

Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado

Rodrigo Gomes Branquinho⁽¹⁾, João Batista Duarte⁽¹⁾, Plínio Itamar Mello de Souza⁽²⁾,
Sebastião Pedro da Silva Neto⁽²⁾ e Roberto Miranda Pacheco⁽³⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Rodovia Goiânia-Nova Veneza, Km 0, Caixa Postal 131, CEP 74001-970 Goiânia, GO, Brasil. E-mail: rodrigogobr@bol.com.br, jbduarte.ufg@gmail.com ⁽²⁾Embrapa Cerrados, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina, DF, Brasil. E-mail: plinioims@gmail.com, sebastiao.pedro@embrapa.br ⁽³⁾Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás, Rua Dona Maria Joana, Quadra 14, nº 150, Setor Sul, CEP 74083-140 Goiânia, GO, Brasil. E-mail: robertopacheco21@uol.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma estratificação ambiental consistente, para a recomendação e a avaliação de linhagens experimentais e cultivares de soja na região do Cerrado, a partir de análises da interação entre genótipos e ambientes (GxA) quanto à produtividade de grãos, além de avaliar a atual rede de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) para sua otimização. Os dados provieram de 559 ensaios de competição de linhagens de soja, realizados em 57 localidades, durante sete safras agrícolas (2002/2003 a 2008/2009). Realizaram-se análises conjuntas de variância, pelo modelo AMMI ("additive main effects and multiplicative interaction"), e de estratificação ambiental, pela abordagem correlata de "genótipos vencedores". A interação GxA foi sempre significativa, como resultado da resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental. Os locais de teste se agruparam de modo diferente de acordo com os grupos de maturação. Observou-se redundância em 20% dos locais, o que indica a possibilidade de otimização da rede de ensaios, via eliminação ou substituição dessas localidades. A região-alvo deve receber estratificações distintas, congêneres a cada grupo de maturação, e pode ser dividida em 22 (ciclo precoce), 23 (ciclo médio) e 21 (ciclo tardio) estratos ambientais.

Termos para indexação: *Glycine max*, análise AMMI, genótipo vencedor, interação genótipo x ambiente, locais-chave, mega-ambiente.

Environmental stratification and optimization of a multi-environment trial net for soybean genotypes in Cerrado

Abstract – The objective of this work was to establish a consistent environmental stratification for recommendation and evaluation of experimental soybean lines and cultivars in the Cerrado region, from the analyses of genotype by environment interaction (GxE) for grain yield, besides evaluating the current trial network on the value for cultivation and use (VCU), for its optimization. Data were obtained from 559 competition trials of soybean lines, performed in 57 locations, during seven harvest periods (2002/2003 to 2008/2009). Joint analyses of variance were carried out by the AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) model, and the environmental stratification by the related statistical approach of "winning genotypes". The GxE interaction was always significant as a result of the genotype differential response to environmental change. Test locations clustered differently according to maturity groups. Redundancy was observed in 20% of the locations, which indicates the possibility of optimizing the trial network by the elimination or replacement of these locations. The target region should receive different stratifications, congenerous to each maturity group, and may be divided into 22 (early cycle), 23 (medium cycle), and 21 (long cycle) environmental strata.

Index terms: *Glycine max*, AMMI analysis, winner genotype, genotype x environment interaction, key locations, mega-environment.

Introdução

No Brasil, a soja é amplamente cultivada, com grande variação nas condições de cultivo, que incluem diferenças quanto às características de solo, temperatura, fotoperíodo e pluviosidade. O desempenho de cultivares é influenciado pela interação

com esses ambientes (interação GxA), o que resulta em dificuldades para a identificação de cultivares superiores e estáveis em toda a região de cultivo.

Nos ensaios finais, linhagens e cultivares são avaliadas em vários locais de teste, para se obter a representatividade da região à qual se destinam os genótipos a serem recomendados. O assunto é,

inclusive, objeto de normatização pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1998). Entre outras exigências, o órgão define que a rede experimental deve incluir locais em cada região edafoclimática (estrato ambiental ou mega-ambiente). No Brasil, isso constitui o que se denomina de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU).

Um grande número de locais pode ser necessário para uso nessa fase final da avaliação genotípica. Entretanto, é possível que parte destas localidades apresente características ecológicas semelhantes e que sua interação com os genótipos seja semelhante. A avaliação de linhagens em ensaios de VCU é onerosa; assim, é economicamente vantajoso eliminar ou substituir locais redundantes por outros com propriedades ainda não amostradas no conjunto de ambientes. Portanto, essa rede deve ser cuidadosamente planejada, para melhor representar a região de cultivo e evitar a avaliação genotípica em locais redundantes.

Há muitos trabalhos sobre interação GxA em soja (Alliprandini et al., 1994; Pacheco et al., 2009; Barros et al., 2010). Em sua maioria, são estudos direcionados à avaliação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares, e uma parte menor é dirigida à estratificação de ambientes ou zoneamento ecológico. Define-se como estrato ambiental um grupo de locais, contíguos ou não, pertencentes a uma mesma região de cultivo, dentro da qual a interação GxA é pequena ou não significativa (Gauch Junior & Zobel, 1997). Nesta linha de pesquisa, merece ser ressaltada a estratificação estabelecida por Pacheco (2004), reportada em Pacheco et al. (2009), na qual foi utilizada uma base de dados semelhante à empregada no presente trabalho. O autor recomendou três estratificações, congêneres aos grupos de maturação: precoce (oito estratos), médio (seis) e tardio (sete). Nesses estratos, foram identificados onze locais-chave para a alocação dos ensaios de VCU dos três grupos de maturação.

É necessário destacar, entretanto, o caráter dinâmico e provisório das estratificações ambientais obtidas por essa abordagem, porque o processo de desenvolvimento e liberação de cultivares leva, contínua e periodicamente, à substituição de genótipos. Assim, são esperadas mudanças nos estratos ambientais, pois a estratificação de uma região depende da interação GxA (Gauch Junior, 1992), com predomínio de interações de natureza complexa ou cruzada (Yan et al., 2007; Negash et al., 2013). Logo, é necessária a revisão periódica do zoneamento ambiental estabelecido.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma estratificação ambiental consistente para a recomendação e avaliação de linhagens experimentais e cultivares de soja para a região do Cerrado, a partir de análise da interação GxA, quanto à produtividade de grãos, e avaliar a adequação da atual rede de ensaios de VCU, para sua otimização.

Material e Métodos

No estudo, utilizaram-se linhagens de diferentes grupos de maturação denominados de ciclos precoce (P), médio (M) e tardio (T), além dos grupos comerciais de soja convencional (CV) e soja transgênica (RR) resistente ao herbicida glifosato. A combinação destes grupos foi denominada como conjunto experimental CV-P, CV-M e RR-T. O número de genótipos nos ensaios variou entre 10 e 28 linhagens, distribuídas em seis conjuntos experimentais (Tabela 1). As respostas desses genótipos quanto à produtividade de grãos (kg ha^{-1}), nos diferentes locais e anos, serviram como base para a estratificação e o planejamento da rede experimental.

Os ensaios foram realizados em localidades do Distrito Federal e dos estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, durante sete anos agrícolas (2002/2003 a 2008/2009). Ao todo, 559 experimentos foram instalados em 57 localidades, algumas das quais foram eliminadas ou substituídas ao longo dos anos (Tabela 2). Os experimentos foram implantados em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas constituíram-se de quatro fileiras de plantas, com 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m. Avaliou-se a produção de grãos obtida das duas fileiras centrais da parcela (área útil), tendo-se desprezado 0,5 m das extremidades. A massa de grãos por parcela foi corrigida para 13% de umidade e extrapolada para quilogramas por hectare.

