

**Tabela 3.** Produtividades médias ( $\bar{Y}_j$ ), em kg.ha<sup>-1</sup>, variâncias residuais (QMR), graus de liberdade do resíduo (GLR) e coeficientes de variação (CV%) nos ensaios de VCU em soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, em oito ambientes da Macrorregião Sojícola 3, ano agrícola de 2010/2011.

Ambiente	$\bar{Y}_j$	QMR	GLR	CV%
Goiatuba-GO	3113,44	64668,90	68	8,17
Rio Verde-GO	3438,11	91906,00	63	8,82
Jataí-GO	2907,12	77087,61	58	9,55
Anápolis-GO	2318,23	75310,80	58	11,84
SMPQ <sup>1</sup>	2524,05	99533,08	68	12,50
Itumbiara-GO	1769,96	96675,38	48	17,57
Piracanjuba-GO	2921,79	156734,85	45	13,55
Goiânia-GO	3316,19	71429,45	62	8,06

<sup>1</sup> São Miguel do Passa Quatro-GO.

O teste aplicado para avaliar homogeneidade das variâncias residuais (teste de Bartlett) resultou em valor significativo ( $p < 0,05$ ) na distribuição qui-quadrado ( $\chi^2 = 15,18^*$ ,  $p = 0,034$ ), tendo levado à rejeição da hipótese de variâncias homogêneas. Procedeu-se, então, ao ajuste dos graus de liberdade associados aos quadrados médios residuais e à interação GxA, pelo método de Cochran (1954). Só depois, obtiveram-se os resultados do teste F (Snedecor) para cada fonte de variação da análise conjunta (Tabela 4).

Foram verificadas diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipos (G), ambientes (A) e da interação GxA. Analisando-se as proporções das somas de quadrados devido a cada fonte de variação, os ambientes responderam pela maior parte (aproximadamente 60%); os genótipos com cerca de 5%; e a interação GxA, em torno de 20%. O restante, 15%, ficou por conta do erro experimental (resíduo). Outros autores encontraram resultados semelhantes, com maiores proporções associadas aos

efeitos de ambientes e da interação (Martins, 2004; Branquinho, 2011). Assim, como o efeito da interação GxA foi significativo e esta assumiu papel fundamental na manifestação fenotípica, justifica-se o seu detalhamento e consideração no processo de indicação de cultivares, no âmbito do respectivo programa de melhoramento genético (Prado et al., 2001).

**Tabela 4.** Análise conjunta de variância de dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ), em nível de médias, para linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, em oito ambientes da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola de 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Genótipo (G)	24	4782943,27	199289,30	7,39	0,0001
Ambiente (A)	7	50561540,85	7223077,26	267,73	0,0001
Interação GxA	156 <sup>1</sup>	18210206,79	116602,74	3,62	0,0001
Resíduo médio / r	394 <sup>1</sup>	12679902,26	32169,64	-	-

<sup>1</sup> Valores ajustados pelo método de Cochran (1954).

Observando-se os dados de produtividade dos genótipos em cada local (Tabela 5), nota-se que a amplitude das estimativas dos efeitos ambientais ( $1.597,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) foi quase três vezes maior que a amplitude dos efeitos genotípicos ( $591,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ ). Isso, em parte, ocorreu pelo fato de a amostragem ambiental procurar ser o mais abrangente possível, atingindo ambientes extremos. Outra explicação seria que o conjunto de genótipos se restringe aos melhores selecionados no programa, sendo que os piores não chegam a esta fase; como também argumentam Chaves (2001), Martins (2004) e Carvalho et al. (2002). Os genótipos com as maiores médias de produtividade neste grupo foram: G22 (Anta 82RR), com  $3072 \text{ kg.ha}^{-1}$ ; G25 (NK7074RR),  $3057 \text{ kg.ha}^{-1}$ ; G6 (BRY08-5.865Y),  $3017 \text{ kg.ha}^{-1}$ ; G18 (BRY08-1.668Y),  $2971 \text{ kg.ha}^{-1}$  e G16 (BRY10-0029Y),  $2938 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Comparando-se a cultivar Anta 82RR com a linhagem experimental BRY08-1.668Y, a cultivar foi mais produtiva; porém, deve-se considerar que a linhagem tem ciclo aproximadamente 15 dias menor. Tal diferença pode implicar, por exemplo, em menores gastos com pulverizações. Ademais, no sistema de “safrinha” isso pode resultar em maior produtividade do milho, pois em associação com soja mais precoce, aquela cultura pode ser implantada mais cedo, garantindo melhor aproveitamento da distribuição de chuvas.

As estimativas dos efeitos de interação GxA (Tabela 6) fornecem informações importantes sobre a adaptação relativa dos genótipos aos ambientes. Assim, valores

positivos e elevados de  $(\widehat{ga})_{ij}$  indicam boa adaptação produtiva da cultivar ou linhagem  $i$  ao ambiente  $j$ ; enquanto valores negativos indicam má adaptação relativa da cultivar ao ambiente (Chaves, 2001). O genótipo 25 obteve o maior valor de interação GxA no ambiente Piracanjuba (PJB); assim, teoricamente, este seria o genótipo que recebeu o maior estímulo específico deste ambiente, para a expressão do caráter produtividade de grãos. O mesmo genótipo, porém, apresentou má adaptação ao ambiente Jataí (JTI), evidenciando sua especificidade adaptativa e a presença de interação GxA.

**Tabela 5.** Produtividades médias de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, em ensaios conduzidos em oito localidades na Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipos	Ambientes <sup>1</sup>								Média <sup>2</sup>	$\hat{g}_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN		
1	3439,3	3367,4	3544,3	1736,9	2333,2	1405,7	2786,2	3580,8	2774,2	-24,1
2	2955,0	3022,7	2533,8	1916,8	2590,4	2355,9	2247,8	3404,6	2628,4	-169,9
3	3145,6	3511,6	3251,9	2400,6	2934,4	2286,5	2432,5	3337,1	2912,5	114,2
4	3078,8	3362,8	2896,8	2087,2	2693,8	1167,9	3194,7	3092,9	2696,9	-101,5
5	3035,6	3092,3	2605,4	2273,8	2717,8	2308,6	3573,8	3553,6	2895,1	96,8
6	3128,1	3515,3	3280,8	2415,3	3320,0	2665,2	2244,6	3569,9	3017,4	219,1
7	3410,0	3415,7	3083,1	2033,3	1949,1	1768,7	2657,9	3271,3	2698,6	-99,7
8	2951,9	3416,2	3118,5	1754,6	2146,2	2131,6	3020,1	2762,4	2662,7	-135,6
9	3030,6	3314,3	2779,7	2663,6	2429,7	1604,6	2576,7	3050,5	2681,2	-117,1
10	2698,8	3407,6	2841,9	2389,4	3019,5	2098,1	2769,5	3121,2	2793,2	-5,1
11	2902,6	3235,8	2408,8	2215,1	2165,7	2068,5	2719,2	3092,6	2601,0	-197,3
12	2919,4	2997,7	2992,1	1781,1	2202,5	1143,2	2731,9	3075,2	2480,4	-317,9
13	3516,9	3585,3	3037,8	2447,5	2946,0	1523,9	2767,3	3134,1	2869,8	71,5
14	3110,6	3435,3	3328,4	2354,6	2530,6	1444,9	2794,9	3385,7	2798,1	-0,2
15	2951,9	3849,2	2796,3	2794,8	2689,1	1506,0	3058,2	3729,2	2921,8	123,5
16	3013,8	3236,0	3239,6	2522,0	2540,6	2185,4	3192,4	3576,3	2938,3	140,0
17	2946,9	3060,0	2939,8	2778,0	2354,7	1207,0	2430,6	3144,0	2607,6	-190,7
18	3683,1	3519,2	2841,1	2501,6	1963,8	2801,4	2829,0	3631,3	2971,3	173,0
19	2980,6	3527,9	2860,9	2369,2	2633,5	1846,3	2305,3	3178,7	2712,8	-85,5
20	3365,0	3483,6	2714,2	2591,9	2246,0	2148,6	2583,3	3418,6	2818,9	20,6
21	2530,0	3526,3	2539,2	1911,9	2419,4	1424,6	3612,0	2909,7	2609,1	-189,2
22	3332,5	3733,7	2923,5	2442,3	2586,9	2077,0	3850,7	3630,8	3072,2	273,9
23	3351,3	3735,8	3254,5	2165,6	2651,3	1645,7	3319,2	3188,8	2914,0	115,7
24	3328,2	3654,0	2480,0	2747,3	2341,6	1292,5	3262,2	3498,7	2825,6	27,2
25	3101,9	3823,7	2624,9	2803,6	2760,6	1783,0	4111,2	3444,2	3056,6	258,3
Média <sup>2</sup>	3116,3	3433,2	2916,7	2323,9	2526,6	1835,6	2922,9	3311,3	2798,3	-
$\hat{a}_j$	318,0	634,9	118,4	-474,4	-271,7	-962,7	124,5	513,0	-	-

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia. <sup>2</sup> Médias genotípicas e ambientais, com os respectivos desvios  $\hat{g}_i$  e  $\hat{a}_j$ , tomados em relação à média geral.

**Tabela 6.** Estimativas dos efeitos da interação de genótipos com ambientes, relativas aos dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) em ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, e da estatística “ecoavalição” ( $w_i$ ), em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipo	Ambientes <sup>1</sup>								$w_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN	
1	347,1	-41,6	651,7	-562,9	-169,4	-405,8	-112,5	293,6	1156038,5
2	8,6	-240,6	-212,9	-237,2	233,7	690,3	-505,1	263,3	1014991,6
3	-84,9	-35,8	221,0	-37,5	293,5	336,6	-604,5	-88,4	631500,1
4	63,9	31,1	81,6	-135,2	268,6	-566,2	373,3	-116,9	575801,8
5	-177,5	-437,6	-408,1	-146,9	94,4	376,1	554,1	145,5	889790,2
6	-207,3	-137,0	145,0	-127,7	574,3	610,5	-897,3	39,6	1608307,7
7	393,4	82,2	266,1	-190,9	-477,9	32,7	-165,3	59,7	529056,6
8	-28,8	118,6	337,4	-433,7	-244,8	431,6	232,9	-413,2	788041,2
9	31,4	-1,8	-19,9	456,8	20,2	-114,0	-229,0	-143,7	296518,2
10	-412,5	-20,5	-69,7	70,5	497,9	267,6	-148,3	-185,0	556157,8
11	-16,4	-0,1	-310,6	88,5	-163,7	430,1	-6,3	-21,4	316874,0
12	121,0	-117,5	393,3	-224,9	-6,2	-374,5	127,0	81,8	396833,3
13	329,0	80,6	49,6	52,0	347,8	-383,3	-227,1	-248,7	501200,0
14	-5,5	2,3	411,8	30,9	4,2	-390,5	-127,8	74,6	345028,2
15	-288,0	292,6	-243,9	347,3	38,9	-453,1	11,9	294,4	642278,9
16	-242,5	-337,2	183,0	58,1	-126,0	209,8	129,6	125,1	301704,0
17	21,2	-182,4	213,9	644,8	18,8	-438,0	-301,6	23,4	778863,5
18	393,8	-87,0	-248,6	4,7	-735,9	792,8	-266,8	147,0	1487293,0
19	-50,2	180,3	29,7	130,8	192,3	96,1	-532,0	-47,1	384509,6
20	228,1	29,8	-223,1	247,4	-301,2	292,4	-360,1	86,7	477399,1
21	-397,1	282,3	-188,3	-222,8	81,9	-221,9	878,3	-212,4	1195071,0
22	-57,7	26,7	-267,0	-155,5	-213,6	-32,5	653,9	45,7	575932,0
23	119,2	186,9	222,2	-274,0	8,9	-305,7	280,6	-238,2	402549,6
24	184,7	193,5	-463,9	396,1	-212,3	-570,3	312,1	160,1	937066,7
25	-272,8	132,2	-550,1	221,3	-24,3	-310,9	930,0	-125,4	1421400,0

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia.

A contribuição média de cada genótipo para essa interação (GxA) foi avaliada pelas estimativas do parâmetro de estabilidade “ecoavalição” ( $w_i$ ). Por este parâmetro, o genótipo mais estável é aquele com menor valor de  $w_i$ . Assim, destacaram-se como mais estáveis os genótipos: G9, G16, G11, G14 e G19 (Tabela 6). Quando se relacionam os genótipos mais estáveis com os de maiores produtividades médias, apenas G16 (BRY10-0029Y) apresentou média elevada e mostrou-se estável (de adaptabilidade geral) segundo esse parâmetro. Os demais tiveram elevados valores de  $w_i$ , revelando adaptações específicas. Este fato fortalece a tese defendida neste estudo, de que a construção de mapas específicos da adaptação produtiva, para cada genótipo, pode melhorar substancialmente a descrição desse caráter em soja.

#### 4.1.1.2 Variáveis ambientais associadas à interação GxA

Quanto aos fatores ambientais associados à interação GxA, avaliados por meio das regressões lineares *stepwise*, todas as variáveis utilizadas, no primeiro ciclo de análises, apresentaram algum efeito significativo ( $p < 0,01$ ), sobre a interação. (Tabela 7). A variável altitude foi a que apresentou maior participação na soma de quadrados da interação GxA original (18,26%). Assim, foi identificada como a variável mais importante nesse primeiro ciclo de regressões. O resultado corrobora aquele obtido por Oliveira et al. (2006), em estudo semelhante, no qual se mostrou que a variável altitude foi a que explicou significativamente a maior proporção da soma de quadrados da interação GxA.

**Tabela 7.** Porcentagens da soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes ( $SQ_{G \times A}$ ) e significâncias da estatística F-Snedecor, para os efeitos lineares de variáveis ambientais sobre a interação GxA original, em quatro ciclos *stepwise* de análises de regressões lineares, para ensaios varietais de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, em Goiás (2010/2011).

Variáveis ambientais	Ciclos			
	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>
Altitude	18,26 <sup>**</sup>	-	-	-
Latitude	14,69 <sup>**</sup>	3,13 <sup>ns</sup>	3,69 <sup>ns</sup>	5,43 <sup>ns</sup>
Longitude	12,79 <sup>**</sup>	15,96 <sup>**</sup>	-	-
Evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM)	15,90 <sup>**</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	4,59 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF)	14,24 <sup>**</sup>	10,76 <sup>**</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	3,17 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM)	15,47 <sup>**</sup>	5,18 <sup>ns</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	3,56 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM)	11,48 <sup>**</sup>	5,24 <sup>ns</sup>	9,65 <sup>*</sup>	-
Precipitação acumulada do plantio à floração (PPF)	11,64 <sup>**</sup>	4,29 <sup>ns</sup>	5,08 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada da floração à maturação (PFM)	9,00 <sup>**</sup>	11,92 <sup>**</sup>	5,79 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>

\* e \*\*: valores significativos a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup>: valores não significativos a 5%.

Removendo-se o efeito linear da variável altitude, a soma de quadrados residual da interação GxA ainda continuou significativa a 1% de probabilidade (Tabela 8). Tal fato possibilitou, então, a realização do segundo ciclo de regressões lineares, buscando-se identificar efeitos importantes de outras variáveis ambientais.

Nesse ciclo de análises, aplicado à matriz de interação GxA residual (após a remoção dos efeitos lineares da altitude), apenas as variáveis longitude, evapotranspiração do plantio à floração (EPF) e precipitação da floração à maturação (PFM) tiveram participação significativa (Tabela 7). As demais variáveis não mais demonstraram significância, o que evidencia estarem correlacionadas com altitude. Ou seja, ao se remover o efeito da altitude, juntos foram removidos também os efeitos lineares de

latitude, EPM, EFM, PPM e PPF. Como exemplo, a variável evapotranspiração do plantio à maturação (EPM), que no primeiro ciclo de análises explicou quase 16% da soma de quadrados da interação GxA original (segunda no ordenamento decrescente), neste ciclo explicou pouco mais de 3%, valor que sequer atingiu significância estatística ( $p > 0,05$ ). Isso ocorre devido à provável correlação entre esta variável e altitude, pois quando se removeu o efeito da altitude, a primeira variável teve a sua influência significativa eliminada.

**Tabela 8.** Análise de variância com desdobramento do efeito da interação GxA pelo método de regressão linear de *stepwise*, em três ciclos de análises, para ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, conduzidos em Goiás – Macrorregião Sojícola 3, em 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Interação GxA	156 <sup>1</sup>	18210206,8	116602,74	3,62	0,0001
Altitude	24	3324708,1	138529,50	4,31	0,0001
Resíduo 1	132	14885498,7	112621,28	3,50	0,0001
Longitude	24	2375050,3	98960,43	3,08	0,0001
Resíduo 2	108	12510448,4	115652,17	3,59	0,0001
PPM	24	1207217,9	50300,75	1,56	0,0454
Resíduo 3	84	11303230,5	134285,62	4,17	0,0001
Resíduo médio / r	394 <sup>1</sup>	12679902,3	32169,64	-	-

<sup>1</sup> Valores ajustados segundo o método de Cochran (1954).

Na cultura da soja, é esperado efeito significativo da latitude sobre a produção de grãos, já que essa variável determina o comprimento do dia, que é responsável pela variação no período de floração e no ciclo total da planta. Quanto à longitude, pelo contrário, não se esperava efeito relevante. A amplitude desta variável entre os locais avaliados foi relativamente pequena, correspondendo apenas a cerca de três graus, ou seja, aproximadamente 330 km (Tabela 1 e Figura 2). Ainda assim esta variável pode ter tido efeito indireto pela sua correlação com outras variáveis ambientais não abordadas neste estudo, como, por exemplo, tipo de solo, incidência de doenças, entre outras, que são consideradas relevantes na separação das microrregiões avaliadas. Ademais, deve-se atentar para o fato de que a influência aqui avaliada não é sobre o efeito principal de ambiente (A), mas sobre a interação GxA.