Inicialmente, realizaram-se análises individuais de variância para cada experimento. Em seguida, estimaram-se as médias de produtividade de cada genótipo, em cada ambiente, com ajustes dos efeitos diferenciais de blocos e algum desbalanceamento não planejado (perda de parcelas). As médias foram submetidas à análise conjunta dos ensaios, dentro de anos, tendo-se incluído todos os locais para cada conjunto experimental.

As análises conjuntas foram realizadas segundo o modelo que inclui os efeitos principais aditivos e a interação multiplicativa conforme Gauch Junior (1992). Com a finalidade de se conhecer a significância dos efeitos principais, efeitos de genótipos e de ambientes, e da interação entre estes fatores, aplicouse o teste F de Snedecor. O teste F_R de Cornelius et al. (1992), em princípio, foi empregado para se identificar o número de componentes principais a ser incorporado no modelo AMMI.

As estimativas de produtividade foram obtidas pela expressão $\hat{Y}_{ij} = \hat{\mu} + \hat{g}_i + \hat{a}_j + \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk}$, em que: \hat{Y}_{ij} é a resposta média estimada para o genótipo i ($i = 1, 2, \dots, g$) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, a$); $\hat{\mu}$ é a média geral associada às estimativas \hat{Y}_{ij} ; g_i é a estimativa do efeito fixo de genótipo i ; a_j é a estimativa do efeito fixo do ambiente j ; λ_k é o k -ésimo valor singular da matriz GA, definida como $GA_{(ga)} = [(\hat{ga})_{ij}]$, em que $(\hat{ga})_{ij}$ é a estimativa de quadrados mínimos da interação $(ga)_{ij}$ original, dada por $(\hat{ga})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}$ (resíduo do ajuste dos efeitos principais e dos efeitos de genótipos e de ambientes); γ_{ik} é o i -ésimo elemento do k -ésimo autovetor de $(GA)(GA)'$, associado a λ_k (peso do genótipo i no eixo k); e α_{jk} é o j -ésimo elemento do k -ésimo autovetor de $(GA)'(GA)$, associado a λ_k (peso do ambiente j no eixo k). A partir disso, o padrão de desempenho dos genótipos nos ambientes foi graficamente representado em biplots AMMI, conforme abordagem de estratificação ambiental conhecida por “genótipos vencedores” (Gauch Junior & Zobel, 1997).

Tabela 1. Número de linhagens e genótipos de soja avaliados em cada conjunto experimental em sete anos agrícolas (safras).

| Safr | Genótipos-grupos de maturação ⁽¹⁾ | | | | | |
|-----------|--|------|------|------|------|------|
| | CV-P | RR-P | CV-M | RR-M | CV-T | RR-T |
| 2002/2003 | 24 | - | 27 | - | 25 | - |
| 2003/2004 | 17 | - | 13 | 28 | 24 | 28 |
| 2004/2005 | 18 | 26 | 28 | 21 | 10 | 22 |
| 2005/2006 | - | 21 | 20 | 23 | 24 | 24 |
| 2006/2007 | 18 | 19 | 16 | 23 | - | 19 |
| 2007/2008 | - | - | 16 | 10 | 11 | 11 |
| 2008/2009 | 18 | 17 | 15 | 15 | - | - |

⁽¹⁾Genótipos-grupos de maturação: CV-P, convencional precoce; CV-M, convencional médio; CV-T, convencional tardio; RR-P, transgênico (Roundup Ready) precoce; RR-M, transgênico médio; e RR-T, transgênico tardio.

Nos gráficos (biplot AMMI), a linha de transição entre estratos corresponde a um ambiente hipotético, em que genótipos vencedores de estratos vizinhos têm a mesma produtividade. Essa linha de transição intercepta a ordenada do sistema de eixos cartesianos no ponto $\alpha_{j1} = (\hat{g}_i - \hat{g}_r) / (\gamma_{ir} - \gamma_{i1})$ correspondente ao marcador do referido ambiente. Assim, estratos ambientais foram precisamente identificados para cada conjunto experimental.

Quando conjuntos experimentais diferentes são incluídos na análise, com dois ou mais anos, a estratificação final requer a combinação dos resultados parciais obtidos em cada conjunto. Isto foi feito em duas etapas. Na primeira, realizou-se a comparação de estratificações obtidas em anos diferentes, no mesmo conjunto experimental (como CV-P-2002/2003, CV-P-2003/2004, CV-P-2008/2009). Na segunda, realizou-se a comparação das estratificações dos dois grupos comerciais, CV e RR, dentro de cada ciclo de maturação (como CV-P vs. RR-P), tendo-se buscado estratificações comuns aos dois grupos.

Para o estabelecimento de estratos maiores e consistentes, foi necessário realocar alguns locais a estratos vizinhos, contíguos ao estrato originalmente determinado por algum genótipo vencedor. Isto ocorreu quando certos locais agruparam-se no mesmo estrato em grande parte do período de avaliação, porém não em algum dos anos avaliados, mas que, apesar disso, ainda mostravam tendência a se agruparem, pois localizavam-se próximos à linha de transição do respectivo estrato. Essa flexibilização é recomendada por Gauch Junior & Zobel (1997).

Para identificar grupos de localidades com padrão de agrupamento consistente, ao longo dos anos, cada par de locais foi avaliado separadamente. Consideraram-se consistentes os pares de locais que se reuniram no mesmo estrato, em todos os anos em que foram avaliados em determinado conjunto experimental (2/2, 3/3, 4/4 ou 5/5); nesta notação (n/m), o numerador (n anos) representa o número de vezes em que certo par de locais se agrupou no mesmo estrato, e o denominador é o número de vezes (m anos) em que estiveram presentes nos conjuntos experimentais.

Com as estratificações estabelecidas, identificaram-se os locais a serem priorizados nos ensaios de VCU para a região-alvo da pesquisa. Como critério, utilizou-se a distância média quadrática (\bar{D}_j^2) dos locais aos genótipos vencedores, nos biplots (Pacheco

Tabela 2. Locais e anos de avaliação dos conjuntos experimentais, no programa de melhoramento de soja coordenado pela Embrapa Cerrados.