Removendo-se, na sequência, o efeito linear da longitude, a interação GxA ainda continuou significativa (Tabela 8). Isto justificou a continuidade do processo de

busca de variáveis explicativas da interação GxA, pelo menos enquanto havia graus de liberdade disponíveis para estimar as regressões sucessivas ("g-1" graus de liberdade para cada ciclo de análise). E, neste caso, ainda havia 108 graus de liberdade a serem explorados; enquanto cada ciclo de análise consumia apenas 24 deles.

No terceiro ciclo de regressões (Tabela 7), apenas uma variável, a precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM), assumiu significância na soma de quadrados da interação GxA residual; isto, após a remoção dos efeitos lineares de altitude e longitude. Quase 10% dessa soma de quadrados foram explicados pela variável PPM, ou seja, pela quantidade de chuva acumulada entre novembro (mês de plantio) e fevereiro (mês da maturação média neste ciclo) daquele ano agrícola (2010/2011). As outras variáveis não mais tiveram participação significativa nessa soma de quadrados.

Com relação à precipitação pluviométrica, era mesmo esperado que alguma de suas variáveis derivadas (PPM, PPF e PFM) apresentasse efeito significativo sobre a interação GxA. Isso porque, na cultura da soja, a água constitui cerca de 90% do peso da planta, atuando em praticamente todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos. Ademais, nas condições de cultivo avaliadas, a água é disponibilizada à planta basicamente por meio da chuva. Assim, torna-se fundamental e essencial em pelo menos dois períodos de desenvolvimento da planta: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (Embrapa, 2010). Reitera-se, porém, o fato de esta análise específica não considerar o efeito principal de ambiente (A), mas tão só os efeitos da interação GxA.

Removendo-se o efeito linear da variável PPM (além daqueles anteriormente já removidos), ainda assim a interação GxA remanescente revelou significância (Tabela 8). Isso motivou um quarto ciclo de análises, haja vista ainda restarem 84 graus de liberdade para esta interação residual. Todavia, neste ciclo de regressões, nenhuma variável mais revelou participação na soma de quadrados desta interação (Tabela 7). Apesar disso, como tal soma de quadrados ainda se manteve significativa ( $p < 0,05$ ), infere-se que outras variáveis não incluídas no estudo ainda poderiam explicar parte importante dessa variação. Isto abre a perspectiva de exploração de número bem maior de variáveis nesse tipo de abordagem, até mesmo porque mais de 50% da variação associada à interação GxA original, nesse grupo de experimentos, continuaram não sendo explicados pelo conjunto de variáveis ambientais escolhidas.

Em síntese, as três variáveis que apresentaram efeito significativo sobre a interação GxA, neste caso, foram: altitude, longitude e precipitação acumulada do plantio à

maturação (PPM). Juntas elas explicaram quase 45% da variação associada à interação GxA original (18%, 16% e 10%, respectivamente); o que, sem dúvida, é uma parcela considerável dessa variação, haja vista a multiplicidade de fatores que afeta um caráter como a produtividade de grãos (Chaves, 2001). Também porque esta parcela foi aqui incorporada na modelagem e predição espacial das respostas genotípicas ao longo da região alvo de recomendação. Isto representa um avanço, pois normalmente nos estudos de adaptabilidade e estabilidade, a resposta média obtida em determinado ponto é extrapolada para toda a microrregião representativa, sendo que variações dentro dessa área são desconsideradas.

#### 4.1.1.3 Inferência espacial da adaptabilidade genotípica

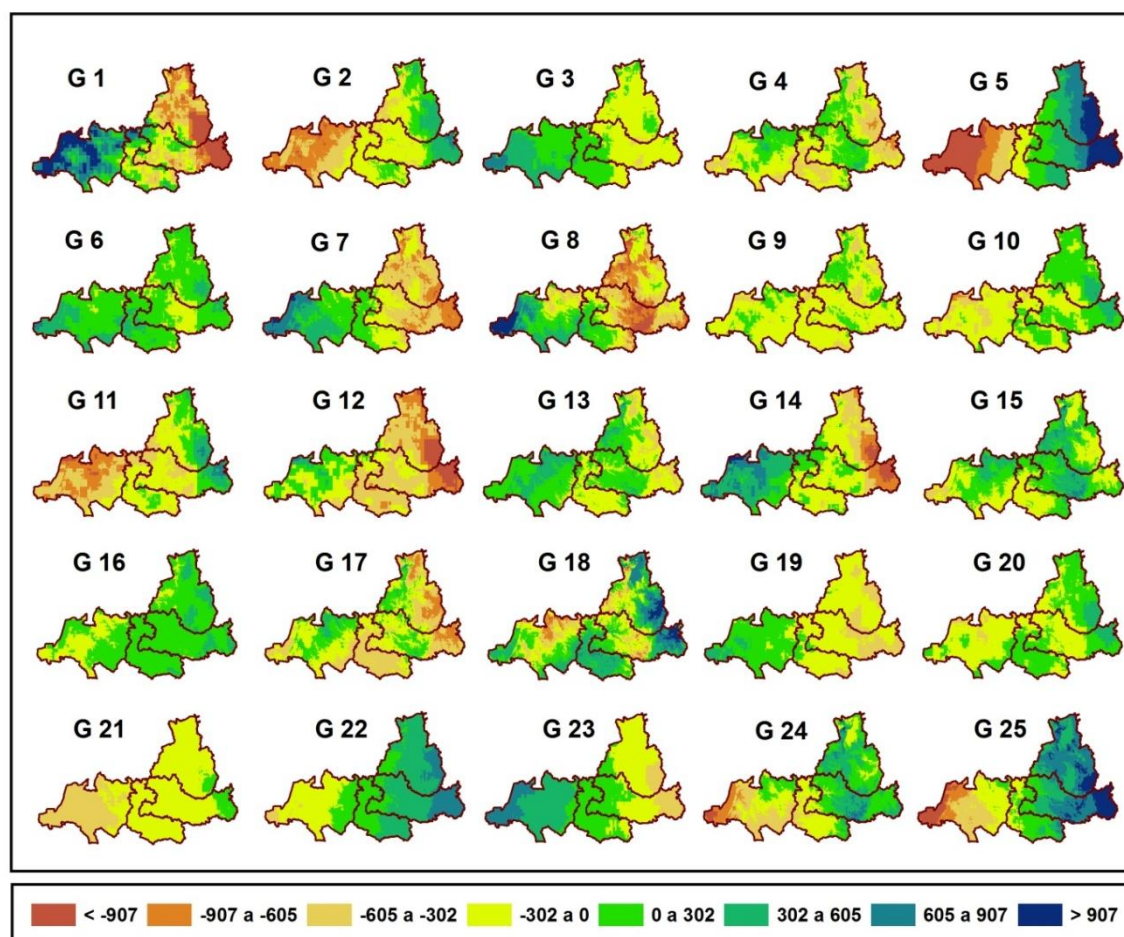
A inferência espacial das respostas produtivas diferenciais dos genótipos às variáveis altitude, longitude e precipitação pluviométrica do plantio à maturação (PPM) é sintetizada na Figura 3. Como o modelo de espacialização não considerou a média geral dos ensaios, para não se produzir mapas de predição da produtividade, mas sim da adaptabilidade produtiva dos genótipos, as classes foram estabelecidas como desvios em torno de zero (média geral dos ensaios, neste caso, 2798 kg.ha<sup>-1</sup>). Assim, cada classe foi representada por uma cor diferente, correspondendo a unidades de desvio padrão. Este foi estimado como o desvio padrão dos valores na matriz de interação GxA original (neste caso, 303 kg.ha<sup>-1</sup>).

Como esperado, observaram-se padrões de comportamento distintos entre os genótipos. Tal fato resultou da sensibilidade diferencial dos genótipos frente aos fatores ambientais considerados. Os mapas de cada genótipo apresentaram um padrão variegado, com mosaico de informações das diferentes classes adaptativas (Figura 3). Assim, pela análise visual dos mapas, podem ser distinguidas as variações nas respostas produtivas esperadas para os diferentes genótipos, diante da variação espacial do ambiente, ao longo da região de abrangência do estudo.

Os genótipos G6 (BRY08-5.865Y) e G16 (BRY10-0029Y) podem ser considerados agronomicamente estáveis, por apresentarem pouca variação nas classes de adaptabilidade produtiva. Considerando-se suas boas médias de rendimento (3017,4 kg.ha<sup>-1</sup> e 2938,3 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente), com predomínio das classes mais produtivas em ambos os mapas, poderiam ser recomendados, segundo esse caráter, para toda a Macrorregião Sojícola 3 do Brasil. A linhagem BRY10-0029Y também revelou estabilidade fenotípica



pela estatística “ecovalência” (Tabela 6). Ademais, os genótipos G3 (BRY08-2.007Y) e G23 (CD 240RR) tiveram melhor adaptabilidade às Microrregiões 301 e 302 (classes mais produtivas à esquerda nos mapas); G18 (BRY08-1.668Y) adaptou-se especificamente à Microrregião 302 (ao centro); G5 (BRY08-3.151Y), com nítida sensibilidade à longitude, às Microrregiões 303 e 304 (à direita); e G22 (Anta 82RR) e G25 (NK7074RR), às Microrregiões 302, 303 e 304. No caso dos dois últimos genótipos, esse resultado não está inteiramente de acordo com a recomendação oficial destas cultivares, que as recomenda para toda a Microrregião Sojícola 3 (TMG, 2013; Syngenta, 2013). Isso demonstra a necessidade de estudos adicionais, com incorporação de mais anos de teste, para melhor aferir a adaptação dos genótipos à região. Os demais genótipos, com produtividades médias relativamente baixas, não mereceram destaque na presente discussão.



**Figura 3.** Representação cartográfica da adaptabilidade produtiva, em  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , de 25 genótipos de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, avaliados na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, ano agrícola 2010/2011, com base na influência das variáveis ambientais altitude, longitude e precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação (novembro/2010 a fevereiro/2011).

Com a utilização desta metodologia, observa-se que alguns genótipos que seriam desconsiderados por baixas produtividade e estabilidade, apresentaram áreas substanciais com produção acima da média geral. Como exemplos podem ser citados os genótipos G8, G7, G1, G14 e G24, que tiveram produtividades médias ( $\bar{Y}_i$ ) aquém da décima posição no ordenamento decrescente das médias, mas demonstraram bom potencial produtivo em algumas microrregiões.

Nesse sentido, essa abordagem gera considerável contribuição no que diz respeito ao aproveitamento das adaptações específicas, visando recomendações particularizadas. Assim, poderá ajudar em recomendações que melhor atendam a necessidades específicas de certos produtores, levando à escolha de cultivares mais produtivas e adaptadas às condições locais de suas fazendas. Por conseguinte, também auxilia na maximização da produção total da cultura na região alvo do programa de melhoramento. Isso corrobora a tese de Martins (2004), que, ao propor essa abordagem, também confeccionando mapas ilustrativos de recomendação de cultivares de soja para o Estado de Goiás, sustentou as mesmas vantagens metodológicas.

#### **4.1.2 Genótipos de ciclo precoce**

##### **4.1.2.1 Análise da variação fenotípica**

As análises individuais de variância sobre a produtividade dos experimentos do grupo de cultivares RR e ciclo precoce encontram-se no Apêndice D. A síntese desses resultados é apresentada na Tabela 9, revelando que os locais com as maiores médias de produtividade foram: Rio Verde (3491,9 kg.ha<sup>-1</sup>), Goiânia (3302,8 kg.ha<sup>-1</sup>) e Piracanjuba (3253,5 kg.ha<sup>-1</sup>). Os ambientes com as piores médias foram Itumbiara (2261,1 kg.ha<sup>-1</sup>) e São Miguel do Passa Quatro (2517,0 kg.ha<sup>-1</sup>).

A análise conjunta de variância com graus de liberdade ajustados para o resíduo médio e para a interação é apresentada na Tabela 10. Os resultados levaram à observação de efeitos altamente significativos ( $p < 0,01$ ) para genótipos (G), ambientes (A) e interação GxA. Os ambientes, mais uma vez, representaram a maior proporção da soma de quadrados total, aproximadamente 40%, seguidos da interação GxA, com cerca de 30%. A significância desta interação, outra vez, veio justificar o uso de suas estimativas no processo de indicação de cultivares no âmbito desse programa de melhoramento genético.

**Tabela 9.** Produtividades médias ( $\bar{Y}_j$ ), em kg.ha<sup>-1</sup>, variâncias residuais (QMR), graus de liberdade do resíduo (GLR) e coeficientes de variação (CV%) nos ensaios de VCU em soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, em oito ambientes da Macrorregião Sojícola 3, ano agrícola de 2010/2011.

Ambiente	$\bar{Y}_j$	QMR	GLR	CV%
Goiatuba-GO	2867,8	113469,9	63	11,7
Rio Verde-GO	3492,0	108752,1	61	9,4
Jataí-GO	2822,8	91112,6	53	10,7
Anápolis-GO	2640,3	64349,0	62	9,6
SMPQ	2517,0	73013,1	71	10,7
Itumbiara-GO	2261,1	104717,1	56	14,3
Piracanjuba-GO	3253,5	150063,7	56	11,9
Goiânia-GO	3302,8	103770,6	58	9,8

<sup>1</sup> São Miguel do Passa Quatro-GO.

**Tabela 10.** Análise conjunta de variância de dados de produtividade de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>), com desdobramentos do efeito de interação GxA pelo método de regressão linear de *stepwise*, para linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola de 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Genótipo (G)	24	7219346,0	300806,1	9,30	0,0000
Ambiente (A)	7	31755443,4	4536491,9	140,90	0,0000
Interação GxA	160 <sup>1</sup>	27391225,8	171354,4	5,30	0,0000
PPM	24	5754242,7	239760,1	7,45	0,0000
Resíduo 1	136	21636983,1	159269,6	4,95	0,0000
Altitude	24	3636958,6	151539,9	4,71	0,0000
Resíduo 2	112	18000024,5	160928,2	5,00	0,0000
Longitude	24	1860060,1	77502,5	2,41	0,0003
Resíduo 3	88	16139964,4	183719,1	5,71	0,0000
Resíduo médio / r	442 <sup>1</sup>	14241160,7	32192,2	-	-

<sup>1</sup> Valores ajustados pelo método de Cochran (1954); teste de Bartlett (homocedasticidade):  $\chi^2 = 14,68^*$  (p = 0,040).

Observando-se os dados de produtividade dos genótipos em cada local (Tabela 11), nota-se que a amplitude das estimativas dos efeitos ambientais (1222,8 kg.ha<sup>-1</sup>) foi quase duas vezes maior que a amplitude dos efeitos genotípicos (701,0 kg.ha<sup>-1</sup>). Os genótipos com as maiores médias de produtividade foram: G29 (BRBIGO03-200260-3GO), com 3236 kg.ha<sup>-1</sup>; G26 (BRBIGO04-682-28GO), com 3199 kg.ha<sup>-1</sup>; G33 (BRBIGO03-200176-29GO), com 3189 kg.ha<sup>-1</sup>; G48 (M7908RR), com 3153 kg.ha<sup>-1</sup> e G45 (BRY10-0010Y), com 3125 kg.ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 11.** Produtividades médias de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, em ensaios conduzidos em oito localidades na Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipos	Ambientes <sup>1</sup>								Médias <sup>2</sup>	$\hat{g}_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN		
26	3678,2	3711,4	2655,0	2762,3	2734,7	2108,0	4924,3	3018,7	3199,1	301,8
27	3156,9	3247,2	2441,9	2062,8	2334,1	1954,2	3272,2	3767,7	2779,6	-117,7
28	2027,0	3097,3	2672,4	2878,4	2582,8	2497,4	3977,5	3295,7	2878,6	-18,7
29	2083,1	3830,2	3363,8	3296,9	2577,2	3388,0	3373,1	3973,8	3235,8	338,5
30	3282,4	3043,8	2710,9	2678,0	2578,8	2050,8	3502,3	3812,5	2957,4	60,1
31	2509,4	2927,4	3077,9	2374,2	2824,4	2637,7	3209,4	3471,4	2879,0	-18,3
32	3165,0	3549,7	2440,4	2940,9	2533,2	2252,7	2629,7	3082,3	2824,2	-73,0
33	3248,1	3768,6	3093,0	2703,9	3124,1	2991,8	3056,1	3508,6	3186,8	289,5
34	2983,8	2509,7	2861,1	2170,9	2092,5	2131,8	2921,9	3049,2	2590,1	-307,2
35	2928,8	3530,3	2077,6	2373,2	2018,8	1317,7	3220,4	3407,3	2609,3	-288,0
36	2996,9	3293,3	2633,5	2093,6	2262,5	1604,3	2956,9	3263,0	2638,0	-259,3
37	3666,3	3788,2	2952,7	2354,6	2255,0	2779,6	2594,7	3443,7	2979,3	82,1
38	3454,4	3539,1	2630,1	3038,1	2794,4	1915,9	2513,1	3796,4	2960,2	62,9
39	3030,6	3686,4	2793,4	2462,4	2848,5	1934,0	3247,8	3569,7	2946,6	49,3
40	2575,6	2986,1	2378,3	2389,3	2856,6	1530,1	2598,1	2964,4	2534,8	-362,5
41	2575,5	3685,8	3072,8	2854,9	2405,3	2073,0	3263,3	3238,2	2896,1	-1,2
42	2260,6	3983,7	3507,1	2814,1	2135,9	1969,7	3666,4	2276,0	2826,7	-70,6
43	1973,1	3209,2	2801,9	2792,8	2582,2	2416,0	3087,2	2763,9	2703,3	-194,0
44	1967,5	3266,4	3590,0	2819,0	2530,7	1994,2	3173,6	2559,4	2737,6	-159,7
45	3761,1	3688,3	2727,6	2731,6	2928,2	2108,6	3494,5	3556,5	3124,6	227,3
46	2873,1	3642,0	2752,0	3002,5	2307,3	2446,0	2996,6	3332,5	2919,0	21,7
47	3234,4	3436,5	2718,0	1685,6	2463,8	3140,5	3639,4	3636,4	2994,3	97,0
48	2962,5	4008,8	3095,9	3189,4	2516,9	2592,0	3625,9	3233,3	3153,1	255,8
49	2744,0	3742,8	2948,5	3019,0	1941,9	2290,3	3578,5	3487,2	2969,0	71,7
50	3045,0	3695,3	2248,8	2998,0	2633,5	2172,7	3319,7	3163,5	2909,6	12,3
Médias <sup>2</sup>	2887,3	3474,7	2809,8	2659,5	2514,5	2251,9	3273,7	3306,8	2897,3	-
$\hat{a}_j$	-9,9	577,4	-87,5	-237,8	-382,8	-645,4	376,4	409,6	-	-

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia. <sup>2</sup> Médias genotípicas e ambientais, com os respectivos desvios  $\hat{g}_i$  e  $\hat{a}_j$ , tomados em relação à média geral.

As interações estimadas para cada combinação de genótipo e ambiente, incluindo-se a estatística de estabilidade aqui adotada (“ecoalência”), são apresentadas no Apêndice E. Os genótipos mais estáveis fenotipicamente, por esta medida, foram: G41, G46, G39, G48, G36, G50 e G33. Ao se associar elevada média de produtividade e estabilidade fenotípica, apenas G48 (M7908RR) e G33 (BRBIGO03-200176-29GO) mostraram ser de adaptabilidade geral.

#### 4.1.2.2 Variáveis ambientais associadas à interação GxA

Todos os fatores ambientais avaliados apresentaram efeito significativo ( $p < 0,01$ ) sobre a interação GxA, no primeiro ciclo de análises de regressão desse grupo de

experimentos (Tabela 12). A variável precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação (PPM), representada pela precipitação total de novembro/2010 a março/2011, foi identificada como a mais importante neste ciclo de regressões. Representou, sozinha, mais de 20% da soma de quadrados da interação GxA original.

**Tabela 12.** Porcentagens da soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes ( $SQ_{GxA}$ ) e significâncias da estatística F-Snedecor, para os efeitos lineares de variáveis ambientais sobre a interação GxA original, em quatro ciclos de análises de regressões lineares, para ensaios varietais de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, em Goiás (2010/2011).

Variáveis Ambientais	Ciclos			
	1º	2º	3º	4º
Altitude	13,98**	16,80**	-	-
Latitude	10,78**	13,83**	5,93 <sup>ns</sup>	5,71 <sup>ns</sup>
Longitude	10,60**	8,26**	10,33**	-
Evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM)	13,39**	15,30**	1,46 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF)	8,94**	10,51**	6,09 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM)	16,90**	12,40**	6,61 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM)	21,01**	-	-	-
Precipitação acumulada do plantio à floração (PPF)	16,86**	7,39**	2,42 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada da floração à maturação (PFM)	12,87**	8,67**	2,27 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>

\* e \*\*: valores significativos a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup>: valores não significativos a 5%.

Removendo-se o efeito dessa variável (PPM) num segundo ciclo de análises (Tabela 10), a interação GxA residual ainda continuou significativa ( $p < 0,01$ ), justificando a busca de variáveis outras porventura importantes na explicação da interação. Esta busca revelou que todas as variáveis ambientais restantes ainda mantiveram efeitos significativos sobre a interação (Tabela 12). Logo, constata-se que, neste conjunto de dados e experimentos (soja transgênica RR de ciclo precoce), a variável PPM mostrou-se relativamente independente das demais. Além disso, neste ciclo de análises, a variável com a maior contribuição para a soma de quadrados da interação residual foi altitude.

A busca de variáveis explicativas da interação GxA continuou sendo feita num terceiro ciclo de regressões, pois, removendo-se o efeito linear da altitude, a interação GxA ainda permaneceu significativa (Tabela 10). Neste ciclo de análises (após a remoção dos efeitos de PPM e altitude), apenas a variável longitude assumiu significância na soma de quadrados da interação GxA residual, explicando cerca de 10% desta soma (Tabela 12). As demais variáveis não mostraram mais participação significativa, indicando estarem correlacionadas à longitude, no que tange aos seus efeitos sobre a interação GxA. Isso

porque, ao se remover o efeito linear da longitude, as outras não mais tiveram efeitos significativos ( $p > 0,05$ ) sobre a interação.

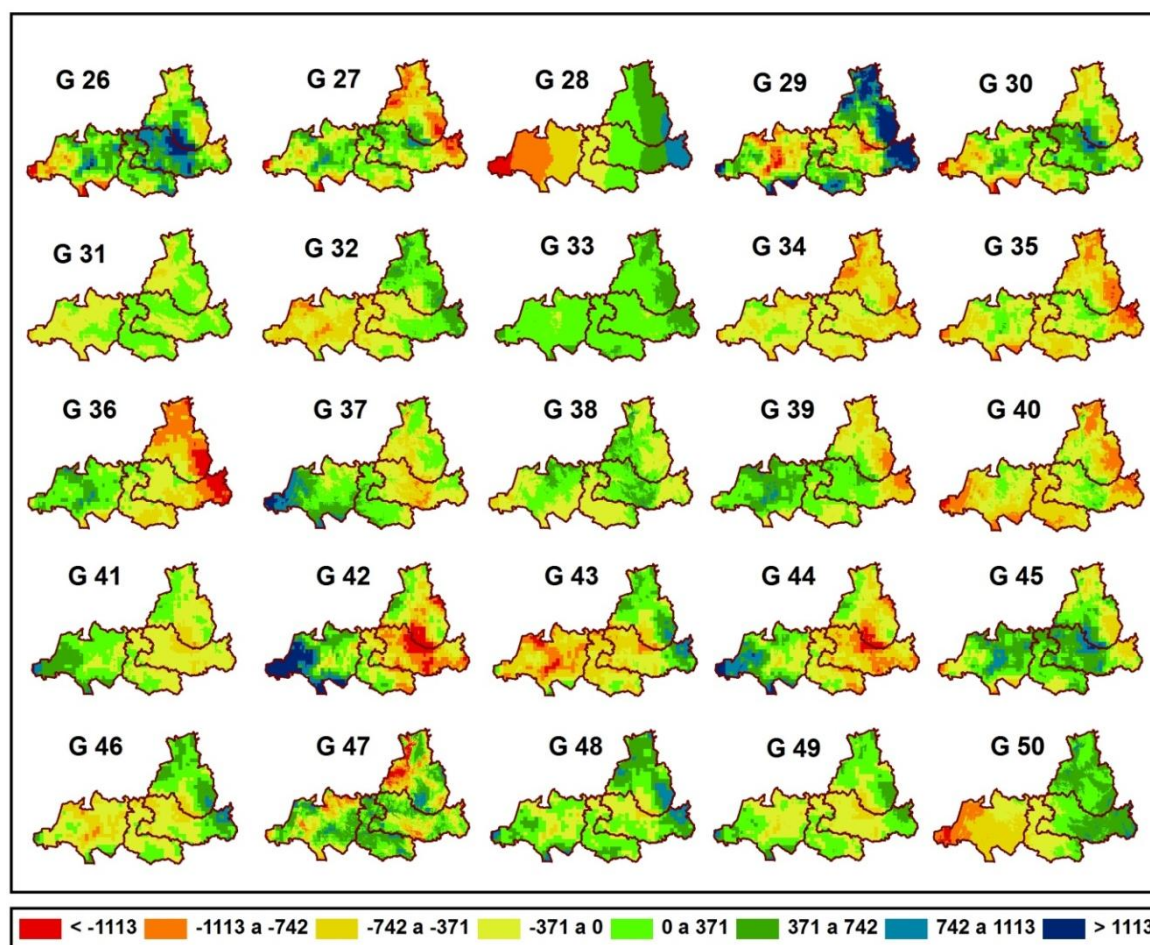
Ainda se realizou um quarto ciclo de regressões, pois a interação GxA remanescente (Resíduo 3) ainda revelou significância (Tabela 10). Também ainda restavam 88 graus de liberdade para explorar possíveis efeitos lineares das demais variáveis. Todavia, neste ciclo de análises, nenhuma variável revelou mais participação na soma de quadrados dessa interação (Tabela 12).

Em síntese, no grupo de soja transgênica RR de ciclo precoce, as variáveis que apresentaram efeitos significativos sobre a interação GxA foram: precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM), altitude e longitude. Juntas, explicaram quase 50% (21%, 17% e 10%, respectivamente) da variação associada à interação GxA original. E, por essa razão, foram incluídas no modelo de predição da adaptabilidade produtiva dos genótipos avaliados neste grupo.

#### 4.1.2.3 Inferência espacial da adaptabilidade genotípica

Os mapas da adaptabilidade produtiva dos genótipos avaliados neste grupo de experimentos, que levam em conta os efeitos lineares das variáveis ambientais precipitação pluviométrica do plantio à maturação (PPM), altitude e longitude, estão representados na Figura 4. Igualmente a outros casos, as classes de adaptabilidade estabelecidas (diferentes cores) representam unidades de desvio padrão em torno de zero. Como referência interpretativa, o valor desse desvio, no presente caso, foi  $371 \text{ kg.ha}^{-1}$ , e a média geral dos ensaios,  $2897,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

O genótipo G33 (BRBIGO03-200176-29GO) destacou-se pela sua adaptabilidade geral; isto é, por apresentar pouca variação nas classes de produtividade, com predomínio de adaptabilidades em classes de desvios positivos. Acrescentando-se a sua produtividade média relativamente alta ( $3187 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) e sua baixa estimativa de “ecoalência” (Tabela 11 e Apêndice E), a linhagem pode ser considerada agronomicamente estável, em relação aos demais genótipos em teste. Assim, com base no caráter produtividade de grãos, é genótipo candidato à recomendação para toda a Macrorregião Sojícola 3.



**Figura 4.** Representação cartográfica da adaptabilidade produtiva, em  $\text{kg.ha}^{-1}$ , de 25 genótipos de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, avaliados na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, ano agrícola 2010/2011, com base na influência das variáveis ambientais precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação (novembro/2010 a fevereiro/2011), altitude e longitude.

A maior parte dos outros genótipos mostrou adaptação produtiva específica, a uma ou outra microrregião. Por exemplo, à Microrregião 301 (à esquerda nos mapas) foram mais bem adaptados os genótipos G37 (BRY08-1.039Y), G39 (BRY08-3.179Y) e G42 (BRY10-0061Y); à Microrregião 302 (ao centro) adaptou-se melhor G47 (Anta 82RR); já os genótipos G26 (BRBIGO04-682-28GO) e G45 (BRY10-0010Y) adaptaram-se à Microrregião 303 (à direita e embaixo no mapa); e G29 (BRBIGO03-200260-3GO) e G48 (M7908RR), à Microrregião 304. Diferentemente dos dois últimos, os genótipos G28 (GO04-5003-77GO), com nítida sensibilidade à longitude, e G50 (NK7074RR) não se destacaram entre os mais produtivos (Tabela 11); porém, ainda assim mostraram boa adaptação produtiva às Microrregiões 303 e 304. Por outro lado, mostraram baixa adaptabilidade às localidades mais a Oeste da Macrorregião, o que influenciou na redução



de suas produtividades médias. Más adaptações produtivas também ficaram evidentes no caso das linhagens G36, G42 e G44, às localidades mais ao Leste da região; embora com adaptabilidades relativamente altas mais a Oeste.

### 4.1.3 Genótipos de ciclo médio

#### 4.1.3.1 Análise da variação fenotípica

Os locais com as maiores médias de produtividade, nos ensaios do grupo de genótipos de ciclo médio em soja transgênica RR, foram: Rio Verde (3533,7 kg.ha<sup>-1</sup>), Goiânia (3516,2 kg.ha<sup>-1</sup>) e Piracanjuba (3365,4 kg.ha<sup>-1</sup>). Já as menores médias foram observadas em São Miguel do Passa Quatro (2492,0 kg.ha<sup>-1</sup>) e Itumbiara (2526,8 kg.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 13). As análises de variância individuais, para os oito locais de avaliação deste grupo de experimentos, são apresentadas no Apêndice F.

**Tabela 13.** Produtividades médias ( $\bar{Y}_j$ ) em kg.ha<sup>-1</sup>, variâncias residuais (QMR), graus de liberdade do resíduo (GLR) e coeficientes de variação (CV%) nos ensaios de VCU em soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, em oito ambientes da Macrorregião Sojícola 3, ano agrícola de 2010/2011.

Ambiente	$\bar{Y}_j$	QMR	GLR	CV%
Goiatuba-GO	3085,0	128434,2	63	11,6
Rio Verde-GO	3533,7	111726,8	59	9,5
Jataí-GO	3000,5	151706,7	63	13,0
Anápolis-GO	2712,2	83691,9	60	10,7
SMPQ <sup>1</sup>	2492,0	67073,5	64	10,4
Itumbiara-GO	2526,8	78110,9	53	11,1
Piracanjuba-GO	3365,4	137028,6	52	11,0
Goiânia-GO	3516,2	242063,4	52	14,0

<sup>1</sup> São Miguel do Passa Quatro-GO.

Na análise conjunta, foram observadas diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipos (G), ambientes (A) e da interação GxA, sendo que o efeito ambiental (A) respondeu pela maior proporção da soma de quadrados total (aproximadamente 40%). A interação GxA foi a segunda em proporção e, neste caso, respondeu com 30% desta soma de quadrados. Genótipos representaram cerca de 10% (Tabela 14).

Os genótipos com as maiores médias de produtividade foram: G73 (BRS Valiosa RR), com 3579 kg.ha<sup>-1</sup>; G58 (BRBIGO03-200424-8GO), com 3364 kg.ha<sup>-1</sup>; G55 (BRBIGO04-728-13GO), com 3284 kg.ha<sup>-1</sup>; G65 (BRASR06-1484Y), com 3280 kg.ha<sup>-1</sup> e G54 (BRBIGO04-724-16GO), com 3279 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 15). Tomando-se a estatística



“ecovalência” ( $\omega_i$ ), os genótipos que menos contribuíram para a interação GxA foram: G67, G59, G64, G69, G51, G73 e G68. Entre estes, apenas G73 (BRS Valiosa RR) teve também elevada média de produtividade, mostrando-se agronomicamente estável; isto é, com adaptação ampla ao conjunto de ambientes alvo da recomendação. Os demais genótipos com alta produtividade tiveram elevados valores de  $\omega_i$ , revelando-se de adaptação específica. As produtividades médias de todos os genótipos em cada local e as respectivas estimativas da interação GxA encontram-se nos Apêndices G e H.

**Tabela 14.** Análise conjunta de variância de dados de produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), com desdobramento do efeito de interação GxA pelo método de regressão linear de *stepwise*, para linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola de 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Genótipo (G)	24	11094331,3	462263,8	10,19	0,0000
Ambiente (A)	7	31635694,4	4519384,9	99,65	0,0000
Interação GxA	146 <sup>1</sup>	25235497,7	172889,7	3,81	0,0000
EFM <sup>2</sup>	24	4060067,5	169169,5	3,73	0,0000
Resíduo 1	122	21175430,2	173621,7	3,83	0,0000
Altitude	24	3076270,1	128177,9	2,83	0,0000
Resíduo 2	98	18099160,1	184755,0	4,07	0,0000
PPM <sup>3</sup>	24	2297160,7	95715,0	2,11	0,0019
Resíduo 3	74	15801999,4	213647,3	4,71	0,0000
Resíduo médio / r	380 <sup>1</sup>	17246210,8	45351,5	-	-

<sup>1</sup> Valores ajustados pelo método de Cochran (1954); teste de Bartlett (homocedasticidade):  $\chi^2 = 35,39^{**}$  ( $p = 0,001$ ).

<sup>2</sup> Evapotranspiração acumulada da floração à maturação <sup>3</sup>: precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação.

#### 4.1.3.2 Variáveis ambientais associadas à interação GxA

Na análise para identificação de fatores ambientais relacionados à interação GxA, nesse grupo de experimentos, todas as variáveis avaliadas apresentaram, no primeiro ciclo de regressões *stepwise*, efeito significativo ( $p < 0,01$ ) sobre a interação (Tabela 16). A variável com maior participação foi evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM), que explicou 16% da soma de quadrados da interação GxA original.

No segundo ciclo de análises, após remoção do efeito linear de EFM, a soma de quadrados residual da interação GxA continuou significativa a 1% de probabilidade (Tabela 14). Neste ciclo, apenas a variável evapotranspiração do plantio à maturação (EPM) não apresentou efeito significativo ( $p > 0,05$ ), revelando a sua natural correlação

com EFM; e, a variável que contribuiu com a maior porção da soma de quadrados da interação residual (Resíduo 1) foi altitude.

**Tabela 15.** Produtividades médias, efeitos genotípicos e estatística “ecoavalição” ( $\omega_i$ ) de linhagens e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, avaliadas na Macrorregião Sojícola 3 (2010/2011).

Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_i$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$	Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_i$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$
51	3207,0	162,2	580526,9	64	3028,6	-16,2	490328,4
52	3115,2	70,3	1897568,0	65	3280,1	235,2	642868,9
53	3221,1	176,3	1145459,0	66	2815,7	-229,1	744361,0
54	3279,6	234,8	1453985,0	67	3113,7	68,9	303408,7
55	3284,3	239,5	1197709,0	68	2665,3	-379,5	634936,5
56	2686,2	-358,7	687615,3	69	2995,7	-49,2	558931,2
57	2530,9	-514,0	1292684,0	70	3084,2	39,4	1106150,0
58	3364,0	319,2	851793,0	71	3114,4	69,6	1097841,0
59	2992,4	-52,4	395429,5	72	3092,4	47,5	2313417,0
60	2841,7	-203,1	1348111,0	73	3579,7	534,9	584410,6
61	2886,5	-158,3	1968627,0	74	3206,3	161,5	670493,1
62	2866,7	-178,2	771136,9	75	3012,3	-32,5	1014844,0
63	2856,7	-188,1	1482864,0	Média ( $\bar{Y}_{..}$ )	3044,8	-	-

**Tabela 16.** Porcentagens da soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes ( $SQ_{G \times A}$ ) e significâncias da estatística F-Snedecor, para os efeitos lineares de variáveis ambientais sobre a interação GxA original, em quatro ciclos *stepwise* de análises de regressões lineares, para ensaios varietais de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio de maturação, em Goiás (2010/2011).