| Local | UF | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Solo ⁽¹⁾ | Soja convencional - P, M e T ⁽²⁾ | | | | | | | | Soja transgênica (RR) - P, M e T ⁽²⁾ | | | | | |
|-------------------------------|----|-----------|-----------|-----------------|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|----|
| | | | | | | 02/03 | 03/04 | 04/05 | 05/06 | 06/07 | 07/08 | 08/09 | 03/04 | 04/05 | 05/06 | 06/07 | 07/08 | 08/09 | |
| Barreiras | BA | 12°09'10" | 44°59'24" | 452 | LA | PMT | MT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Barreiras ⁽³⁾ | BA | - | - | - | LA | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Correntina | BA | 13°20'36" | 44°38'12" | 561 | LA | - | MT | - | - | - | - | - | MT | - | - | - | - | - | - |
| São Desidério | BA | 12°21'48" | 44°58'24" | 497 | - | PMT | MT | T | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Planaltina | DF | 15°31'00" | 47°30'00" | 990 | LE | PMT | PMT | PMT | - | PM | MT | PM | MT | PMT | PMT | PMT | MT | PM | PM |
| Anápolis | GO | 16°19'36" | 48°57'10" | 1017 | LE | PMT | PMT | PMT | - | PM | - | - | MT | PMT | PMT | PMT | - | - | - |
| Campo Alegre | GO | 17°37'59" | 47°46'42" | 877 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | MT | PMT | - | - | - | - |
| Chapadão do Céu | GO | 18°24'27" | 52°32'56" | 725 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | - | - | - | - | M | PMT | PMT | - | - | - |
| Cristalina | GO | 16°46'07" | 47°36'49" | 930 | LA | PMT | - | PMT | MT | PM | - | - | MT | PMT | PMT | PMT | - | - | - |
| Cristalina ⁽⁴⁾ | GO | - | - | - | LA | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Formosa | GO | 15°32'14" | 47°20'04" | 916 | LE | - | MT | - | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - | - | - |
| Goiatuba | GO | 18°00'45" | 49°21'17" | 774 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Itumbiara | GO | 18°25'09" | 49°12'55" | 448 | - | - | - | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - | - | PM |
| Jataí | GO | 17°52'53" | 51°42'52" | 696 | - | - | - | - | - | PM | MT | PM | - | - | - | PMT | MT | PM | PM |
| Luziânia | GO | 16°15'09" | 47°57'01" | 930 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | PM | MT | PM | MT | PMT | PMT | PMT | MT | PM | PM |
| Mineiros | GO | 17°34'10" | 52°33'04" | 750 | LA | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Montividiu | GO | 17°26'39" | 51°10'29" | 821 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | MT | PMT | - | - | - | - | - |
| Perolândia | GO | 17°31'43" | 52°03'51" | 889 | - | - | - | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | MT | PM | PM |
| Rio Verde | GO | 17°47'53" | 50°55'41" | 730 | - | - | - | - | MT | - | MT | PM | - | - | - | - | - | - | PM |
| SM do Araguaia ⁽⁵⁾ | GO | 13°16'30" | 50°09'46" | 337 | LA | - | PMT | PM | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Senador Canedo | GO | 16°42'29" | 49°05'35" | 801 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | PM | - | - | MT | PMT | PMT | PMT | - | - | - |
| Vicentinópolis | GO | 17°44'06" | 49°48'18" | 646 | - | - | - | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - | - | PM |
| Capinópolis | MG | 18°40'55" | 49°34'11" | 564 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | PMT | PMT | MT | PM | PM |
| Conquista | MG | 19°56'14" | 47°32'30" | 673 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - | - | - |
| Iraí de Minas | MG | 18°59'02" | 47°27'41" | 951 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | PM | MT | - | - | PMT | PMT | PMT | MT | PM | PM |
| Sacramento | MG | 19°51'55" | 47°26'24" | 832 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | PM | T | - | - | PMT | PMT | PMT | - | PM | PM |
| São José da Barra | MG | 20°43'05" | 46°18'41" | 730 | LE | - | P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Uberaba-Epamig | MG | 19°44'54" | 47°55'55" | 801 | LA | PMT | PMT | PMT | MT | PM | - | - | - | PMT | PMT | PMT | - | PM | PM |
| Uberaba-Chapadões | MG | - | - | - | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - |
| Unai | MG | 16°21'27" | 46°54'22" | 575 | LE | PMT | PMT | PMT | MT | PM | - | PM | - | - | PMT | PMT | - | PM | PM |
| Chapadão do Sul | MS | 18°47'39" | 52°37'22" | 790 | LE | PMT | PM | PMT | MT | PM | - | - | - | - | PMT | PMT | - | - | - |
| Maracajú | MS | 21°36'52" | 55°10'06" | 384 | LE | PM | PM | PM | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ponta Porã | MS | 22°32'10" | 55°43'32" | 655 | LE | PM | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| São Gabriel do Oeste | MS | 19°23'43" | 54°33'59" | 658 | LA | PM | PM | PM | - | PM | - | - | - | - | MT | PMT | - | - | - |
| Sidrolândia | MS | 20°55'55" | 54°57'41" | 484 | LE | PM | P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sonora | MS | 17°34'37" | 54°45'28" | 442 | LE | - | PM | PMT | MT | - | - | - | - | - | MT | - | - | - | - |
| Campo Novo Parecis | MT | 13°40'31" | 57°53'31" | 572 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Campos de Júlio | MT | 13°53'58" | 59°08'51" | - | LE | - | - | - | MT | PM | - | - | - | - | PMT | PMT | - | - | - |
| Diamantino | MT | 14°24'31" | 56°26'46" | 269 | LA | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - |
| Itiquira | MT | 17°12'32" | 54°09'01" | 522 | LA | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - |
| Lucas do Rio Verde | MT | 13°03'01" | 55°54'40" | 390 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - | - |
| Nova Mutum | MT | 13°49'44" | 56°04'56" | 460 | LA | - | - | - | - | PM | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - |
| Nova Ubiratã | MT | 12°59'26" | 55°15'17" | 400 | RR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | PMT | - | - | - |
| Primavera do Leste | MT | 15°33'32" | 54°17'46" | 465 | LA | - | - | PMT | MT | PM | - | - | - | - | PMT | PMT | - | - | - |
| Sapezal | MT | 12°59'22" | 58°45'51" | 370 | LE | - | PMT | PM | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sorriso | MT | 12°32'43" | 55°42'41" | 365 | LE | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tangará da Serra | MT | 14°37'10" | 57°29'09" | 387 | - | PMT | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tapurah | MT | 12°47'06" | 56°32'30" | 393 | - | - | PMT | PMT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Vilhena | RO | 12°44'26" | 60°08'45" | 600 | - | - | - | MT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Barretos | SP | 20°33'26" | 48°34'04" | 530 | LE | - | P | - | M | P | M | - | - | - | P | P | - | P | P |
| Guairá | SP | 22°19'06" | 48°18'38" | 517 | LE | P | P | P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Igarapava | SP | 20°02'18" | 47°44'49" | 576 | LE | - | P | - | M | P | - | - | - | - | P | P | - | - | - |
| Ituverava | SP | 20°20'22" | 47°46'50" | 605 | LE | - | - | - | - | P | M | - | - | - | - | P | - | - | - |
| Miguelópolis | SP | 20°10'46" | 48°01'55" | 510 | - | - | - | - | - | - | - | P | - | - | - | - | - | - | P |
| Morro Agudo | SP | 20°43'53" | 48°03'28" | 546 | LE | P | P | P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Nuporanga | SP | 20°43'51" | 47°43'50" | 775 | LE | P | P | P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Porto Nacional | TO | 10°42'29" | 48°25'02" | 212 | - | - | - | - | - | - | T | - | - | - | - | - | - | MT | - |

⁽¹⁾LA, Latossolo Amarelo; LE, Latossolo Vermelho-Escuro; RR, Neossolo Regolítico; -, não classificado. ⁽²⁾P, M e T: presença de ensaio no local e ano agrícola do grupo de maturação precoce (P), médio (M) e tardio (T), respectivamente; -, ausência de ensaio no local e ano agrícola. ⁽³⁾Fazenda experimental Coaceral. ⁽⁴⁾Fazenda experimental pamplona. ⁽⁵⁾São Miguel do Araguaia.

et al., 2009). Assim, escolheu-se o local com a menor distância em relação ao genótipo vencedor, no gráfico biplot AMMI₁, ou seja, aquele com a menor diferença entre escores α_{1j} (do local) e γ_{1i} (do genótipo vencedor). Como há diferentes anos de avaliação, o local-chave de um estrato ambiental foi definido como aquele com a menor média dessas distâncias.

No presente estudo, introduziu-se uma adaptação nesse cálculo, tendo-se atribuído pesos distintos (p_t) às análises dos diferentes anos ($t = 1, 2, \dots, q$), conforme a variação associada ao primeiro eixo principal de cada análise (λ_1^2). Assim, a distância média foi obtida pela expressão,

$$\bar{D}_i = \sum_{i=1}^q \left[(\alpha_{1j} - \gamma_{1i})^2 \times p_t \right] / \sum_{t=1}^q p_t,$$

em que: $p_t = (\lambda_1^2) / (SQ_{GA(\text{padrão})})$, cujo denominador representa uma estimativa do padrão da interação GxA em cada análise (Gauch Junior & Zobel, 1997). O procedimento valoriza a capacidade de cada local para melhor classificar os genótipos de desempenho superior numa sub-região homogênea. Assim, a rede experimental a ser priorizada deve ser constituída pelo

local geometricamente mais próximo dos genótipos vencedores, além daqueles que se isolaram em estratos de única localidade.