Variáveis Ambientais	Ciclos			
	1º	2º	3º	4º
Altitude	15,58**	14,53**	-	-
Latitude	14,60**	9,76**	5,24 <sup>ns</sup>	5,30 <sup>ns</sup>
Longitude	11,61**	9,03*	6,38 <sup>ns</sup>	8,68 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM)	14,80**	4,44 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF)	12,26**	14,21**	2,29 <sup>ns</sup>	4,49 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM)	16,09**	-	-	-
Precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM)	8,01**	11,81**	12,69**	-
Precipitação acumulada do plantio à floração (PPF)	10,81**	13,75**	5,32 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada da floração a maturação (PFM)	9,36**	11,22**	8,84 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>ns</sup>

\* e \*\*: valores significativos a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup>: valores não significativos a 5%.

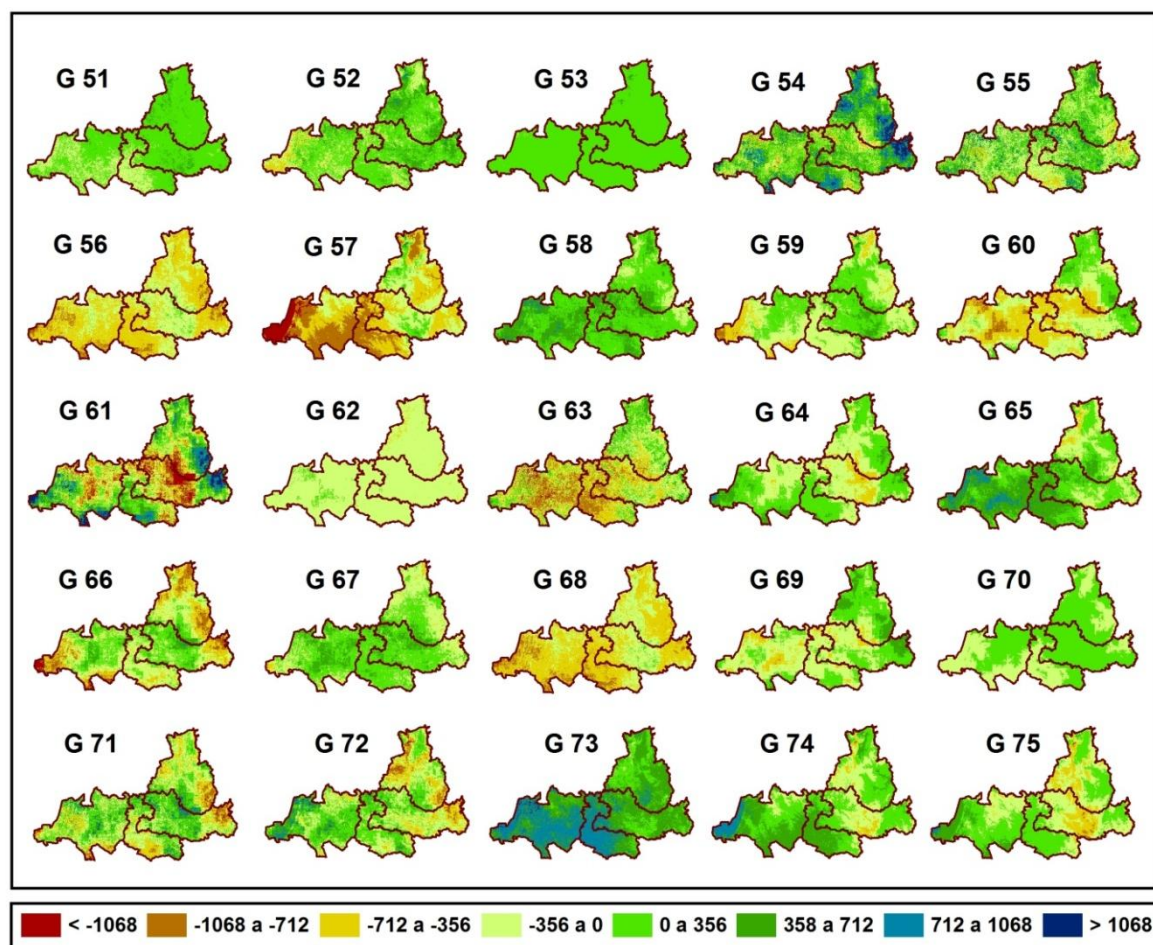
Removendo-se o efeito linear da altitude, num terceiro ciclo de análises, a interação GxA residual ainda continuou significativa (Tabela 14). Logo, implementou-se mais um ciclo *stepwise* de regressões lineares. Neste ciclo, apenas precipitação pluviométrica do plantio à maturação (PPM) assumiu significância ( $p < 0,01$ ), explicando quase 13% da respectiva soma de quadrados (Tabela 16). As demais variáveis não mais

tiveram participação significativa nessa soma de quadrados. Por fim, após a remoção do efeito linear da variável PPM, a interação GxA remanescente ainda revelou significância (Tabela 14). Porém, quando realizado o quarto ciclo de análises, nenhuma das variáveis utilizadas apresentou mais efeito significativo sobre a interação residual (Tabela 16).

Em resumo, as três variáveis com efeito significativo sobre a interação GxA, neste grupo experimental, foram: evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM), altitude e precipitação pluviométrica do plantio à maturação (PPM). Juntas, elas explicaram quase 45% da variação associada à interação GxA original (Tabela 16). Ainda que isto seja uma porção relevante, verifica-se que muito há por percorrer no entendimento desta interação GxA, haja vista que mais de 50% dessa variação ainda ficaram por ser explicados.

#### 4.1.3.3 Inferência espacial da adaptabilidade genotípica

Os mapas que descrevem as respostas produtivas diferenciais dos genótipos às variáveis evapotranspiração da floração à maturação (EFM), altitude e precipitação pluviométrica do plantio à maturação (PPM) são apresentados na Figura 5. Os genótipos G53 (GO 04-5003-73GO), G54 (BRBIGO04-724-16GO), G58 (BRBIGO03-200424-8GO) e G73 (BRS Valiosa RR) podem ser considerados agronomicamente estáveis, pois apresentaram pouca variação nas classes de maior adaptabilidade produtiva. Considerando-se também suas elevadas médias de rendimento ( $3221 \text{ kg.ha}^{-1}$ ,  $3280 \text{ kg.ha}^{-1}$ ,  $3364 \text{ kg.ha}^{-1}$ ,  $3579 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), pode-se inferir, com base no caráter produtividade de grãos, que são genótipos recomendáveis para toda a Macrorregião Sojícola 3. Destes genótipos, apenas G73 teve estabilidade confirmada pela estatística “ecovalidade”, o que aumenta a confiança na sua recomendação. Já a linhagem BRBIGO04-724-16GO (G54), instável pela estatística  $\omega_i$  (Tabela 15), embora com bom desempenho geral, revela também no mapa certa instabilidade adaptativa (maior variação, por exemplo, em relação ao genótipo G53). Os genótipos G65 (BRASR06-1484Y) e G74 (CD 247RR) tiveram melhor adaptabilidade às Microrregiões 301 e 302; e G51 (BRBIGO04-722-48GO), às Microrregiões 303 e 304.



**Figura 5.** Representação cartográfica da adaptabilidade produtiva, em  $\text{kg.ha}^{-1}$ , de 25 genótipos de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, avaliados na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, ano agrícola 2010/2011, com base na influência das variáveis ambientais evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM), altitude e precipitação pluviométrica do plantio à maturação (novembro/2010 a março/2011).

## 4.2 INTERAÇÃO GxA EM SOJA CONVENCIONAL

### 4.2.1 Genótipos de ciclo superprecoce

#### 4.2.1.1 Análise da variação fenotípica e da interação GxA

Neste grupo, a análise conjunta dos experimentos também revelou resultados significativos ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipos (G), ambientes (A) e da interação GxA (Tabela 17). As análises de variância individuais, as médias de produtividade dos genótipos por local e as estimativas específicas de interação GxA estão nos Apêndices I, J e K, respectivamente. Neste grupo, a maior proporção das somas de quadrados foi representada pelos efeitos de interação GxA (cerca de 35% do total); enquanto os efeitos de ambientes responderam por 25% e os de genótipos por aproximadamente 20%.

**Tabela 17.** Análise conjunta de variância de dados de produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), com desdobramento do efeito de interação GxA pelo método de regressão linear de *stepwise*, para linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo superprecoce, em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola de 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Genótipo (G)	24	14825000,9	617708,4	16,30	0,000
Ambiente (A)	7	17559994,0	2508570,6	66,20	0,000
Interação GxA	153	24872794,7	162281,7	4,28	0,000
PFM	24	4599462,1	191644,3	5,05	0,000
Resíduo 1	129	20273332,6	156830,3	4,14	0,000
EFM	24	3085811,3	128575,5	3,39	0,000
Resíduo 2	105	17187521,2	163272,0	4,31	0,000
Latitude	24	2721458,5	113394,1	2,99	0,000
Resíduo 3	81	14466062,7	178001,7	4,69	0,000
PPF	24	1619651,9	67485,5	1,78	0,015
Resíduo 4	57	12846410,8	224316,1	5,92	0,000
Resíduo médio / r	325	12327751,63	37913,86	-	-

<sup>1</sup> Valores ajustados pelo método de Cochran (1954); teste de Bartlett (homocedasticidade):  $\chi^2 = 19,40^{**}$  (p = 0,007).

A análise da interação GxA neste grupo de experimentos revelou que as variáveis ambientais que mais contribuíram para a variação a ela associada foram: precipitação pluviométrica acumulada da floração à maturação (PFM), no primeiro ciclo de análises, com 18,5%; evapotranspiração acumulada da floração a maturação (EFM), no segundo ciclo, com 15,2%; latitude, no terceiro ciclo, com 15,8%; e precipitação pluviométrica do plantio a maturação (PPM), no quarto ciclo, com 11,2% (Tabela 18). Assim, neste grupo, quatro das variáveis ambientais utilizadas no estudo apresentaram efeito significativo sobre a interação GxA, no caráter produtividade de grãos; e, juntas, explicaram 60% da variação associada à interação original. Neste caso restaram ainda, sem explicação estatística, 40% dessa variação; o que pode ser explorado em estudos futuros, incluindo maior número de variáveis ambientais (ex.: temperatura ou a soma térmica em °C durante o ciclo da cultura).

#### 4.2.1.2 Inferência sobre adaptabilidade e estabilidade genotípica

Os mapas que descrevem as respostas produtivas de genótipos individuais às variáveis ambientais selecionadas (PFM, EFM, latitude e PPM) são apresentados na Figura 6. Neste grupo de experimentos, o valor do desvio padrão utilizado para estabelecer as

classes de adaptabilidade, em torno de zero, foi 354 kg.ha<sup>-1</sup>; e a média geral dos ensaios, 2662,7 kg.ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 18.** Porcentagens da soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes (SQ<sub>GxA</sub>) e significâncias da estatística F-Snedecor, para os efeitos lineares de variáveis ambientais sobre a interação GxA original, em cinco ciclos *stepwise* de análises de regressões lineares, para ensaios varietais de soja convencional, de ciclo superprecoce de maturação, em Goiás (2010/2011).

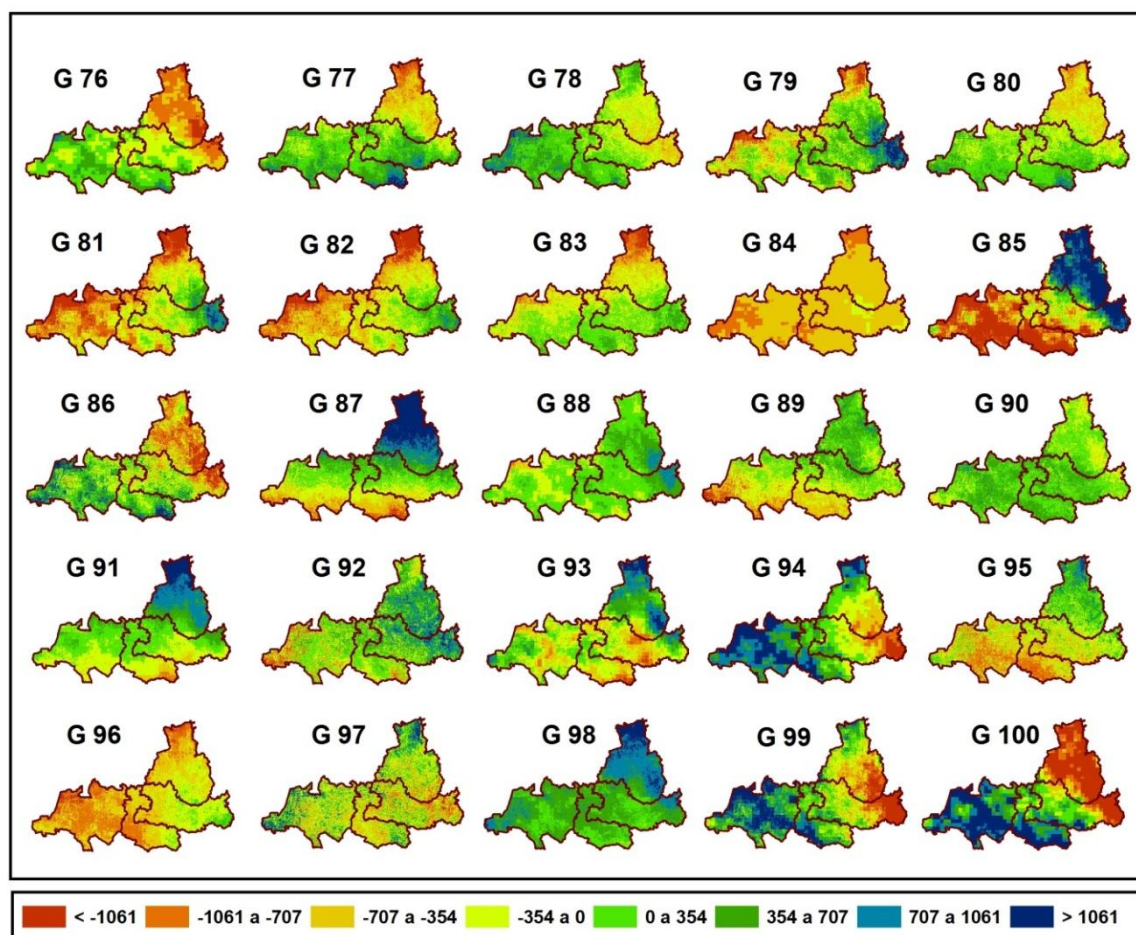
Variáveis Ambientais	Ciclos				
	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>
Altitude	6,66 <sup>**</sup>	7,20 <sup>*</sup>	6,44 <sup>ns</sup>	7,25 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
Latitude	12,79 <sup>**</sup>	14,16 <sup>**</sup>	15,83 <sup>**</sup>	-	-
Longitude	13,42 <sup>**</sup>	9,48 <sup>**</sup>	7,03 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	3,92 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM)	10,50 <sup>**</sup>	11,53 <sup>**</sup>	4,20	0,57 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF)	11,52 <sup>**</sup>	8,03 <sup>*</sup>	9,47 <sup>*</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM)	12,20 <sup>**</sup>	15,22 <sup>**</sup>	-	-	-
Precipitação acumulada do plantio a maturação (PPM)	7,23 <sup>**</sup>	7,46 <sup>*</sup>	7,11 <sup>ns</sup>	11,20 <sup>*</sup>	-
Precipitação acumulada do plantio à floração (PPF)	8,54 <sup>**</sup>	8,67 <sup>**</sup>	8,39 <sup>*</sup>	11,14 <sup>*</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada da floração à maturação (PFM)	18,49 <sup>**</sup>	-	-	-	-

\* e \*\*: valores significativos a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup>: valores não significativos a 5%.

Os genótipos G98 (CD 228) e G90 (BRAS06-0038Y), por apresentarem pouca variação nas classes de adaptabilidade (Figura 6), além de elevadas médias de produtividade (Tabela 19), podem ser considerados agronomicamente estáveis. Esta estabilidade foi corroborada por suas estimativas de “ecovalidade”, que ficaram entre as três menores no conjunto dos genótipos avaliados neste grupo. Assim, com base no caráter produtividade de grãos, estes genótipos podem ser recomendados para toda a Macrorregião Sojícola 3 do Brasil.

Considerando as adaptações específicas identificadas, verifica-se que os genótipos G94 (GOBR10-2402GO), G99 (Emgopa 316) e G100 (MSOY 6101) mostraram melhor adaptação produtiva às Microrregiões 301 e 302, mais a Oeste da região (Figura 6). A estes ainda poderiam ser acrescentados G77 (GOBR04-3470-5GO), G78 (GOBR03-3151-24GO) e G80 (BRY10-50.001Y), porém, com rendimentos relativamente inferiores aos primeiros. Os dois últimos destacaram-se também em estabilidade (Tabela 19). Já G87 (GOBR10-3670GO) e G91 (GOBR10-2362GO) adaptaram-se especificamente à Microrregião 304, ao Nordeste da região de recomendação. Com rendimentos pouco inferiores, os genótipos G88 (GOBR10-3269GO) e G92 (BRAS06-0037Y) ainda poderiam ser acrescentados a este grupo, com a vantagem de terem se adaptado também à Microrregião 303; isto é, com adaptação ampliada para localidades ao Leste da região alvo

de recomendação. Em condição semelhante encontram-se os genótipos G85 (GOBR10-3176GO) e G93 (GOBR10-2351GO), que se mostraram adaptados unicamente à Microrregião 304.



**Figura 6.** Representação cartográfica da adaptabilidade produtiva, em  $\text{kg.ha}^{-1}$ , de 25 genótipos de soja convencional, de ciclo superprecoce, avaliados na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, ano agrícola 2010/2011, com base na influência das variáveis ambientais precipitação pluviométrica acumulada da floração à maturação (PFM), evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM), latitude e precipitação do plantio à maturação (PPM).