Resultados e Discussão

A variação de efeitos – principais, de genótipos e de ambientes – foi significativa pelo teste F, em quase todos os conjuntos experimentais (Tabela 3). Os locais participaram da soma de quadrados dos fatores de tratamentos com pelo menos 80% dessa variação. Isto resultou, principalmente, da grande extensão geográfica (12°09'10"S a 22°32'10"S; 44°38'12"W a 60°08'45"W) e das variações de altitude (212 m a 1.017 m) ao longo da rede de ensaios. A altitude é um dos fatores que, isoladamente, mais influencia na interação GxA (Oliveira et al., 2006). A interação GxA foi sempre significativa (Tabela 3), como resultado da resposta diferencial dos genótipos a essa variação ambiental. Logo, para fins de avaliação e recomendação de cultivares, justificou-se a estratificação da região-alvo em sub-regiões mais homogêneas (estratos ambientais).

Com o resultado do teste F_R , houve a necessidade de modelos com quatro ou mais eixos da interação.

Tabela 3. Valores do teste F (Snedecor) quanto aos efeitos principais, efeitos de genótipos (G) e de ambientes (A) e interação GxA, em seis conjuntos experimentais (precoce CV; precoce RR; médio CV; médio RR; tardio CV; e tardio RR), na região do Cerrado, em diferentes anos agrícolas (safra).

| Ciclo | Tipo ⁽¹⁾ | FV | Safrá | | | | | | |
|---------|---------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 2002/2003 | 2003/2004 | 2004/2005 | 2005/2006 | 2006/2007 | 2007/2008 | 2008/2009 |
| Precoce | CV | G | 20,34** | 11,78** | 7,92** | - | 11,57** | - | 9,73** |
| | | A | 142,00** | 259,00** | 115,00** | - | 272,00** | - | 35,40** |
| | | GxA | 2,84** | 3,21** | 2,02** | - | 2,16** | - | 2,84** |
| | RR | G | - | - | 33,00** | 12,20** | 16,33** | - | 12,76** |
| | | A | - | - | 171,00** | 219,40** | 403,00** | - | 82,91** |
| | | GxA | - | - | 2,66** | 3,10** | 3,79** | - | 2,81* |
| Médio | CV | G | 11,88** | 1,69** | 5,31** | 17,00** | 13,77** | 20,12** | 20,48** |
| | | A | 205,00** | 127,00** | 220,00** | 150,00** | 346,00** | 7,42** | 6,32** |
| | | GxA | 2,40** | 1,02 | 1,98** | 2,19** | 3,44** | 34,89** | 13,00* |
| | RR | G | - | - | 17,00** | 16,00** | 18,27** | 6,79** | 20,00** |
| | | A | - | - | 226,00** | 283,00** | 404,00** | 24,63** | 60,00** |
| | | GxA | - | - | 2,53** | 2,79** | 3,44** | 7,99** | 2,80** |
| Tardio | CV | G | 20,70** | 1,77* | 0,68 | 13,44** | - | 24,59** | - |
| | | A | 251,00** | 109,00** | 204,00* | 164,00** | - | 37,16** | - |
| | | GxA | 3,70** | 1,87** | 1,51* | 2,20** | - | 16,50** | - |
| | RR | G | - | 66,52** | 24,00** | 17,37** | 12,12** | 8,78** | - |
| | | A | - | 11,74** | 212,00** | 232,00** | 519,00** | 11,38** | - |
| | | GxA | - | 21,49** | 3,66** | 2,58** | 4,06** | 5,04** | - |

⁽¹⁾CV, soja convencional; e RR, soja transgênica. *, **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Porém, independentemente disso, deu-se preferência às estimativas AMMI₁, seja pelo seu elevado valor preditivo e baixa incorporação de ruídos (Gauch Junior, 1988; Crossa et al., 1991) associados a estratos ambientais mais consistentes, seja para atender às demandas técnica e financeira por reduzido número destes estratos para o desenvolvimento de cultivares e produção de sementes. Por razões semelhantes, modelos com maior número de componentes da interação têm sido preteridos em estudos da interação GxA, em favor da adoção de modelo AMMI₁ (Ebdon & Gauch Junior, 2002; Mortazavian et al., 2014) ou modelo AMMI₂ (Gauch Junior & Zobel, 1996; Ilker et al., 2009).

Com a abordagem adotada, a identificação de estratos ambientais ficou condicionada aos genótipos vencedores nos locais de avaliação. Ressalta-se que alguns locais foram realocados a estratos vizinhos, o que acarretou a substituição do genótipo vencedor por outro de menor desempenho. Essa substituição resultou, quase sempre, em pequena redução (inferior a 2%) da produtividade média dos ambientes para os quais este artifício foi empregado (Figura 1). O artifício é apresentado por Gauch Junior (1992), tendo sido utilizado em outras estratificações ambientais fundamentadas na abordagem de “genótipo vencedor” (Felipe et al., 2010; Mortazavian et al., 2014).

Reduções maiores foram observadas em alguns casos, como Iraí (RR-P-2008/2009, 10,3%), Cristalina (CV-P-2004/2005, 8,3%) e Uberaba-Epamig (CV-M-2006/2007, 5,0%). Contudo, isto ocorreu apenas em um dos anos avaliados, o que foi compensado pelo reconhecimento do padrão de agrupamento dos locais. Segundo Xu et al. (2013), quando são considerados diferentes anos de avaliação, nem sempre ocorrerá o agrupamento consistente dos mesmos locais, em razão das flutuações climáticas, variações de características de solo, tratos culturais, além da substituição natural dos genótipos avaliados. Logo, esses autores defendem o artifício da substituição de genótipos vencedores, dada a possibilidade de se reconhecer o padrão de agrupamento entre alguns locais de avaliação.

Com as alterações necessárias, os resultados de cada ano foram confrontados entre si, o que resultou em duas estratificações ambientais (CV e RR) por ciclo de maturação. As análises com soja de ciclo precoce resultaram em 17 estratos do grupo convencional e 11 estratos do grupo RR (Figura 2). No ciclo médio,

identificaram-se 16 estratos do grupo convencional e 12 do grupo RR (Figura 3). No ciclo tardio, foram identificados 10 estratos do grupo convencional e 9 do grupo RR (Figura 4). Na sequência, estratificações combinadas por grupo de maturação foram produzidas pela confrontação dos dois grupos comerciais, CV e RR.