## 4.2.2 Genótipos de ciclos precoce e médio

### 4.2.2.1 Análise da variação fenotípica e da interação GxA

Na análise conjunta deste grupo de experimentos, também se obtiveram resultados altamente significativos ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipos (G), ambientes (A) e da interação GxA (Tabela 20). Os efeitos de ambientes representaram 89% da variação total; os de genótipos, cerca de 6%; e os efeitos da interação GxA, em torno de



3%. As análises individuais de variância, as médias genóticas por local e as estimativas dos efeitos de interação GxA deste grupo de ensaios encontram-se nos Apêndices L, M e N, respectivamente.

**Tabela 19.** Produtividades médias, efeitos genóticos e estimativas da estatística “ecoalência” ( $\omega_i$ ) para linhagens e cultivares de soja convencional, de ciclo superprecoce, avaliadas na Macrorregião Sojícola 3 (2010/2011).

Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_{i..}$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$	Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_{i..}$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$
76	2481,5	-181,2	573273,9	89	2630,1	-32,6	805431,0
77	2769,1	106,4	738430,0	90	2874,1	211,5	399231,3
78	2797,7	135,1	457608,0	91	2909,8	247,1	1501060,3
79	2686,4	23,8	655593,8	92	2861,0	198,3	747766,2
80	2679,6	17,0	294199,3	93	2713,7	51,0	2395087,1
81	2237,5	-425,2	864339,5	94	3015,4	352,8	1759199,9
82	2266,2	-396,5	1279485,5	95	2492,8	-169,9	534369,9
83	2534,3	-128,4	1022911,0	96	2182,4	-480,2	1364267,3
84	2081,5	-581,2	754386,6	97	2601,5	-61,1	1022749,9
85	2465,5	-197,1	1961432,3	98	3254,5	591,8	419198,7
86	2600,1	-62,6	879757,2	99	2830,6	167,9	1622631,2
87	2956,0	293,3	874208,5	100	2785,3	122,7	1654188,1
88	2859,9	197,2	291988,3	Média $\bar{Y}_{..}$	2662,7	-	-

**Tabela 20.** Análise de variância conjunta de dados de produtividade de grãos ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), com desdobramento do efeito de interação GxA pelo método de regressão linear de *stepwise*, para linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclos precoce e médio, em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola de 2010/2011.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Genótipo (G)	24	6582157,3	274256,6	7,1	0,0001
Ambiente (A)	7	26968446,6	3852635,2	99,1	0,0001
Interação GxA	168	25321302,6	150722,0	3,875	0,0000
PFM	24	5575972,3	232332,2	5,973	0,0000
Resíduo 1	144	19745330,3	137120,3	3,525	0,0000
EFM	24	2798690,5	116612,1	2,998	0,0000
Resíduo 2	120	16946639,8	141222,0	3,631	0,0000
Latitude	24	2494516,8	103938,2	2,672	0,0001
Resíduo 3	96	14452122,9	150542,9	3,870	0,0000
Resíduo médio / r <sup>1</sup>	475	18475405,1	38895,6	-	-

<sup>1</sup> Teste de Bartlett (homocedasticidade):  $\chi^2 = 4,42^{\text{ns}}$  (p = 0,730).



As análises de decomposição da interação GxA revelaram que as variáveis ambientais que contribuíram com parte significativa de sua soma de quadrados ( $SQ_{GxA}$ ), nos sucessivos ciclos de análise, foram: precipitação acumulada da floração a maturação (PFM), com 22%; evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM), com 14%; e latitude com cerca de 15% (Tabela 21). Estas três variáveis explicaram aproximadamente 50% da variação associada à interação GxA original, o que representa porção importante para o melhor entendimento do fenômeno em estudo. Todavia, outros 50% ficaram ainda sem explicação estatística, o que abre perspectivas para a continuidade de estudos dessa natureza, incorporando novas variáveis ambientais.

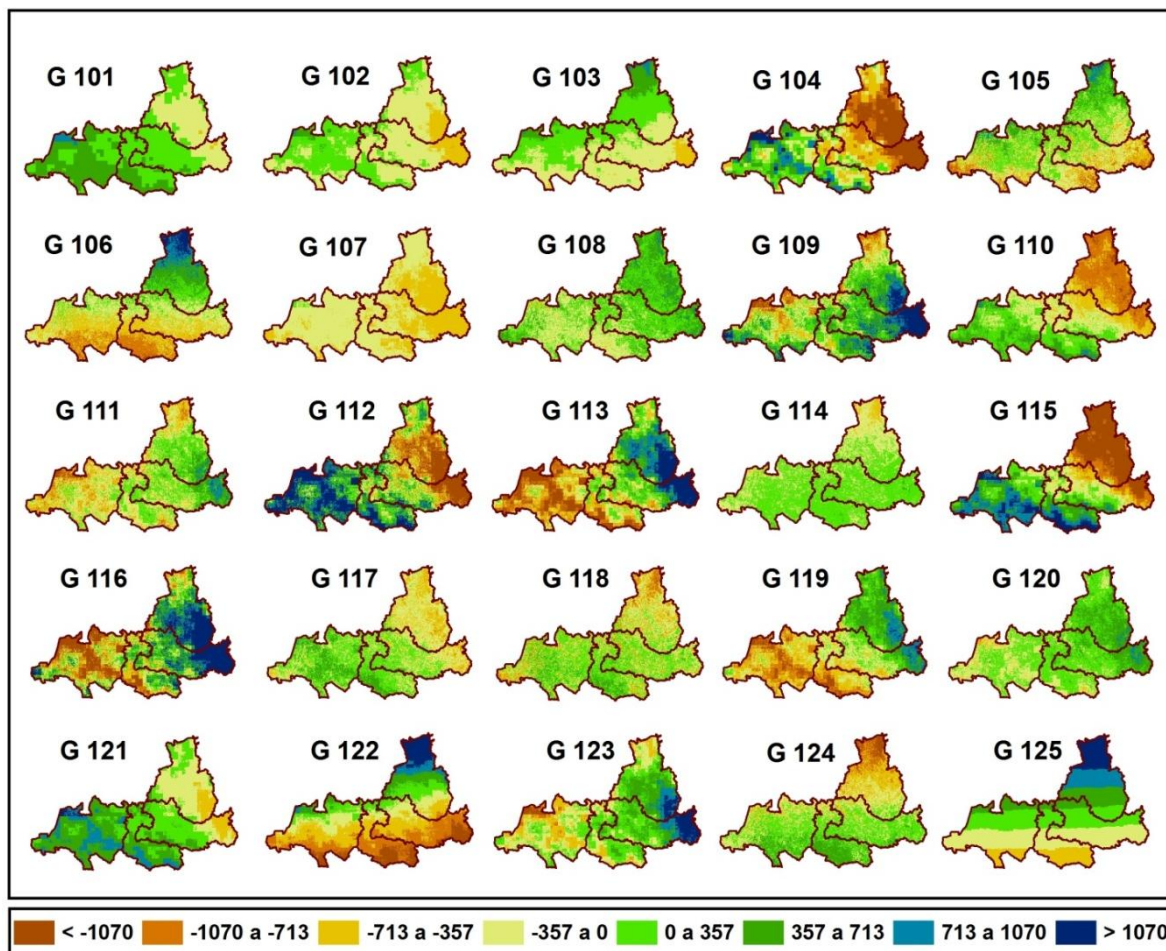
**Tabela 21.** Porcentagens da soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes ( $SQ_{GxA}$ ) e significâncias da estatística F-Snedecor, para os efeitos lineares de variáveis ambientais sobre a interação GxA original, em quatro ciclos *stepwise* de análises de regressões lineares, para ensaios varietais de soja convencional, de ciclos precoce e médio de maturação, em Goiás (2010/2011).

Variáveis Ambientais	Ciclos			
	1º	2º	3º	4º
Altitude	7,82**	10,98**	10,99**	3,05 <sup>ns</sup>
Latitude	12,64**	13,15**	14,72**	-
Longitude	12,22**	12,05**	8,80*	2,64 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à maturação (EPM)	8,90**	10,51**	3,39 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada do plantio à floração (EPF)	10,18**	8,79**	10,70**	1,44 <sup>ns</sup>
Evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM)	11,03**	14,17**	-	-
Precipitação acumulada do plantio à maturação (PPM)	15,81**	11,70**	12,18**	4,45 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada do plantio à floração (PPF)	9,85**	13,58**	14,22**	5,58 <sup>ns</sup>
Precipitação acumulada da floração à maturação (PFM)	22,02**	-	-	-

\* e \*\*: valores significativos a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup>: valores não significativos a 5%.

#### 4.2.2.2 Inferência sobre adaptabilidade e estabilidade genotípica

A espacialização da estatística  $Ad_{is}$ , que descreve as respostas produtivas dos diferentes genótipos avaliados às variáveis PFM, EFM e latitude, é sintetizada nos mapas da Figura 7. Também neste grupo, as classes de adaptabilidade foram estabelecidas a partir de unidades de desvio padrão (de magnitude  $357 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) acima e abaixo de zero. A média geral desses ensaios foi  $2758 \text{ kg.ha}^{-1}$ .



**Figura 7.** Representação cartográfica da adaptabilidade produtiva, em  $\text{kg.ha}^{-1}$ , de 25 genótipos de soja convencional, de ciclos precoce e médio de maturação, avaliados na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, ano agrícola 2010/2011, com base na influência das variáveis ambientais precipitação pluviométrica acumulada da floração à maturação (PFM), evapotranspiração acumulada da floração à maturação (EFM) e latitude.

Dentre os genótipos com as maiores médias de produtividade e com baixa contribuição para a interação GxA (reduzidas estimativas de “ecovalência”), destacaram-se: G121 (BRSGO 8360), com  $3005 \text{ kg.ha}^{-1}$ , e G101 (GOBR02-1678-34GO), com  $2954 \text{ kg.ha}^{-1}$  (Tabela 22). Avaliando-se, porém, os seus padrões de adaptabilidade (Figura 7), nota-se que tais linhagens não chegam a ser amplamente adaptadas, como se poderia inferir numa análise exclusiva da estatística  $\omega_i$ . Seus mapas indicam adaptabilidade especial a localidades mais a Oeste da região, sobretudo às Microrregiões Sojícolas 301 e 302. Genótipos com valores de “ecovalência” ainda mais baixos, tais como G107 (BRN03-04606Y), G120 (BRN05-7575Y) e G114 (GONBR02-2279-25GO), com as três menores estimativas, também não revelaram adaptabilidade geral. O primeiro foi pobremente

adaptado a toda a região, o segundo comportou-se melhor em localidades situadas mais ao Nordeste da região, e o último, mais ao Sudeste. Isso mostra a importância de se agregar informações para a tomada de decisão no processo de recomendação de cultivares.

**Tabela 22.** Produtividades médias ( $\bar{Y}_i$ ), efeitos genotípicos ( $\hat{g}_i$ ) e estimativas da estatística “ecoalência” ( $\omega_i$ ) para linhagens e cultivares de soja convencional, de ciclos precoce e médio de maturação, na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil.

Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_i$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$	Genótipo	Médias ( $\bar{Y}_i$ )	$\hat{g}_i$	$\omega_i$
101	2954,7	197,1	553184,4	114	2806,9	49,3	189047,8
102	2681,0	-76,6	785539,3	115	2639,2	-118,5	2196884,0
103	2786,8	29,1	786961,9	116	3019,0	261,3	3102769,0
104	2391,8	-365,8	1219222,0	117	2726,9	-30,7	947293,7
105	2691,5	-66,2	931590,4	118	2674,1	-83,6	1003079,0
106	2657,6	-100,1	635364,3	119	2641,2	-116,5	1079914,0
107	2431,7	-325,9	118793,8	120	2928,0	170,3	182648,2
108	2944,4	186,7	1346376,0	121	3004,9	247,2	385257,2
109	3048,4	290,8	1298912,0	122	2507,2	-250,4	1129565,0
110	2536,6	-221,1	939555,0	123	2903,3	145,7	854803,4
111	2671,3	-86,4	761254,6	124	2700,0	-57,7	1084214,0
112	2906,9	149,3	1525189,0	125	2958,4	200,8	735951,3
113	2729,4	-28,2	1527934,0	Média $\bar{Y}_..$	2757,6	-	-

Com relação a adaptações específicas, podem ainda ser destacados outros genótipos. A linhagem G109 (GOBR03-2637-3GO), com a maior produtividade média (Tabela 22), adaptou-se especificamente à Microrregião 303 (Figura 7). Nessa microrregião ainda sobressaíram os genótipos G116 (GOBR03-2708-3GO), G108 (GOBR03-2886-4GO) e G120 (BRN05-7575Y), os quais se adaptaram também à Microrregião 304. A esta microrregião deve-se acrescentar ainda o genótipo G125 (CD 228), com a quarta maior produtividade e sensibilidade visivelmente maior aos efeitos da latitude (nítidas faixas de adaptabilidade decrescente do Norte para o Sul). Isto é notável também nos genótipos G106 (GOBR02-2117-10GO) e G122 (Emgopa 316), os quais, mesmo com médias relativamente baixas, mostraram potencial de rendimentos elevados ao Norte desta microrregião.

Ainda entre os mais produtivos, o genótipo G112 (BRN06-14511Y) apresentou boa adaptabilidade às Microrregiões 301 e 302, e G123 (MG/BR46, Conquista), à Microrregião 303. Ademais, outros genótipos como G115 (BRN05-4874Y) e G119 (GOBR10-2402GO), embora não tenham se destacado entre os mais produtivos,

mostraram elevada adaptabilidade produtiva em algumas microrregiões (301 e 302, no primeiro caso; e 304, no segundo). Tais genótipos podem, então, ser considerados em recomendações para sítios específicos, ajudando a maximizar a produção geral.

#### 4.3 SÍNTESE DA RECOMENDAÇÃO DE GENÓTIPOS

Um resumo das melhores adaptações produtivas identificadas neste estudo é apresentado na Tabela 23. Nesta tabela destacam-se, por grupo experimental (soja transgênica RR ou convencional, nos diferentes ciclos de maturação), os genótipos com as melhores respostas adaptativas a toda a Macrorregião Sojícola 3, bem como às suas microrregiões (301 a 304). Outra síntese é apresentada na Tabela 24, referente às variáveis ambientais que tiveram influência significativa em cada grupo de experimentos. Dentre os fatores ambientais estudados, as variáveis relacionadas à precipitação pluviométrica merecem destaque, pois tal grupo teve ao menos uma variável com participação significativa em cada grupo experimental.

A formação dos grupos por ciclo dos materiais foi utilizada considerando uma possível resposta diferencial junto as variáveis ambientais. Embora não tenha tido muita diferença nas convencionais, o grupo das transgênicas RR apresentou diferentes variáveis ambientais, com efeito significativo sobre a interação GxA, ou variação no ordenamento nos diferentes grupos. Essa separação mostrando ser interessante para discriminar melhor a variabilidade dos diferentes grupos de maturação dos genótipos em estudo.

Embora estudos e aplicações dessa natureza sejam ainda escassos, segundo Annicchiarico et al. (2006), com a utilização desse tipo de metodologia, pôde-se obter aumento de cerca de 9% no rendimento médio de trigo duro, na Argélia. Deve-se considerar, ainda, que essa abordagem pode ser aplicada praticamente sem custo adicional, ao contrário de outros meios destinados a melhorar o ambiente de cultivo.

Os resultados aqui obtidos são animadores para a sua adoção também em soja, o que poderá retornar aumentos significativos na produção total, em virtude da recomendação de genótipos adaptados a regiões específicas. Melhorar a identificação de cultivares é um complemento necessário no melhoramento de plantas, o que se pode revelar como meio poderoso e custo-eficiente para aumentar a produtividade da cultura, a segurança alimentar e os rendimentos dos agricultores.

**Tabela 23.** Genótipos de soja com suas áreas de melhor adaptação produtiva na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, indicando as respectivas microrregiões, em soja transgênica RR (*Roundup Ready*®) e soja convencional, com seus principais grupos de maturação.

Região de Adaptação	Soja transgênica RR			Soja convencional	
	Superprecoce	Precoce	Médio	Superprecoce	Precoce e médio
Ampla adaptação	BRY08-5.865Y (G6); BRY10-0029Y (G16).	BRBIGO03-200176-29GO (G33).	GO 04-5003-73GO (G53); BRBIGO04-724-16GO (G54); BRBIGO03-200424-8GO (G58); BRS Valiosa RR (G73).	BRAS06-0038Y (G90); CD 228(G98).	BRN05-7575Y (G120) <sup>1</sup>
Microrregião 301	BRY08-2.007Y (G3); CD 240RR (G23).	BRY08-1.039Y (G37); BRY08-3.179Y (G39); BRY10-0061Y (G42).	BRASR06-1484Y (G65); CD 247RR (G74).	GOBR10-2402GO (G94); Emgopa 316 (G99); MSOY 6101 (G100); GOBR04-3470-5GO (G77); GOBR03-3151-24GO (G78); BRY10-50.001Y (G80).	GOBR02-1678-34GO (G101); BRN06-14511Y (G112); BRSGO 8360 (G121); BRN05-4874Y (G115).
Microrregião 302	BRY08-2.007Y (G3); CD 240RR (G23); BRY08-1.668Y (G18); Anta 82RR (G22); NK7074RR (G25).	Anta 82RR (G47).	BRASR06-1484Y (G65); CD 247RR (G74).	GOBR10-2402GO (G94); Emgopa 316 (G99); MSOY 6101 (G100); GOBR04-3470-5GO (G77); GOBR03-3151-24GO (G78); BRY10-50.001Y (G80).	GOBR02-1678-34GO (G101); BRN06-14511Y (G112); BRSGO 8360 (G121); BRN05-4874Y (G115).
Microrregião 303	BRY08-3.151Y (G5); Anta 82RR (G22); NK7074RR (G25).	BRBIGO04-682-28GO (G26); BRY10-0010Y (G45).	BRBIGO04-722-48GO (G51).	GOBR10-3269GO (G88); BRAS06-0037Y (G92).	GOBR03-2886-4GO (G108); GOBR03-2637-3GO (G109); GOBR03-2708-3GO (G116); BRN05-7575Y (G120); MG/BR46, Conquista (G123).
Microrregião 304	BRY08-3.151Y (G5); Anta 82RR (G22); NK7074RR (G25).	BRBIGO03-200260-3GO (G29); M7908RR (G48); GO04-5003-77GO (G28); NK7074RR (G50).	BRBIGO04-722-48GO (G51).	GOBR10-3670GO (G87); GOBR10-2362GO (G91); GOBR10-3269GO (G88); BRAS06-0037Y (G92); GOBR10-3176GO (G85); GOBR10-2351GO (G93).	GOBR02-2117-10GO (G106); GOBR03-2886-4GO (G108); GOBR03-2708-3GO (G116); Emgopa 316 (G122); CD 228 (G125); GOBR10-2402GO (G119).