A consistência dos agrupamentos foi variável, isto é, o número de vezes (anos) em que um local se agrupou com outros variou entre estratos. Iraí e Sacramento foram

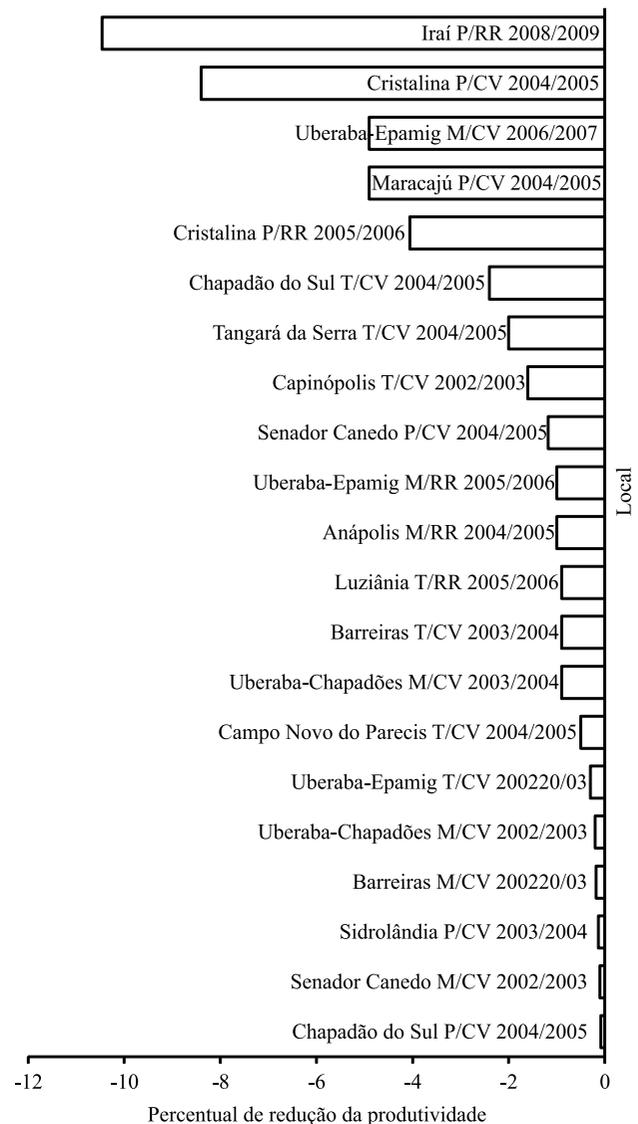


Figura 1. Redução percentual da produtividade de grãos (kg ha^{-1}), resultante da substituição de genótipos vencedores em alguns estratos. Grupos de maturação: P, precoce; M, médio; T, tardio. CV, soja convencional; RR, soja transgênica.

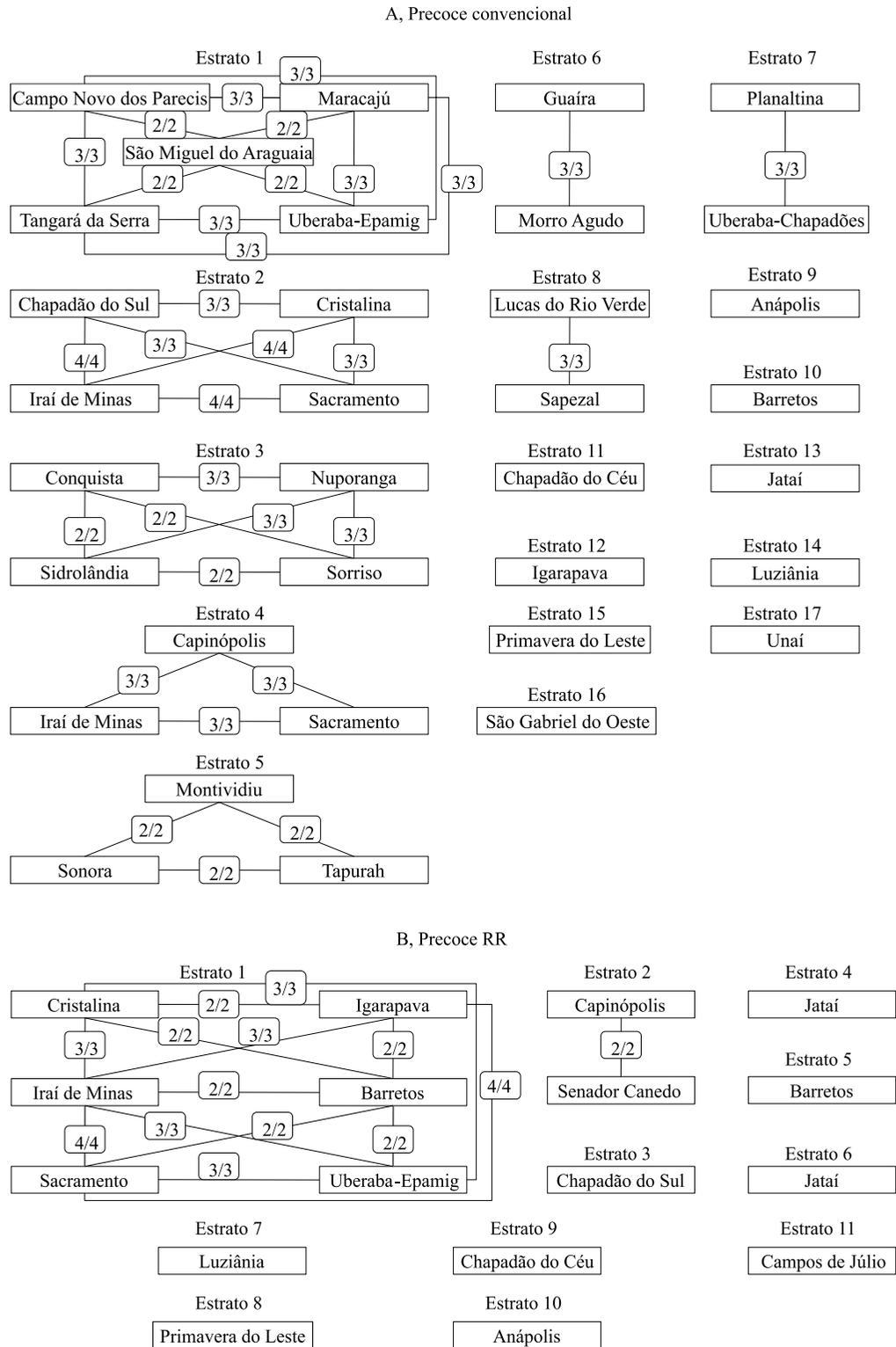


Figura 2. Estratificação da região do Cerrado, para o cultivo de soja convencional e transgênica RR, com ciclo precoce de maturação. Os códigos (como 2/2, 3/3) indicam o número de anos em que o par de locais se agrupou (numerador) relativamente ao número de anos em que estes locais estiveram presentes na rede de ensaios do grupo experimental (denominador).