<sup>1</sup> Linhagem com estabilidade fenotípica (baixa “ecoalência”), porém, com rendimento esperado um pouco abaixo da média geral na Microrregião 301.

**Tabela 24.** Variáveis ambientais<sup>1</sup> com efeito significativo sobre a interação de genótipos com ambientes em cada grupo de experimentos.

Soja transgênica RR ( <i>Roundup Ready</i> <sup>®</sup> )			Soja convencional	
Superprecoce	Precoce	Médio	Superprecoce	Precoce/Médio
Altitude	PPM	EFM	PFM	PFM
Longitude	Altitude	Altitude	EFM	EFM
PPM	Longitude	PPM	Latitude	Latitude
-	-	-	PPF	-

<sup>1</sup> PPM: Precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação; EFM: Evapotranspiração acumulada da floração à maturação; PFM: Precipitação pluviométrica acumulada da floração à maturação; PPF: Precipitação pluviométrica acumulada do plantio à floração.

No contexto das análises implementadas neste estudo, foram utilizados dados de apenas um ano, e isto, sabidamente, introduz limitações às inferências produzidas. Logo, recomendam-se estudos mais detalhados, utilizando períodos maiores de tempo, para a busca de materiais estáveis ao longo dos anos. Comparando-se dois genótipos com médias de produtividade semelhantes, aquele genótipo com maior estabilidade ao longo dos anos, numa determinada região, produziria mapas mais estáveis, atendendo melhor ao interesse dos produtores (Martins, 2004). Segundo Cruz & Regazzi (2001), no momento de escolha de uma linhagem para promovê-la como cultivar, espera-se que sua superioridade inicialmente identificada nas análises perdure durante muitos anos.

Outra característica que pode ser considerada limitante em relação às inferências deste estudo é o fato de apenas oito pontos (locais) terem sido tomados dentro da região de interesse. Ademais, para fim de inferência espacial incluindo a contribuição de variáveis regionalizadas, a localização destes pontos na região alvo também pode ser questionada. Idealmente, em estudos envolvendo interpolação, é preferível que os pontos amostrados se posicionem mais próximos aos limites externos da área de abrangência, ao contrário da localização na parte mais central da área, como ocorreu nesta pesquisa. Logo, em aplicações posteriores, devem ser buscados maior número de locais e melhor distribuição espacial destes na área de interesse. Por certo, isto resultará em mapas mais representativos da realidade dos genótipos e dos ambientes em análise.

Outra limitação deste estudo estaria no fato de que os pontos amostrados não ficaram bem distribuídos ao longo de toda a extensão da área em estudo (Figura 2). Isso, de

certa forma, compromete a confiabilidade nas previsões de adaptabilidade em áreas mais afastadas destes pontos, cuja nuvem principal ficou concentrada no centro-norte da Macrorregião. Do ponto de vista geoestatístico, o ideal seria que esses pontos se distribuíssem em áreas limítrofes da região, para que as inferências se baseassem, sobretudo, em interpolações (e não em extrapolações). Embora, no presente caso, às previsões não se basearam em interpolação, mas apenas na aplicação do modelo estimado de regressão linear múltipla, cujas variáveis explicativas são os fatores ambientais selecionados, com informações georreferenciadas. De qualquer forma, além de melhor distribuição dos pontos amostrais, recomenda-se que novos estudos nessa linha de investigação procurem agregar, aos mapas de adaptabilidade, os respectivos mapas de confiabilidade das previsões obtidas.

As limitações anteriormente levantadas, contudo, não invalidam a aplicação dos mapas de adaptabilidade produtiva obtidos nesta pesquisa. Estudos realizados por Kaster & Farias (2012) levaram ao estabelecimento das microrregiões sojícolas no Brasil, constituídas por regiões edafoclimáticas diferenciadas quanto à adaptabilidade de cultivares de soja. Nesse processo, levou-se em consideração a diversidade de ecossistemas, os tipos de solo e de clima (latitude e altitude), além do regime de chuvas no país. Deste modo, para a recomendação de cultivares, tais estudos indicaram a realização de ensaios em pelo menos um local de cada região edafoclimática; fato este que foi atendido na presente pesquisa. Logo, no contexto dessa regionalização, o número de locais utilizados não chega a ser limitante para a recomendação de cultivares para essa região de cultivo – Macrorregião Sojícola 3 do Brasil.

Por fim, vale destacar que, considerando-se a multiplicidade de fatores que interferem na manifestação de um fenômeno como a interação GxA e as porcentagens de explicação da variação associada obtidas nesta pesquisa (cerca de 50%), faz-se necessária a introdução de novas variáveis em estudos futuros, para que se possa gerar mapas ainda mais informativos. Variáveis importantes como as propriedades químicas do solo, quando avaliadas por Oliveira et al. (2006), também explicaram parte significativa da variação associada à interação GxA. Porém, essas variáveis ainda não estão disponíveis de forma espacializada para serem utilizadas nesse tipo de estudo e, conseqüentemente, para a geração dos respectivos mapas de adaptabilidade. Assim, é fundamental para o avanço nessa área do conhecimento, o trabalho integrado de pesquisadores especializados em melhoramento genético de plantas, ecofisiologia vegetal, edafologia, geoprocessamento e

climatologia agrícola. Só assim será possível construir modelos robustos, com grande número de variáveis relevantes na explicação do fenômeno, e que possam garantir previsões cada vez mais acuradas da adaptabilidade produtiva dos genótipos. Isto assegurará, por conseguinte, um produto tecnológico (mapas) mais confiável.



## 5 CONCLUSÕES

- i) Variáveis ambientais participam de forma significativa na interação GxA em soja, e explicam linearmente parte desta interação. Neste estudo, cerca de 50% da variação associada a essa interação sempre foi explicada por três ou quatro destas variáveis. Em soja transgência RR (*Roundup Ready*®), por grupo de maturação, destacam-se: altitude, longitude e precipitação pluviométrica acumulada do plantio à maturação (ciclo superprecoce); precipitação do plantio à maturação, altitude e longitude (ciclo precoce); e evapotranspiração acumulada da floração à maturação, altitude e precipitação do plantio à maturação (ciclo médio). No grupo de soja convencional sobressaem: precipitação pluviométrica da floração à maturação, evapotranspiração da floração à maturação, latitude e precipitação do plantio à floração (ciclo superprecoce); e precipitação pluviométrica da floração à maturação, evapotranspiração da floração à maturação e latitude (ciclos precoce e médio).
- ii) A utilização de variáveis ambientais obtidas por sensoriamento remoto, com apoio de sistemas de informações geográficas (SIG), pode ajudar a melhor compreender a variação associada à interação de genótipos com ambientes em soja, colaborando para o refinamento e a eficiência do processo de recomendação de cultivares.
- iii) A confecção de mapas de adaptabilidade produtiva para linhagens experimentais e cultivares em fase de avaliação final, utilizando informações quantitativas resultantes de variáveis ambientais georreferenciadas, permite melhor delimitação das regiões de adaptação de cada genótipo, facilitando a interpretação de suas áreas de melhor adaptação.

## 6 REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P.; BELLAH, F.; CHIARI, T. Repeatable genotype  $\times$  location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. **Europe Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 24, n. 2, p. 70-81, 2006.

ARSLANOGLU, F.; AYTAC, S. Determination of stability and genotype  $\times$  environment interactions of some agronomic properties in the different soybean (*Glycine max.* (L) Merrill) cultivars. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Samsun, v. 16, n. 2, p. 181-195, 2010.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E., MASUTOMO, R. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de dados pluviométricos. In: ASSAD, D. E.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: Aplicados na agricultura**. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p. 251-272.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 161f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)–INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, 1997.

BRANQUINHO, R. G. **Interação genótipo  $\times$  ambiente em soja com ênfase na estratificação ambiental para a região central do Brasil**. 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Coleção de Leis da República Federativa do Brasil, Brasília, v. 135, n. 79, 28 abr. 1997.

BRISSON, N; ALBERT OLIOSSO, A.; CLASTRE, P. Daily transpiration of field soybeans as related to hydraulic conductance, root distribution, soil potential and midday leaf potential. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 154, n. 2, p. 227-237, 1993.

CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. S. Soja - melhoramento genético: de onde partimos para onde vamos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 50-53, 2005.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 20-52p. .

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, D. E.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: Aplicados na agricultura**. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p. 3-29.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, p. 279-292, 1986.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A. de S.; OLIVEIRA, M.F. de. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 7, p.989-1000, 2002.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2008.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.675-712.

COCHRAN, W. G. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, Raleigh, v. 10, n. 1, p. 101-129, 1954.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, outubro 2012**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_10\\_09\\_15\\_59\\_18\\_boletim\\_portugues\\_outubro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_09_15_59_18_boletim_portugues_outubro_2012.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2012.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, p. 93-99, 2007.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa: Editora UFV, 2001. 390 p.

D'ARCO, E. **O uso de geotecnologias para estimativa da área plantada de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul**. 2007, 206 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)–INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, 2008.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 209 p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2011**: Sistemas de produção 14. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 247 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivares de soja Minas Gerais e região central do Brasil - Safra 2010/2011**. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/download/cultivares/Soja\\_2010-11MG.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/cultivares/Soja_2010-11MG.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2012.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do milho**. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivadoMilho\\_5ed/glossario.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivadoMilho_5ed/glossario.htm)>. Acesso em: 17 mar 2013.

ESRI Arcmap. Versão 10 [S.I.]: Environmental Systems Research Institute (Esri), 2012. 1 DVD-ROM.

FARIA, A. P.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; FARIA, R. T. Ganho Genético na Cultura da Soja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/cirtec48.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

HARDWICK, R. C.; WOOD, J. T. Regression methods for studying genotype environment interactions. **Heredity**, Edinburgh, v. 28, n. 2, p. 209-222, 1972.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento geográfico**. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas\\_digitais/municipio\\_2007/escala\\_2500mil/proj\\_geografica\\_sad69/brasil/55mu2500gsd.zip](ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2007/escala_2500mil/proj_geografica_sad69/brasil/55mu2500gsd.zip)>. Acesso em: 15 mar. 2012.

KASTER, M; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja – terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 69 p.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The tropical rainfall measuring mission (trmm) sensor package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v. 15, n. 3, p. 809–817, 1998.

LANGE, C. E.; FEDERIZZI, L. C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multi-environmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 309-316, 2009.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**: Embrapa documento 319. Londrina: Embrapa Soja, 2010, 57 p.

MARTINS, A. S. **Aplicação de sistema de informações geográficas no estudo da interação de genótipos com ambientes**. 2004. 156 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2003.

MICROSOFT Office Excel. Version 2007 [S.I.]: Microsoft Corporation, 2007. 1 CD-ROM.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 set. 2012.

MU, Q.; JONES, L. A.; KIMBALL, J. S.; MCDONALD, K. C.; RUNNING, S. W. Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain. **Water Resources Research**, Washington, v. 45, n. 3, p. 1-20, 2009.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, Madison, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.

Mu, Q., Zhao, M., Running, S. W. **Brief Introduction to MODIS Evapotranspiration Data Set (MOD16)**. Disponível em: <[ftp://ftp.nts.gov/pub/MODIS/Mirror/MOD16/MOD16\\_global\\_evapotranspiration\\_description.pdf](ftp://ftp.nts.gov/pub/MODIS/Mirror/MOD16/MOD16_global_evapotranspiration_description.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2012.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 31 p.

MRT. **Modis Reprojection Tools**. Versão 4.1. Disponível em: <[https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool)> Acesso em: 13 jan. 2013.

Numerical Terradynamic Simulation Group. **MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16)**. Disponível em: < <http://www.nts.gov/project/mod16> >. Acesso em: 09 dez. 2012.

NUNES, G. H. S.; ANDRADE NETO, R. C.; COSTA FILHO, J. H.; OLIVEIRA, S. B. M. Influência de variáveis ambientais sobre a interação genótipos x ambientes em meloeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1194-1199, 2011.

OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; CHAVES, L. J.; COUTO, M. A. Environmental and genotypic factors associated with genotype by environment interactions in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 79-86, 2006.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PRADO, E. E.; HIROMOTO, D. M.; Godinho, V. P. C.; Utumi, M. M.; Ramalho, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.

RAMALHO, P. A. M.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa de autógamas**: Aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: Ed. UFG, 1993. 271 p.

RAMALHO, P. A. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed., Lavras: UFLA, 2005. 322p.

RAMALHO, P. A. M.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008. 461 p.

RAMASAMY, P.; SUBBARAMAN, N.; VENKATACHALAM, R.; OUNDRAPADIAN, G. Contribution of weather variables to G x E interaction in finger millet genotypes. **International Sorghum and Millets Newsletter**, New Dehli, v.37, n.1, p.79-81, 1996.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RIZZE, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no rio grande do sul**. São José dos Campos: INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2004. 212 p.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 69-81, 1999.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

RODRÍGUEZ, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião - SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM - LANDSAT E HRV – SPOT**. São José dos Campos: INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2000. 94 p.

RUHOFF, A. L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. 2011. 162f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RD, 2011.

SAS Statistical Analysis System. Versão 9.3 [S.I.]: SAS Institute, 2011. 6 CD-ROM.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da Soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. p 551-603.

SULSOFT Environment for Visualizing Images (ENVI). Versão 4.8 [S.I.]: Sulsoft, 2011. 1 DVD-ROM.

SYNGENTA. **A soja é a Syn que se escolhe**. Disponível em: <[http://www.syngenta.com/country/br/pt/produtosemarcas/sementes/grandes-culturas/soja/Documents/sementes\\_soja.pdf](http://www.syngenta.com/country/br/pt/produtosemarcas/sementes/grandes-culturas/soja/Documents/sementes_soja.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2013.

TMG, Tropical Melhoramento & Genética. **Cultivares de soja**. Disponível em: <<http://www.tmg.agr.br/cultivares/soja/anta8>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; MENOSSO, O. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 89-94, 1990.

VAN EEUWIJK, F. A.; DENIS, J. B.; KANG, M. S. Incorporating additional information on genotypes and environments in models for two-way genotype by environment tables. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed). **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press. 1996. 416 p.

VAN EEUWIJK, F. A.; ELGERSMA, A. Incorporating environmental information in an analysis of genotype by environment interaction for seed yield in perennial ryegrass. **Heredity**, London, v. 70, n. 2, p. 447-457, 1993.

VERNETTI, F. J.; VERNETTI JÚNIOR, F. J. **Genética da soja**: Caracteres qualitativos e diversidade da soja. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 221 p.

VIANA, D. R.; FERREIRA, N. J.; CONFORTE, J.C. **Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil**. Disponível em: <[http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/787\\_15704.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/787_15704.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2013.

WHITE, J. W. CORBETT, J. D.; DOBERMANN, A. Insufficient geographic characterization and analysis in the planning, execution and dissemination of agronomic research? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 45-54, 2002.

XAVIER, A. C. **Estimativas de propriedades biofísicas de plantações de Eucaliptos a partir de dados LANDSAT-TM**. 1998, 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

## **APÊNDICES**



**Apêndice A.** Evapotranspiração acumulada num período de oito dias (mm/8 dias), média dos pixels da área circular de raio 2,0 Km, obtidas do produto MOD16A2.

Período	Localidades							
	Goiatuba	Rio Verde	Jataí	Anápolis	SMPQ	Itumbiara	Piracanjuba	Goiânia
24/10/2010	9,6	10,1	9,4	13,4	16,2	7,8	17,4	10,0
01/11/2010	12,2	12,6	12,1	18,4	18,4	10,8	18,4	16,6
09/11/2010	12,9	13,2	12,9	20,2	17,7	10,5	18,2	17,6
17/11/2010	17,2	19,0	15,5	22,7	15,1	15,9	20,2	16,4
25/11/2010	15,4	18,1	16,3	23,5	16,5	11,0	20,0	18,4
03/12/2010	15,8	19,8	16,2	23,7	18,7	15,5	19,4	18,0
11/12/2010	16,3	22,2	20,5	23,6	19,8	18,8	19,3	20,0
19/12/2010	18,8	23,8	23,1	23,2	17,8	19,9	20,3	17,6
27/12/2010	10,2	13,0	14,1	12,9	10,1	11,9	12,0	11,2
01/01/2011	16,1	21,4	19,5	13,6	16,9	15,8	16,0	14,3
09/01/2011	12,1	19,6	16,4	19,1	18,6	13,3	12,8	14,8
17/01/2011	24,9	26,6	23,7	26,3	30,1	22,8	23,7	22,5
25/01/2011	23,9	24,3	21,0	22,0	28,1	18,6	24,2	17,0
02/02/2011	22,5	22,4	22,5	22,5	25,8	19,3	23,0	17,8
10/02/2011	19,7	22,6	23,0	20,7	20,2	19,5	18,1	20,2
18/02/2011	19,2	20,6	21,0	18,8	16,4	17,9	16,9	17,1
26/02/2011	16,6	16,6	17,4	19,3	20,1	14,2	17,2	18,9
06/03/2011	11,5	13,0	14,7	18,9	15,6	13,2	11,8	16,3
14/03/2011	13,6	14,9	15,4	21,5	17,0	12,2	14,5	15,8
22/03/2011	15,7	16,3	16,5	26,1	18,9	15,5	18,1	19,3
30/03/2011	14,8	15,6	17,6	23,9	16,3	14,7	14,5	17,9

**Apêndice B.** Precipitação pluviométrica acumulada mensal (mm/mês), obtidas a partir do produto 3B43 do satélite TRMM.

Mês	Localidades							
	Goiatuba	Rio Verde	Jataí	Anápolis	SMPQ	Itumbiara	Piracanjuba	Goiânia
Outubro	106,29	123,44	123,73	133,66	123,59	91,95	109,48	128,59
Novembro	284,5	231,6	235,0	220,7	248,0	245,6	280,3	229,6
Dezembro	297,3	243,5	228,9	352,9	386,9	215,5	305,1	361,1
Janeiro	237,0	250,2	238,8	226,4	272,2	264,1	288,5	295,8
Fevereiro	181,1	192,1	267,2	199,4	141,2	144,1	139,6	219,0
Março	466,2	397,8	400,6	280,0	417,1	441,2	461,1	359,1
Abril	108,5	65,4	67,2	46,2	60,6	110,5	89,2	73,8

**Apêndice C.** Análises de variância para produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo superprecoce, em oito ambientes na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, no ano agrícola de 2010/2011.