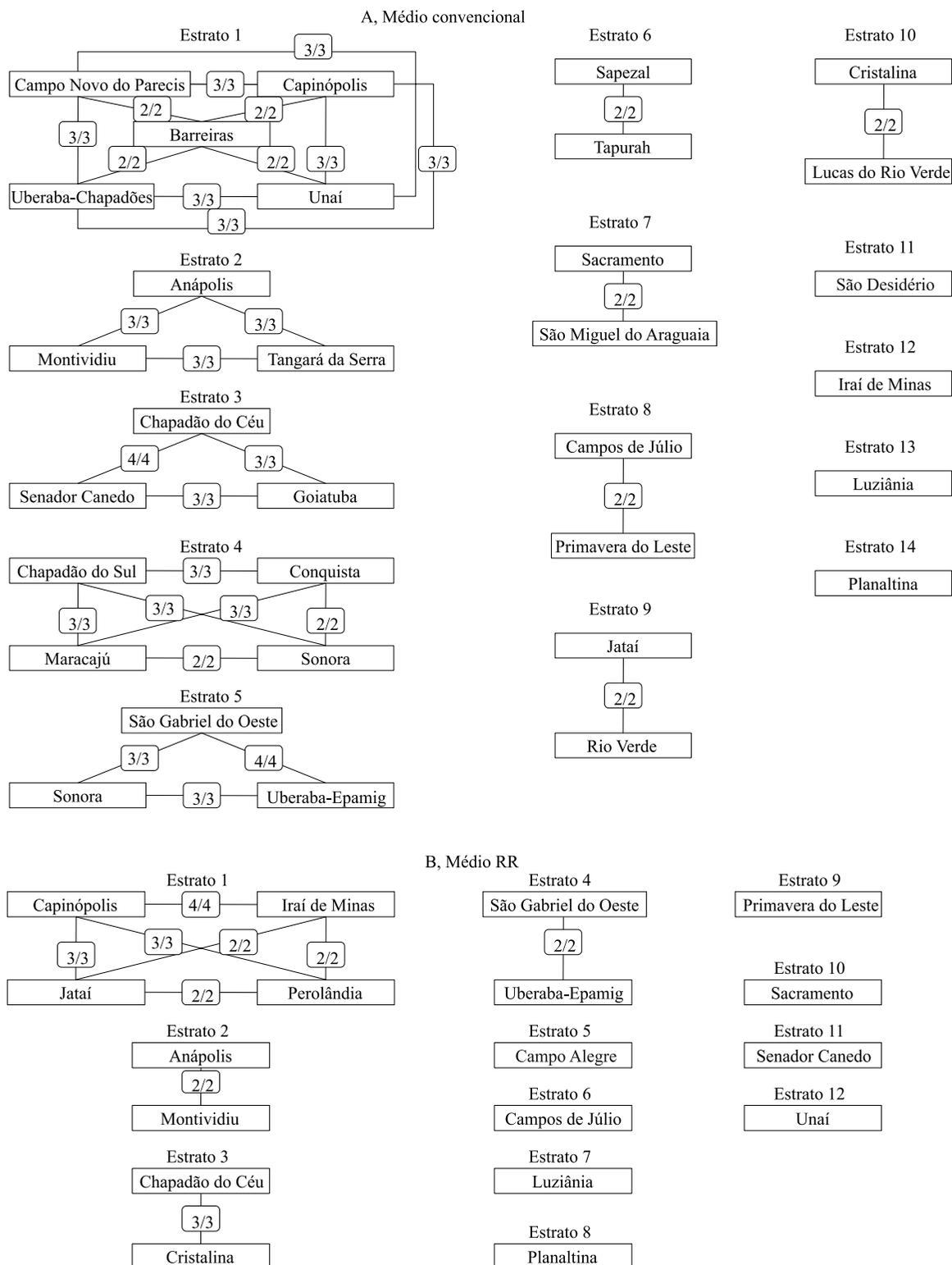


Figura 3 Estratificação da região do Cerrado, para o cultivo de soja convencional e transgênica RR, com ciclo médio de maturação. Os códigos (como 2/2, 3/3) indicam o número de anos em que o par de locais se agrupou (numerador) relativamente ao número de anos em que estes locais estiveram presentes na rede de ensaios de determinado grupo experimental (denominador).

os locais que se agruparam mais consistentemente. Ambos estiveram simultaneamente no mesmo estrato, em cinco anos de avaliação (Figura 4). Entretanto, em alguns casos, os estratos atenderam apenas à condição mínima para agrupamento (2/2). Este foi o caso, por exemplo, de Montividiu, Sonora e Tapurah, no grupo convencional de soja precoce (Figura 2). Mesmo nestes casos, porém, o padrão de agrupamento entre

localidades não deixou de ser reconhecido. Logo, o número de vezes em que os locais se agruparam, no período de avaliação, variou entre os extremos 2/2 e 5/5 (Figuras 2, 3 e 4).

A comparação de resultados parciais, relativos às estratificações para soja convencional e soja transgênica RR, forneceu a estratificação final para cada grupo de maturação (Tabela 4). Assim, a região de cultivo,

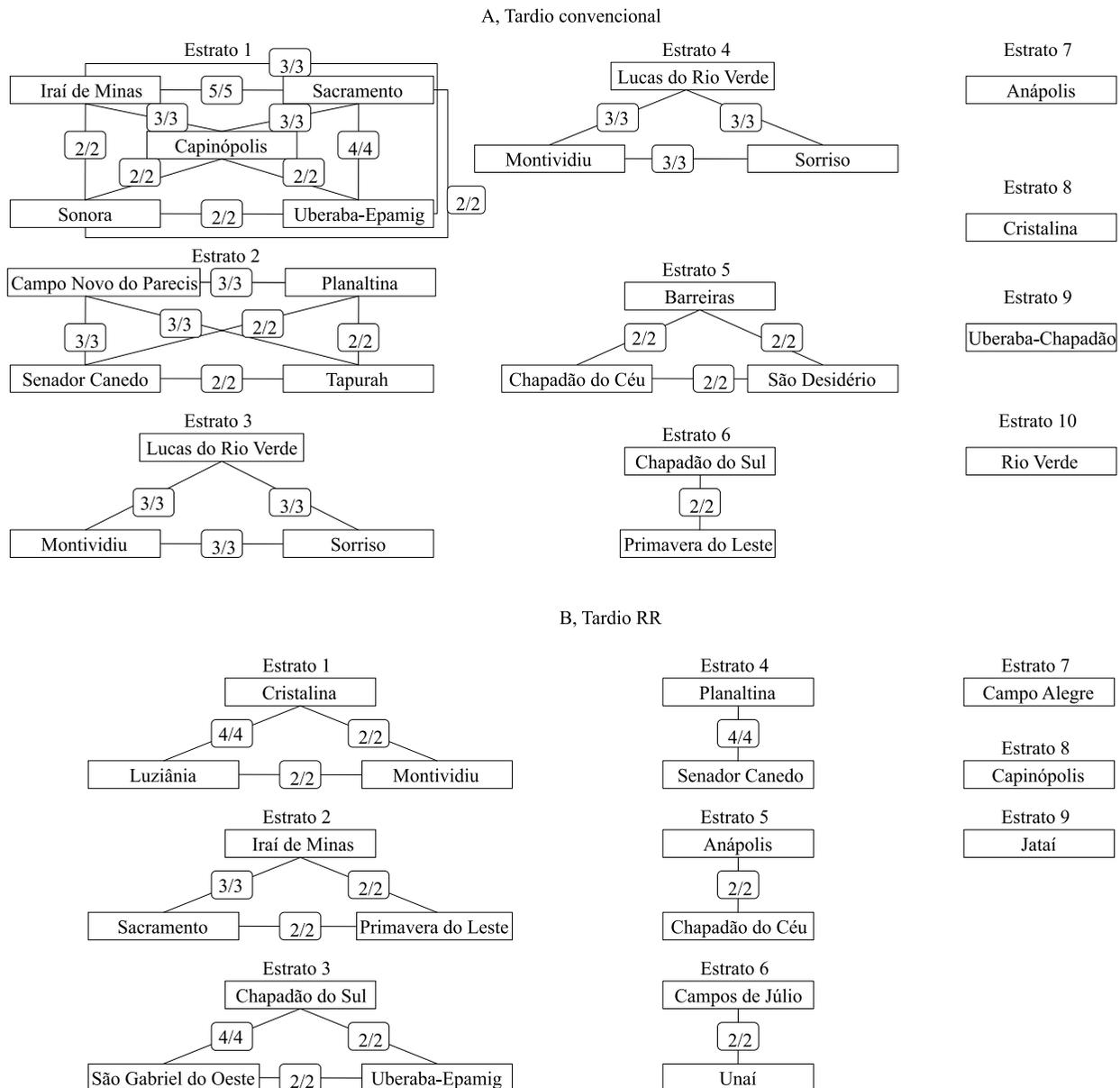


Figura 4. Estratificação da região do Cerrado, para o cultivo de soja convencional e transgênica RR, com ciclo tardio de maturação. Os códigos numéricos (como 2/2, 3/3) indicam o número de anos em que o par de locais se agrupou (numerador) relativamente ao número de anos em que estes locais estiveram presentes na rede de ensaios de determinado grupo experimental (denominador), o que é indicativo da consistência do agrupamento entre localidades.

antes representada pelos locais que permaneceram por dois ou mais anos na rede experimental (35 locais nos grupos de maturação precoce e médio, e 30 locais no grupo tardio), pôde ser dividida em 22 (ciclo precoce), 23 (ciclo médio) e 21 (ciclo tardio) estratos ambientais.

A decisão sobre que locais devem permanecer ou ser eliminados da rede experimental foi feita de acordo com as estimativas da distância média de cada local aos respectivos genótipos vencedores (\bar{D}_j^2). No grupo de soja precoce, a rede experimental pôde ser constituída,

prioritariamente, pelos locais-chave associados aos sete maiores estratos ambientais, além de quinze outros locais que, isoladamente, formaram estratos independentes (Tabela 4). No grupo de ciclo médio de maturação, além dos locais-chave representativos dos quatro maiores estratos, outros dezoito devem ser priorizados, pois representam estratos de local único. Por último, no ciclo tardio de maturação, a rede experimental pôde ser constituída prioritariamente pelos cinco locais-chave identificados nos estratos

Tabela 4. Estratificação da região do Cerrado, para avaliação de linhagens de soja e respectivos locais-chave (em negrito), em cada estrato ambiental de diferentes grupos de maturação.

| Identificação | Grupos de maturação | | | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | Precoce | $(\bar{D}_j^2)_{(1)}$ | Médio | (\bar{D}_j^2) | Tardio | (\bar{D}_j^2) |
| Estrato 1 | Campo Novo do Parecis | 479 | Anápolis | 196,6 | Campo Novo do Parecis | 35,3 |
| | Maracajú | 678 | Montividiu | 190,9 | Planaltina | 181,3 |
| | São Miguel do Araguaia | 381 | Tangará da Serra | 349,4 | Senador Canedo | 437,9 |
| | Tangará da Serra | 478 | - | - | Tapurah | 149,4 |
| Estrato 2 | Conquista | 39 | Barreiras | 33,8 | Iraí | 147,8 |
| | Nuporanga | 17 | Campo Novo do Parecis | 64,6 | Sacramento | 108,3 |
| | Sidrolândia | 8,4 | Uberaba-Chapadões | 234,8 | Sonora | 21,7 |
| | Sorriso | 33 | - | - | - | - |
| Estrato 3 | Cristalina | 168 | Chapadão do Sul | 92,8 | Lucas do Rio Verde | 130,5 |
| | Iraí | 346 | Conquista | 113,2 | Sorriso | 40,2 |
| | Sacramento | 141 | Maracajú | 119,5 | - | - |
| | - | - | Sonora | 154,4 | - | - |
| Estrato 4 | Montividiu | 48 | São Gabriel do Oeste | 431,2 | Goiatuba | 464,5 |
| | Sonora | 44 | Sorriso | 101,6 | Tangará da Serra | 884,3 |
| | Tapurah | 60 | Uberaba-Epamig | 241,1 | - | - |
| Estrato 5 | Capinópolis | 150 | Barretos | - | Barreiras | 412,5 |
| | Senador Canedo | 250 | - | - | São Desidério | 73 |
| Estrato 6 | Guaíra | 67,8 | Campos de Júlio | - | Anápolis | - |
| | Morro Agudo | 52,7 | - | - | - | - |
| Estrato 7 | Lucas do Rio Verde | 477 | Chapadão do Céu | - | Campo Alegre | - |
| | Sapezal | 370 | - | - | - | - |
| Estrato 8 | Anápolis | - | Campo Alegre | - | Campos de Júlio | - |
| Estrato 9 | Barretos | - | Capinópolis | - | Capinópolis | - |
| Estrato 10 | Campos de Júlio | - | Cristalina | - | Chapadão do Céu | - |
| Estrato 11 | Jataí | - | Goiatuba | - | Chapadão do Sul | - |
| Estrato 12 | Luziânia | - | Iraí | - | Cristalina | - |
| Estrato 13 | Primavera do Leste | - | Jataí | - | Jataí | - |
| Estrato 14 | São Gabriel do Oeste | - | Lucas do Rio Verde | - | Luziânia | - |
| Estrato 15 | Unai | - | Luziânia | - | Montividiu | - |
| Estrato 16 | Chapadão do Céu | - | Perolândia | - | Primavera do Leste | - |
| Estrato 17 | Chapadão do Sul | - | Planaltina | - | Rio Verde | - |
| Estrato 18 | Goiatuba | - | Primavera do Leste | - | São Gabriel do Oeste | - |
| Estrato 19 | Igarapava | - | Rio Verde | - | Uberaba-Chapadões | - |
| Estrato 20 | Planaltina | - | Sacramento | - | Uberaba-Epamig | - |
| Estrato 21 | Uberaba-Epamig | - | São Desidério | - | Unai | - |
| Estrato 22 | Uberaba-Chapadões | - | Senador Canedo | - | - | - |
| Estrato 23 | - | - | Unai | - | - | - |

⁽¹⁾Distâncias médias ponderadas ($(\bar{D}_j^2)_{(1)}$), entre escores AMMI₁ de locais e de genótipos vencedores, nos diferentes anos de avaliação.

maiores, mais dezesseis outros, representantes de estratos de locais únicos.

Boa parte dos estratos identificados foi de local único (Tabela 4). Nos ciclos precoce e tardio de maturação, foram dezesseis locais em cada grupo e, no ciclo médio, dezenove. Estes ambientes apresentam propriedades distintas, que os diferenciam dos demais na rede experimental, o que os caracteriza como “locais-chave”. O predomínio destes estratos é indicativo de que a rede de ensaios, utilizada no presente estudo, está relativamente bem planejada. Pacheco et al. (2009) identificaram poucos estratos de única localidade (cinco no grupo precoce e três nos grupos médio e tardio). Logo, nos últimos anos, houve também melhoria da definição dos locais de teste, para avaliação genotípica no âmbito do programa de melhoramento para essa região.

Houve pouca semelhança entre as estratificações obtidas para genótipos de “soja convencional” e “soja transgênica” (Figuras 2 a 4). Isto se manifestou, principalmente, nos casos em que os grupos de locais identificados em um conjunto experimental (como RR) se desfizeram no conjunto recíproco (como CV). Este fato poderia estar associado à interação GxA diferencial nos dois conjuntos, decorrente de patrimônios genéticos distintos e do manejo ambiental diferenciado nos dois sistemas. Entretanto, a resistência ao herbicida glifosato tem controle monogênico, e os programas de desenvolvimento da soja RR geralmente introduzem o gene de resistência em cultivares via retrocruzamentos (Lima et al., 2008). Portanto, é pouco provável que a interação GxA diferencial esteja relacionada a patrimônios genéticos distintos. Em geral, os locais de teste também se agruparam de modo diferente nos três grupos de maturação estudados. A exceção foi Iraí e Sacramento, cuja associação sempre se repetiu nos conjuntos experimentais de maturação precoce e tardia (Figura 2 e 4). Pacheco (2004), que trabalhou apenas com soja convencional, também identificou pouca concordância entre os estratos estabelecidos a partir de ciclos de maturação diferentes (P, M e T). Logo, confirma-se a necessidade de estratificações particulares para cada grupo de maturação. Resultados similares são reportados por Kang et al. (1989) e Oliveira et al. (2006). Segundo estes autores, genótipos de soja com diferentes ciclos de maturação contribuem diferentemente para o montante da interação GxA, principalmente por suas respostas diferenciais ao

fotoperíodo, particularmente se a rede experimental incluir locais com grande distância latitudinal. Embora este seja o caso do presente estudo, não se observou padrão de agrupamento dos locais em função da latitude geográfica.