	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiatuba-GO	Bloco	3	467099,79	155699,93	2,41	0,0747
	Trat	24	6304850,05	262702,09	4,06	0,0001
	Resíduo	68	4397485,10	64668,90	-	-
	Média =	3113,44	-	CV =	8,17%	
Rio Verde-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	785551,55	261850,52	2,85	0,0400
	Trat	24	4421580,83	184232,54	2,00	0,0100
	Resíduo	63	5790078,05	91906,00	-	-
	Média =	3438,11	-	CV =	8,82%	-
Jataí-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	51769,55	17256,52	0,22	0,8794
	Trat	24	7081921,71	295080,07	3,83	0,0001
	Resíduo	58	4471081,13	77087,61	-	-
	Média =	2907,12	-	CV =	9,55%	-
Anápolis-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	40127,55	13375,85	0,18	0,9112
	Trat	24	8693778,63	362240,78	4,81	0,0001
	Planta	1	563499,04	563499,04	7,48	0,0083
	Resíduo	58	4368026,29	75310,80	-	-
	Média =	2318,23	-	CV =	11,84%	-
São Miguel do Passa Quatro-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	789268,62	263089,54	2,64	0,0562
	Trat	24	9820148,93	409172,87	4,11	0,0001
	Resíduo	68	6768249,57	99533,08	-	-
	Média =	2524,05	-	CV =	12,50%	-
Itumbiara-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	1289305,17	429768,39	4,45	0,0078
	Trat	24	14894725,32	620613,56	6,42	0,0001
	Resíduo	48	4640418,17	96675,38	-	-
	Média =	1769,96	-	CV =	17,57%	-
Piracanjuba-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	79017,60	26339,2	0,17	0,9174
	Trat	24	17352656,26	723027,34	4,61	0,0001
	Resíduo	45	7053068,29	156734,85	-	-
	Média =	2921,79	-	CV =	13,55%	-
Goiânia-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	959604,67	319868,22	4,48	0,0066
	Trat	24	4897244,97	204051,87	2,86	0,0005
	Planta	1	339510,50	339510,50	4,75	0,0331
	Resíduo	62	4428625,65	71429,45	-	-
	Média =	3316,19	-	CV =	8,06%	-

**Apêndice D.** Análises de variância para produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, em oito ambientes na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, no ano agrícola de 2010/2011.

	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiatuba-GO	Bloco	3	106302,0	35434,0	0,31	0,8164
	Trat	24	23595038,9	983126,6	8,66	0,0001
	Resíduo	63	7148604,3	113469,9	-	-
	Média =	2867,83	-	CV =	11,75	-
Rio Verde-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	3800059,1	1266686,4	11,65	0,0001
	Trat	24	10723739,1	446822,5	4,11	0,0001
	Resíduo	61	6633876,7	108752,1	-	-
	Média =	3492,0	-	CV =	9,4	-
Jataí-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	391270,4	130423,5	1,43	0,2439
	Trat	24	9558374,3	398265,6	4,37	0,0001
	Resíduo	53	4828966,1	91112,6	-	-
	Média =	2822,8	-	CV =	10,7	-
Anápolis-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	956725,6	318908,5	4,96	0,0038
	Trat	24	10158464,1	423269,3	6,58	0,0001
	Planta	1	2321086,7	2321086,7	36,07	0,0001
	Resíduo	62	3989635,2	64349,0	-	-
	Média =	2640,3	-	CV =	9,6	-
São Miguel do Passa Quatro-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	77635,2	25878,4	0,35	0,7861
	Trat	24	8523617,2	355150,7	4,86	0,0001
	Resíduo	71	5183929,5	73013,1	-	-
	Média =	2517,0	-	CV =	10,7	-
Itumbiara-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	2048911,5	682970,5	6,52	0,0007
	Trat	24	17620052,6	734168,9	7,01	0,0001
	Resíduo	56	5864157,2	104717,1	-	-
	Média =	2261,10	-	CV =	14,31	-
Piracanjuba-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	468088,0	156029,3	1,04	0,3821
	Trat	24	19963773,6	831823,9	5,54	0,0001
	Resíduo	56	8403565,2	150063,7	-	-
	Média =	3253,5	-	CV =	11,9	-
Goiânia-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	839533,04	279844,35	2,7	0,0541
	Trat	24	13340953,82	555873,08	5,36	0,0001
	Resíduo	58	6018694,43	103770,59	-	-
	Média =	3302,8	-	CV =	9,8	-

**Apêndice E.** Estimativas dos efeitos da interação de genótipos com ambientes, relativas aos dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) em ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo precoce, e da estatística “ecoalência” ( $w_i$ ), em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipo	Ambientes								$w_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN	
26	489,1	-65,1	-456,6	-198,9	-81,6	-445,7	1348,8	-589,9	2864046,3
27	387,2	-109,8	-250,3	-479,0	-62,8	-180,0	116,2	578,5	838574,8
28	-841,6	-358,7	-118,7	237,7	87,0	264,2	722,5	7,6	1507041,6
29	-1142,7	17,0	215,5	299,0	-275,8	797,7	-239,1	328,5	2319229,6
30	334,9	-491,1	-159,0	-41,6	4,1	-261,3	168,4	445,5	675437,3
31	-359,7	-529,0	286,4	-266,9	328,2	404,1	-46,0	182,9	869004,1
32	350,7	148,1	-296,3	354,4	91,7	73,9	-570,9	-151,5	721164,3
33	71,3	4,4	-6,3	-245,0	320,1	450,4	-507,1	-87,7	635382,7
34	403,6	-657,9	358,5	-181,4	-114,8	187,1	-44,6	49,5	809720,8
35	329,4	343,7	-444,2	1,8	-207,7	-646,1	234,7	388,5	1090576,1
36	368,8	77,9	83,0	-306,6	7,3	-388,3	-57,5	215,4	443517,1
37	696,9	231,4	60,8	-386,9	-341,6	445,6	-761,0	54,8	1590001,3
38	504,1	1,5	-242,6	315,7	217,0	-398,9	-823,5	426,7	1479156,9
39	94,0	162,4	-65,7	-246,3	284,6	-367,2	-75,2	213,5	367256,9
40	50,8	-126,2	-69,0	92,3	704,6	-359,3	-313,1	20,0	755727,7
41	-310,7	212,3	264,2	196,6	-108,0	-177,7	-9,2	-67,5	297916,1
42	-556,1	579,6	767,9	225,2	-308,0	-211,6	463,3	-960,3	2561921,4
43	-720,2	-71,5	186,1	327,3	261,7	358,1	7,5	-349,0	984111,6
44	-760,1	-48,6	939,9	319,2	175,8	-98,0	59,6	-587,7	1954983,4
45	646,5	-13,7	-309,4	-155,2	186,4	-370,6	-6,5	22,4	710625,5
46	-35,9	145,6	-79,5	321,3	-229,0	172,4	-298,9	3,9	303506,6
47	250,0	-135,3	-188,8	-1070,9	-147,8	791,6	268,7	232,5	2037857,5
48	-180,6	278,3	30,3	274,1	-253,4	84,3	96,4	-329,4	375248,2
49	-215,0	196,4	67,0	287,8	-644,4	-33,3	233,0	108,6	654538,4
50	145,4	208,3	-573,2	326,3	106,6	-91,5	33,7	-155,6	544679,8

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia.

**Apêndice F.** Análises de variância para produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, em oito ambientes na Macrorregião Sojícola 3 do Brasil, no ano agrícola de 2010/2011.

	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiatuba-GO	Bloco	3	1646248,0	548749,3	4,27	0,008
	Trat	24	14948967,3	622873,6	4,85	0,000
	Resíduo	63	8091355,7	128434,2	-	-
	Média =	3085,0	-	CV =	11,6	-
Rio Verde-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	706017,5	235339,2	2,11	0,11
	Trat	24	11249473,6	468728,1	4,20	0,00
	Resíduo	59	6591878,1	111726,8	-	-
	Média =	3533,7	-	CV =	9,5	-
Jataí-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	886526,8	295508,9	1,95	0,131
	Trat	24	17542241,3	730926,7	4,82	0,000
	Resíduo	63	9557521,7	151706,7	-	-
	Média =	3000,5	-	CV =	13,0	-
Anápolis-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	907248,4	302416,1	3,61	0,018
	Trat	24	4533224,2	188884,3	2,26	0,006
	Planta	1	1089302,2	1089302,2	13,02	0,001
	Resíduo	60	5021515,9	83691,9	-	-
São Miguel do Passa Quatro-GO	Média =	2712,2	-	CV =	10,7	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	802753,9	267584,7	3,99	0,011
	Trat	24	14446418,5	601934,1	8,97	0,000
	Resíduo	64	4292701,5	67073,5	-	-
Itumbiara-GO	Média =	2492,0	-	CV =	10,4	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	3536651,6	1178883,9	15,09	0,000
	Trat	24	16175786,1	673991,1	8,63	0,000
	Resíduo	53	4139879,3	78110,9	-	-
Piracanjuba-GO	Média =	2526,8	-	CV =	11,1	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	1750907,9	583636,0	4,26	0,009
	Trat	24	18727496,9	780312,4	5,69	0,000
	Resíduo	52	7125488,3	137028,6	-	-
Goiânia-GO	Média =	3365,4	-	CV =	11,0	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	1355950,7	451983,6	1,87	0,147
	Trat	24	18845180,5	785215,9	3,24	0,000
	Planta	1	1637087,8	1637087,8	6,76	0,012
	Resíduo	52	12587296,1	242063,4	-	-
	Média =	3516,2	-	CV =	14,0	-

**Apêndice G.** Produtividades médias de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, em ensaios conduzidos em oito localidades na Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipos	Ambientes <sup>1</sup>								Médias <sup>2</sup>	$\hat{g}_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN		
51	3469,4	3642,5	3196,9	2996,9	2969,7	2666,8	2925,9	3788,3	3207,0	162,2
52	2793,1	4012,7	3015,6	2496,3	3016,2	2478,8	4284,4	2824,2	3115,2	70,3
53	2631,9	3819,5	2859,6	3154,5	2539,7	2624,8	4274,2	3864,8	3221,1	176,3
54	3623,0	3620,9	2950,0	2993,6	2813,5	3321,4	4036,1	2878,5	3279,6	234,8
55	3237,5	4062,4	3727,3	3064,7	2882,2	2282,2	2931,3	4087,0	3284,3	239,5
56	3242,5	3029,0	2475,6	2669,3	2010,0	1939,8	2687,8	3435,3	2686,2	-358,7
57	2312,7	2889,7	2643,9	2278,6	2949,4	1794,1	2744,7	2633,9	2530,9	-514,0
58	3784,0	3861,5	4026,2	2901,7	2526,9	2530,2	3575,9	3705,6	3364,0	319,2
59	2991,9	3458,7	2545,7	2658,4	2750,3	2351,9	3622,5	3559,8	2992,4	-52,4
60	2760,0	3891,6	2743,8	2848,1	2205,1	2146,3	3626,3	2512,7	2841,7	-203,1
61	3123,0	3328,0	2591,1	2420,6	2240,4	3609,0	2881,0	2899,4	2886,5	-158,3
62	3435,6	2831,9	2953,1	2710,7	1891,3	2457,3	3254,2	3399,2	2866,7	-178,2
63	2410,7	4177,5	2868,0	2816,0	2648,5	2008,5	2800,7	3123,7	2856,7	-188,1
64	2713,8	3900,8	3003,1	2425,9	2470,5	2881,4	3444,8	3388,8	3028,6	-16,2
65	3353,1	3614,1	3296,9	2587,7	2313,8	3011,9	3808,1	4254,9	3280,1	235,2
66	3210,6	3130,7	2290,2	2201,3	2494,7	2231,6	3240,9	3726,0	2815,7	-229,1
67	3461,8	3225,2	3178,1	2570,5	2590,0	2643,4	3554,2	3686,6	3113,7	68,9
68	2150,6	3261,2	2609,4	2529,4	2385,3	1840,4	3137,2	3409,1	2665,3	-379,5
69	2962,5	3256,1	2781,3	2919,7	2817,1	2865,3	3036,3	3327,2	2995,7	-49,2
70	3255,6	3546,7	2634,6	2697,7	2956,8	2802,4	2756,9	4023,3	3084,2	39,4
71	3314,4	3796,1	2980,4	2860,3	2465,0	2077,4	3074,4	4347,5	3114,4	69,6
72	2893,5	3487,6	3784,6	2862,5	1560,9	2119,0	4106,2	3924,5	3092,4	47,5
73	3694,7	3764,0	3956,5	2829,8	2991,3	3393,5	3762,2	4245,7	3579,7	534,9
74	3346,4	3556,8	3622,1	2685,4	2079,4	2978,3	3723,8	3658,6	3206,3	161,5
75	3171,9	3260,4	3062,5	2789,0	1624,6	2846,3	3708,5	3635,4	3012,3	-32,5
Média <sup>2</sup>	3093,8	3537,0	3031,8	2718,7	2487,7	2556,1	3399,9	3533,6	3044,8	-
$\hat{a}_j$	48,9	492,2	-13,0	-326,1	-557,1	-488,8	355,1	488,8	-	-

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia. <sup>2</sup> Médias genotípicas e ambientais, com os respectivos desvios  $\hat{g}_i$  e  $\hat{a}_j$ , tomados em relação à média geral.

**Apêndice H.** Estimativas dos efeitos da interação de genótipos com ambientes, relativas aos dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) em ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja transgênica RR (*Roundup Ready*®), de ciclo médio, e da estatística “ecovalidade” ( $w_i$ ), em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipo	Ambientes								$w_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN	
51	213,4	-56,7	2,8	116,0	319,8	-51,5	-636,3	92,5	580526,9
52	-371,0	405,4	-86,6	-292,7	458,1	-147,6	814,1	-779,7	1897568,4
53	-638,2	106,1	-348,5	259,4	-124,3	-107,5	697,9	155,0	1145459,3
54	294,5	-150,9	-316,6	40,1	91,0	530,5	401,4	-889,8	1453985,0
55	-95,8	285,9	456,0	106,5	155,0	-513,4	-708,1	313,9	1197708,8
56	507,4	-149,4	-197,6	309,2	-119,0	-257,6	-353,4	260,4	687615,3
57	-267,1	-133,3	126,0	73,8	975,7	-248,0	-141,3	-385,8	1292683,5
58	371,1	5,3	675,2	-136,2	-280,0	-345,1	-143,2	-147,2	851793,0
59	-49,5	-25,9	-433,7	-7,9	315,1	-151,7	275,0	78,6	395429,5
60	-130,7	557,7	-85,0	332,5	-79,5	-206,6	429,5	-817,8	1348110,7
61	187,6	-50,7	-282,5	-139,9	-89,0	1211,2	-360,7	-475,9	1968627,4
62	520,0	-526,9	99,4	170,2	-418,3	79,4	32,4	43,8	771136,9
63	-494,9	828,7	24,3	285,4	348,9	-359,4	-411,1	-221,8	1482863,6
64	-363,8	379,9	-12,5	-276,6	-1,0	341,5	61,1	-128,6	490328,4
65	24,1	-158,2	29,8	-366,3	-409,1	220,6	173,0	486,0	642868,9
66	345,9	-177,2	-512,6	-288,4	236,1	-95,4	70,0	421,5	744361,0
67	299,2	-380,7	77,4	-217,1	33,4	18,4	85,4	84,1	303408,7
68	-563,6	103,7	-43,0	190,2	277,1	-336,2	116,8	255,0	634936,5
69	-82,1	-231,8	-201,4	250,1	378,5	358,4	-314,5	-157,2	558931,2
70	122,5	-29,7	-436,7	-60,4	429,7	206,9	-682,4	450,3	1106150,2
71	151,0	189,5	-121,1	71,9	-92,3	-548,3	-395,2	744,3	1097840,9
72	-247,8	-96,9	705,2	96,2	-974,4	-484,6	658,8	343,4	2313416,6
73	66,1	-307,9	389,8	-423,8	-31,3	302,5	-172,6	177,2	584410,6
74	91,1	-141,7	428,7	-194,9	-569,8	260,7	162,3	-36,5	670493,1
75	110,6	-244,1	63,2	102,7	-830,6	322,8	341,1	134,3	1014843,5

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia.

**Apêndice I.** Análise de variância de dados de produtividade de grão (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo superprecoce, em oito ambientes na Macrorregião Sojícola 3, do Brasil, no ano agrícola de 2010/2011.

	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiatuba-GO	Bloco	3	1067560,6	355853,5	6,53	0,0006
	Trat	24	18366375,0	765265,6	14,04	0,0001
	Resíduo	64	3488824,3	54512,9	-	-
	Média =	2629,2	-	CV =	8,9	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Rio Verde-GO	Bloco	3	423876,1	141292,0	1,47	0,2333
	Trat	24	11556890,8	481537,1	5,00	0,0001
	Planta	1	569476,2	569476,2	5,92	0,0183
	Resíduo	55	5293616,1	96247,6	-	-
	Média =	2903,3	-	CV =	10,7	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Jataí-GO	Bloco	3	8738291,3	2912763,8	28,12	0,0001
	Trat	24	20030927,2	834622,0	8,06	0,0001
	Resíduo	53	5489357,4	103572,8	-	-
	Média =	2981,6	-	CV =	10,8	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Anápolis-GO	Bloco	3	530263,4	176754,5	2,63	0,0576
	Trat	24	27301389,8	1137557,9	16,94	0,0001
	Planta	1	513259,7	513259,7	7,64	0,0075
	Resíduo	63	4230517,4	67151,1	-	-
	Média =	2188,4	-	CV =	11,8	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
São Miguel do Passa Quatro-GO	Bloco	3	398671,4	132890,5	1,69	0,1785
	Trat	24	6603785,2	275157,7	3,50	0,0001
	Resíduo	62	4877935,3	78676,4	-	-
	Média =	2579,1	-	CV =	10,9	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Itumbiara-GO	Bloco	3,0	584021,2	194673,7	2,63	0,0605
	Trat	24,0	10721030,7	446709,6	6,03	0,0001
	Planta	1,0	569336,2	569336,2	7,68	0,0078
	Resíduo	50,0	3706827,7	74136,6	-	-
	Média =	2027,0	-	CV =	13,4	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Piracanjuba-GO	Bloco	3	885692,6	295230,9	1,83	0,1606
	Trat	24	11989541,5	499564,2	3,10	0,0014
	Resíduo	33	5318638,7	161170,9	-	-
	Média =	2496,0	-	CV =	16,1	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiânia-GO	Bloco	3	828571,3	276190,4	2,48	0,0710
	Trat	24	21324714,4	888529,8	7,97	0,0001
	Resíduo	54	6018444,1	111452,7	-	-
	Média =	3080,3	-	CV =	10,8	-



**Apêndice J.** Produtividades médias de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo superprecoce, em ensaios conduzidos em oito localidades na Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipos	Ambientes <sup>1</sup>								Médias <sup>2</sup>	$\hat{g}_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN		
76	2728,1	2315,1	3337,2	2062,7	2351,8	1890,4	2282,9	2883,4	2481,5	-181,2
77	3255,0	3269,2	3399,7	2183,7	2649,0	1954,1	2554,1	2888,0	2769,1	106,4
78	2442,0	3258,0	3385,8	2821,3	2312,2	2223,3	2625,7	3313,5	2797,7	135,1
79	3111,3	2785,6	2747,2	2260,6	2371,9	2629,4	2718,8	2866,8	2686,4	23,8
80	2773,1	2978,9	3404,0	2317,1	2648,1	2108,5	2353,5	2854,0	2679,6	17,0
81	2642,9	2706,7	2193,8	1603,1	2054,6	1961,6	2468,6	2268,4	2237,5	-425,2
82	2626,3	2896,0	2200,0	1217,4	2543,7	1891,3	2269,5	2485,5	2266,2	-396,5
83	2494,4	3042,5	2646,5	1569,6	2826,2	2515,6	2137,2	3042,3	2534,3	-128,4
84	2553,8	2715,0	2096,5	1506,2	2110,4	1398,8	1643,8	2627,4	2081,5	-581,2
85	1920,0	3172,8	2113,2	2841,9	2496,7	1964,7	2862,6	2352,5	2465,5	-197,1
86	2825,7	3223,1	3346,0	2217,0	2487,1	1777,2	1846,1	3078,4	2600,1	-62,6
87	3040,4	2651,1	2883,3	3112,8	3009,4	2489,8	2685,6	3775,3	2956,0	293,3
88	2520,6	3295,2	2985,7	2477,2	2841,3	2609,3	2941,8	3207,6	2859,9	197,2
89	2881,3	2471,2	2781,3	2062,2	3043,5	1885,8	2776,8	3138,8	2630,1	-32,6
90	2958,1	2726,5	3390,6	2413,4	2818,8	2296,9	3103,1	3285,4	2874,1	211,5
91	2569,4	3780,9	2516,3	2904,6	2428,5	2260,7	3050,1	3767,9	2909,8	247,1
92	3312,5	2870,2	2707,9	2291,2	2848,4	2434,3	3034,1	3389,2	2861,0	198,3
93	1532,5	2868,5	3081,9	3233,7	2398,8	2872,6	2571,4	3150,0	2713,7	51,0
94	1974,6	3324,6	3613,0	3013,1	2573,5	2655,4	2826,4	4142,7	3015,4	352,8
95	2085,0	2708,0	2984,6	2615,5	2694,7	1891,8	2362,0	2600,5	2492,8	-169,9
96	2733,8	2017,1	2785,2	1844,8	2580,8	1817,9	1454,0	2225,7	2182,4	-480,2
97	2362,3	2953,8	3334,4	2754,1	2732,1	2004,8	1711,4	2959,5	2601,5	-61,1
98	2875,0	3563,2	3546,8	3456,6	2919,2	2905,6	3072,6	3697,0	3254,5	591,8
99	2124,4	2620,0	3603,9	2686,4	2301,2	2361,0	2996,7	3951,0	2830,6	167,9
100	3251,3	2849,7	3871,9	2260,3	2000,0	1875,7	2677,3	3496,5	2785,3	122,7
Média <sup>2</sup>	2623,7	2922,5	2998,3	2389,1	2561,7	2187,1	2521,0	3097,9	2662,7	-
$\hat{a}_j$	-38,9	259,9	335,6	-273,6	-101,0	-475,6	-141,6	435,2	-	-

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia. <sup>2</sup> Médias genotípicas e ambientais, com os respectivos desvios  $\hat{g}_i$  e  $\hat{a}_j$ , tomados em relação à média geral.

**Apêndice K.** Estimativas dos efeitos da interação de genótipos com ambientes, relativas aos dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) em ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo superprecoce, e da estatística “ecovalidade” ( $\omega_i$ ), em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipo	Ambientes								$\omega_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN	
76	285,6	-426,2	520,1	-145,2	-28,6	-115,4	-57,0	-33,3	573273,9
77	524,8	240,3	295,0	-311,8	-19,1	-339,4	-73,4	-316,4	738430,0
78	-316,8	200,4	252,4	297,2	-384,5	-98,8	-30,4	80,5	457608,0
79	463,7	-160,7	-274,9	-152,3	-213,6	418,6	173,9	-254,8	655593,8
80	132,4	39,4	388,7	-89,0	69,5	-95,5	-184,5	-260,9	294199,3
81	444,4	209,4	-379,3	-360,8	-81,9	199,7	372,8	-404,3	864339,5
82	399,0	370,0	-401,8	-775,2	378,5	100,7	144,9	-215,9	1279485,5
83	-1,0	248,4	-223,4	-691,1	392,9	456,9	-255,5	72,7	1022911,0
84	511,2	373,6	-320,6	-301,7	129,9	-207,1	-296,1	110,7	754386,6
85	-506,6	447,4	-688,0	649,9	132,1	-25,2	538,7	-548,3	1961432,3
86	264,5	363,2	410,3	-109,5	-12,0	-347,3	-612,3	43,1	879757,2
87	123,4	-564,8	-408,3	430,5	154,4	9,4	-128,7	384,1	874208,5
88	-300,3	175,5	-209,7	-109,0	82,4	225,1	223,6	-87,5	291988,3
89	290,1	-418,7	-184,4	-294,3	514,4	-268,7	288,4	73,4	805431,0
90	122,9	-407,5	180,9	-187,1	45,6	-101,6	370,6	-23,9	399231,3
91	-301,5	611,2	-729,0	268,4	-380,3	-173,5	281,9	422,8	1501060,3
92	490,4	-250,7	-488,7	-296,2	88,4	49,0	314,7	93,0	747766,2
93	-1142,3	-105,1	32,7	793,6	-213,9	634,5	-0,6	1,1	2395087,1
94	-1001,9	49,3	262,0	271,3	-340,9	115,6	-47,4	692,0	1759199,9
95	-368,8	-44,6	156,2	396,4	302,9	-125,4	10,8	-327,5	534369,9
96	590,2	-425,1	267,2	-64,0	499,3	111,1	-586,8	-391,9	1364267,3
97	-200,4	92,4	397,3	426,2	231,5	-121,2	-748,6	-77,3	1022749,9
98	-340,6	48,8	-43,3	475,7	-234,3	126,7	-40,3	7,3	419198,7
99	-667,3	-470,4	437,7	129,4	-428,3	6,0	307,7	685,2	1622631,2
100	504,8	-195,4	750,9	-251,4	-684,3	-434,1	33,6	275,9	1654188,1

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia.

**Apêndice L.** Análise de variância de dados de produtividade de grão ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional de ciclo precoce e médio, em oito ambientes na Macrorregião Sojícola 3, do Brasil, no ano agrícola de 2010/2011.

	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Goiatuba-GO	Bloco	3	70780,2	23593,4	0,20	0,8960
	Trat	24	23319731,0	971655,5	8,24	0,0001
	Resíduo	68	8017927,1	117910,7	-	-
	Média =	2860,1	-	CV =	12,0	-
Rio Verde-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	1709553,6	569851,2	3,88	0,0138
	Trat	24	22530445,9	938768,6	6,39	0,0001
	Resíduo	55	8077112,3	146856,6	-	-
	Média =	3073,2	-	CV =	12,5	-
Jataí-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	3024946,5	1008315,5	7,35	0,0003
	Trat	24	14567681,4	606986,7	4,43	0,0001
	Resíduo	61	8366213,7	137151,0	-	-
	Média =	2768,2	-	CV =	13,4	-
Anápolis-GO	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	27497,0	9165,7	0,09	0,9638
	Trat	24	7460086,9	310837,0	3,14	0,0002
	Planta	1	1150384,4	1150384,4	11,63	0,0012
	Resíduo	60	5936897,8	98948,3	-	-
São Miguel do Passa Quatro-GO	Média =	2488,5	-	CV =	12,6	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	252159,6	84053,2	0,65	0,5877
	Trat	24	8887885,8	370328,6	2,85	0,0005
	Resíduo	64	8315109,2	129923,6	-	-
Itumbiara-GO	Média =	2688,7	-	CV =	13,4	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	2166152,6	722050,9	6,01	0,0011
	Trat	24	10387752,0	432823,0	3,60	0,0001
	Resíduo	63	7567293,6	120115,8	-	-
Piracanjuba-GO	Média =	1969,5	-	CV =	17,6	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	5685084,5	1895028,2	11,67	0,0001
	Trat	24	10863381,3	452640,9	2,79	0,0013
	Resíduo	47	7630957,5	162360,8	-	-
Goiânia-GO	Média =	2932,0	-	CV =	13,7	-
	FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
	Bloco	3	154317,9	51439,3	0,37	0,7751
	Trat	24	6290603,1	262108,5	1,88	0,0261
	Resíduo	57	7930849,1	139137,7	-	-
	Média =	3225,6	-	CV =	11,6	-

**Apêndice M.** Produtividades médias de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo precoce/médio, em ensaios conduzidos em oito localidades na Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipos	Ambientes <sup>1</sup>								Médias <sup>2</sup>	$\hat{g}_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN		
101	3199,4	3605,9	2795,7	2751,4	2403,2	2199,3	2917,4	3765,6	2954,7	197,1
102	2926,0	2374,7	3128,1	2429,8	2725,7	1645,0	3079,4	3139,6	2681,0	-76,6
103	2358,8	2875,1	3027,2	2736,1	2773,2	1802,2	3503,9	3217,7	2786,8	29,1
104	1669,8	2720,6	3006,9	2078,8	2300,7	1581,6	2506,5	3270,0	2391,8	-365,8
105	2280,6	2603,7	2700,0	2230,2	2998,9	1926,0	3334,4	3457,9	2691,5	-66,2
106	2801,3	3192,5	2391,1	2684,9	2761,9	1258,3	2976,9	3193,9	2657,6	-100,1
107	2256,3	2775,0	2519,2	2071,5	2495,3	1647,2	2722,4	2967,1	2431,7	-325,9
108	2533,8	4040,9	2860,5	2458,4	3489,7	1884,3	3121,9	3165,8	2944,4	186,7
109	3614,4	3957,4	2848,4	2994,5	2625,1	2547,2	2886,0	2914,6	3048,4	290,8
110	2435,6	3157,1	2912,5	2101,9	2631,3	2015,3	1958,5	3080,6	2536,6	-221,1
111	3160,0	2652,4	2634,4	1986,4	3083,4	2080,9	2833,3	2939,4	2671,3	-86,4
112	2698,1	3397,8	3800,0	2665,0	2896,3	1461,0	2728,7	3608,3	2906,9	149,3
113	2968,1	3392,8	1898,0	2370,1	2889,1	2686,6	2644,8	2985,7	2729,4	-28,2
114	3138,1	3060,3	2718,9	2449,8	2489,4	2190,1	3087,9	3320,8	2806,9	49,3
115	3063,8	2355,2	3660,0	2415,8	2270,3	2134,2	2136,0	3078,0	2639,2	-118,5
116	3500,6	4618,0	2271,9	2756,8	3036,9	2222,0	3185,7	2560,1	3019,0	261,3
117	3178,8	2375,8	2971,9	2473,0	2286,0	2010,7	3206,9	3312,4	2726,9	-30,7
118	3466,4	2477,7	2665,8	2081,6	2427,1	1904,4	3066,0	3303,5	2674,1	-83,6
119	2226,3	3038,4	2487,9	2890,0	2707,2	2428,5	2599,3	2751,7	2641,2	-116,5
120	3043,8	3258,0	2690,1	2588,2	2774,4	2322,7	3386,2	3360,6	2928,0	170,3
121	3035,6	3700,4	3106,7	2603,6	2686,6	1888,2	3372,8	3645,0	3004,9	247,2
122	2083,1	2439,8	2437,5	2843,2	2535,0	1450,9	2896,3	3372,1	2507,2	-250,4
123	3563,8	3402,5	2406,3	2660,0	2488,5	2443,9	3069,8	3192,0	2903,3	145,7
124	3350,0	3183,9	2593,8	1946,8	2256,3	1687,1	3449,7	3132,4	2700,0	-57,7
125	2813,5	3376,3	2644,2	2697,9	3477,9	2029,7	2848,2	3779,9	2958,4	200,8
Média <sup>2</sup>	2854,6	3121,3	2767,1	2478,6	2700,4	1977,9	2940,7	3220,6	2757,6	-
$\hat{a}_j$	97,0	363,6	9,4	-279,0	-57,3	-779,8	183,1	462,9	-	-

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia. <sup>2</sup> Médias genotípicas e ambientais, com os respectivos desvios  $\hat{g}_i$  e  $\hat{a}_j$ , tomados em relação à média geral.

**Apêndice N.** Estimativas dos efeitos da interação de genótipos com ambientes, relativas aos dados de produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) em ensaios de linhagens experimentais e cultivares de soja convencional, de ciclo precoce/médio, e da estatística “ecoalência” ( $w_i$ ), em oito locais da Macrorregião Sojícola 3, no ano agrícola 2010/2011.

Genótipo	Ambientes								$w_i$
	GTB	RVD	JTI	ANA	SMPQ	ITU	PJB	GYN	
101	147,7	287,5	-168,5	75,7	-494,3	24,3	-220,4	348,0	553184,4
102	148,0	-670,0	437,7	27,8	101,9	-256,3	215,2	-4,3	785539,3
103	-525,0	-275,3	231,0	228,4	43,7	-204,8	534,0	-32,0	786961,9
104	-819,1	-34,9	605,7	-34,0	-33,9	-30,5	-68,4	415,2	1219221,9
105	-507,8	-451,4	-0,9	-182,2	364,7	14,3	459,8	303,5	931590,4
106	46,7	171,3	-275,9	306,3	161,6	-619,5	136,2	73,4	635364,3
107	-272,5	-20,4	78,1	-81,3	120,9	-4,8	107,6	72,4	118793,8
108	-507,6	732,8	-93,3	-207,0	602,6	-280,3	-5,6	-241,6	1346376,2
109	469,0	545,3	-209,5	225,0	-366,1	278,5	-345,5	-596,7	1298912,0
110	-198,0	256,9	366,5	-155,7	151,9	258,5	-761,2	81,1	939555,0
111	391,8	-382,5	-46,3	-405,9	469,4	189,4	-21,0	-194,8	761254,6
112	-305,8	127,3	883,7	37,1	46,7	-666,1	-361,3	238,4	1525188,8
113	141,7	299,8	-840,8	-80,3	216,9	737,0	-267,7	-206,6	1527934,2
114	234,2	-110,2	-97,5	-78,1	-260,2	162,9	97,9	51,0	189047,8
115	327,6	-647,6	1011,4	55,6	-311,6	274,8	-686,3	-24,1	2196883,7
116	384,7	1235,4	-756,5	16,8	75,2	-17,3	-16,4	-921,9	3102769,4
117	354,8	-714,8	235,5	25,1	-383,6	63,5	296,9	122,6	947293,7
118	695,4	-560,0	-17,7	-313,4	-189,7	10,1	208,8	166,5	1003078,6
119	-511,9	33,6	-162,7	527,9	123,4	567,1	-225,0	-352,4	1079914,4
120	18,8	-33,6	-247,3	-60,7	-96,3	174,5	275,1	-30,4	182648,2
121	-66,2	331,9	92,4	-122,2	-261,0	-336,9	184,9	177,2	385257,2
122	-521,1	-431,1	-79,2	615,0	85,1	-276,6	205,9	401,9	1129564,5
123	563,4	135,5	-506,5	35,7	-357,6	320,4	-16,6	-174,3	854803,4
124	553,0	120,2	-115,7	-474,1	-386,5	-233,1	566,7	-30,5	1084213,6
125	-241,9	54,2	-323,6	18,5	576,7	-149,0	-293,4	358,5	735951,3

<sup>1</sup> GTB: Goiatuba; RVD: Rio Verde; JTI: Jataí; ANA: Anápolis; SMPQ: São Miguel do Passa Quatro; ITU: Itumbiara; PJB: Piracanjuba; GYN: Goiânia.