Em síntese, as estratificações estabelecidas apresentam limitação relativa à falta de espacialidade dos estratos. Apesar de os locais serem referenciados por suas coordenadas geográficas, isto é pouco informativo em razão da falta de limites que lhes atribuam forma e área bem definidas. Assim, para a recomendação de cultivares, isto constitui fator limitante à aplicabilidade das estratificações estabelecidas, as quais são mais efetivas para o planejamento da rede experimental, por meio da identificação de locais redundantes.

O coeficiente de variação experimental (CV) ultrapassou, algumas vezes, o limite estabelecido para o registro de cultivares no Brasil. Dos 559 experimentos analisados, 43 apresentaram valores de CV altos, superiores a 20%. A eliminação de locais redundantes pode também contribuir para a redução do erro experimental (Gauch Junior, 1992), em razão da possibilidade de se concentrar esforços de pesquisa num número menor de experimentos. Com os resultados do presente estudo, é possível a redução de aproximadamente 20% dos experimentos (Tabela 4). Redução de magnitude semelhante (16%) foi proposta por Felipe et al. (2010), em milho, também na região do Cerrado. No presente caso, a redução otimizada se dá pela eliminação dos seguintes locais: Tangará da Serra, Conquista, Nuporanga, Tapurah, Guaíra e Maracajú. Outros locais, nos grupos de maturação precoce (sete locais), médio (seis locais) e tardio (seis locais), ainda podem ser excluídos. Na prática, a eliminação de locais em apenas algum dos grupos de maturação também representa uma oportunidade de otimização da rede experimental. Por exemplo, pode ser necessário avaliar genótipos apenas de ciclo tardio em Campo Novo do Parecis (Tabela 4). Por razões técnicas, qualquer local de um estrato pode ser priorizado a despeito da eliminação ou substituição de outro(s) no mesmo estrato. O uso de critério objetivo, como a menor distância em relação ao genótipo vencedor, representa apenas informação complementar para, juntamente com outros aspectos (como a importância do local no cenário agrícola), auxiliar na decisão de se manter ou não um local na rede de experimentos. Por exemplo, São Miguel do Araguaia (P) e Barreiras (M) poderiam

ser preteridos em relação a Campo Novo do Parecis, cuja maior área de plantio comercial e respectiva produção de soja podem justificar a sua preferência como local-chave para essa região.

Conclusões

1. A estratificação da região do Cerrado, para a avaliação de genótipos de soja, está condicionada ao grupo de maturação das cultivares, com sete conjuntos de locais homogêneos no grupo precoce, quatro no grupo médio e cinco no grupo tardio.

2. É possível uma redução otimizada do tamanho da rede de ensaios de soja, na região do Cerrado, de cerca de 20%, pela eliminação ou substituição dos locais Tangará da Serra, Conquista, Nuporanga, Tapurah, Guaira e Maracajú.

3. A rede de ensaios de VCU, atualmente estabelecida para avaliação de genótipos de soja na região do Cerrado, está bem definida, haja vista a predominância de estratos ambientais de única localidade.

Agradecimentos

À Embrapa Cerrados, pela cessão dos dados experimentais; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa; e aos doutores Lázaro José Chaves e Patrícia Santos de Mello, pelas sugestões ao artigo.

Referências

- ALLIPRANDINI, L.F.; TOLEDO, J.F.F. de; FONSECA JUNIOR, N.; ALMEIDA, L.A. de; KIIHL, R.A. de S. Efeitos da interação genótipos x ambiente sobre a produtividade da soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1433-1444, 1994.
- BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D.; TEIXEIRA, R. de C.; REIS, M.S. Análise de adaptabilidade e estabilidade em soja (*Glycine max* L.) em Mato Grosso. **Ambiência**, v.6, p.75-88, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja (*Glycine max*), para a inscrição no registro nacional de cultivares – RNC**. Brasília: MAPA, 1998. 7p.
- CORNELIUS, P.L.; SEYEDSADR, M.; CROSSA, J. Using the shifted multiplicative model to search for “separability” in crop cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.84, p.161-172, 1992. DOI: 10.1007/BF00223996.
- CROSSA, J.; FOX, P.N.; PFEIFFER, W.H.; RAJARAM, S.; GAUCH JUNIOR, H.G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, v.81, p.27-37, 1991. DOI: 10.1007/BF00226108.
- EBDON, J.S.; GAUCH JUNIOR, H.G. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: II cultivar recommendations. **Crop Science**, v.42, p.497-506, 2002. DOI: 10.2135/cropsci2002.0497.
- FELIPE, C.R. de P.; DUARTE, J.B.; CAMARANO, L.F. Estratificação ambiental para avaliação e recomendação de variedades de milho no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.186-199, 2010. DOI: 10.5216/pat.v40i2.6158.
- GAUCH JUNIOR, H.G. Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics**, v.44, p.705-715, 1988. DOI: 10.2307/2531585.
- GAUCH JUNIOR, H.G. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**. New York: Elsevier, 1992. 278p.
- GAUCH JUNIOR, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trial. In: KANG, M.S.; GAUCH JUNIOR, H. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRS Press, 1996. p.85-122. DOI: 10.1201/9781420049374.ch4.
- GAUCH JUNIOR, H.G.; ZOBEL, R.W. Identifying mega-environments and targeting genotypes. **Crop Science**, v.37, p.311-326, 1997. DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x.
- ILKER, E.; TONK, F.A.; ÇAYLAK, O.; TOSUN, M.; OZMEN, I. Assessment of genotype x environment interactions for grain yield in maize hybrids using AMMI and GGE biplot analyses. **Turkish Journal of Field Crops**, v.14, p.123-135, 2009.
- KANG, M.S.; HARVILLE, B.G.; GORMAN, D.P. Contribution of weather variables to genotype x environment interaction in soybean. **Field Crops Research**, v.21, p.297-300, 1989. DOI: 10.1016/0378-4290(89)90011-7.
- LIMA, W.F.; PÍPOLO, A.E.; MOREIRA, J.U.V.; CARVALHO, C.G.P. de; PRETE, C.E.C.; ARAIS, C.A.A.; OLIVEIRA, M.F. de; SOUZA, G.E. de; TOLEDO, J.F.F. de. Interação genótipo-ambiente de soja convencional e transgênica resistente a glifosato, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.729-736, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000600009.
- MORTAZAVIAN, S.M.M.; NIKKHAH, H.R.; HASSANI, F.A.; SHARIF-AL-HOSSEINI, M.; TAHERI, M.; MAHLOOJI, M. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.16, p.609-622, 2014.
- NEGASH, A.W.; MWAMBI, H.; ZEWOTIR, T.; TAYE, G. Additive main effects and multiplicative interactions model (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of multi-environmental wheat variety trials. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, p.1033-1040, 2013. DOI: 10.5897/AJAR2012.6648.
- OLIVEIRA, A.B. de; 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**, v.6, p.79-86, 2006. DOI: 10.12702/1984-7033.v06n01a11.

PACHECO, R.M. **Estratificação de ambientes em cerrados do Brasil Central para fins de seleção e recomendação de cultivares de soja**. 2004. 173p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PACHECO, R.M.; DUARTE, J.B.; SOUZA, P.I.M. de; SILVA, S.A. da; NUNES JÚNIOR, J. Key locations for soybean genotype assessment in central Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.478-486, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000500007.

XU, N.-Y.; FOK, M.; ZHANG, G.-W.; LI, J.; ZHOU, Z.-G. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. **Journal of Integrative Agriculture**, v.1, p.1275-1294, 2013. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60656-5.

YAN, W.; KANG, M.S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P.L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. **Crop Science**, v.47, p.643-653, 2007. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0374.

Recebido em 14 de abril de 2014 e aprovado em 23 de setembro de 2014