



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

**ZONEAMENTO PARA USO DECULTIVARES  
DE SOJA NO BRASIL CONFORME  
O GRUPO DE MATURAÇÃO**

LENIO URZEDA FERREIRA

Orientador:  
Prof. João Batista Duarte

Outubro –  
2018

Versão Preliminar

---

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:  Dissertação  Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Lenio Urzeda Ferreira

Título do trabalho: “ZONEAMENTO PARA USO DE CULTIVARES DE SOJA NO BRASIL CONFORME O GRUPO DE MATURAÇÃO”

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento  SIM  NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

---

Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:

---

Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

---

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

LENIO URZEDA FERREIRA

**ZONEAMENTO PARA USO DE CULTIVARES  
DE SOJA NO BRASIL CONFORME  
O GRUPO DE MATURAÇÃO**

Tese 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 Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientador:  
Prof. Dr. João Batista Duarte

Goiânia, GO – Brasil

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Urzeda Ferreira, Lenio

Zoneamento para uso de cultivares de soja no Brasil conforme o  
grupo de maturação [manuscrito] / Lenio Urzeda Ferreira. - 2018.  
70, LXX f.: il.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Duarte.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de  
Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), Programa de Pós  
Graduação em Genética & Melhoramentos de Plantas , Goiânia, 2018.  
Bibliografia. Apêndice.  
Inclui abreviaturas.

1. Glycine max. 2. maturação relativa. 3. regionalização. 4. adaptação. 5.  
regressão-krigagem. I. Batista Duarte, João, orient. II. Título.

CDU 633

ATA DE DEFESA

Versão Preliminar

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Denilson Batista Ferreira e Maria Aparecida Urzeda Ferreira, e aos irmãos Wilker Urzeda Ferreira e Denny Ruyter Urzeda Ferreira, pelo apoio durante toda minha vida acadêmica;

À Áthina Bárbara Medeiros e Souza, pelo companheirismo, paciência e apoio;

À Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico e científico;

Aos professores Dra. Patrícia Guimarães Santos Melo, Dr. Alexandre Siqueira Guedes Coelho, Dr. Lázaro José Chaves, Dr. Sérgio Tadeu Sibov, Dr. Evandro Novais, Dra. Leila Garcês de Araujo, Dr. Cláudio Brondani, Dra. Rita Maria Devós Ganga e Dra. Marcela Pedroso Mendes Resende, pelos valiosos ensinamentos durante o curso;

Ao orientador prof. Dr. João Batista Duarte, por todo o apoio, confiança, dedicação, paciência e ensinamentos;

À BASF S.A., pela autorização de uso dos dados experimentais para realização deste estudo e pela oportunidade de colaborar cientificamente para o desenvolvimento da agricultura brasileira;

Aos companheiros de trabalho e amigos de Sinop-MT, Anderson Rigo, Júlio Chinaglia, Rafael Moura, Gustavo Natali, Adair Silva, Flávio Burkhardt, Luciano Bulhão, Juliana Mantovani e Dr. Franco Muniz, pelo companheirismo e apoio;

Aos membros da Banca examinadora, pela disponibilidade e flexibilidade para a avaliação desta tese.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUÇÃO .....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 CULTIVARES DE SOJA: GRUPOS DE MATURAÇÃO E ZONAS DE ADAPTAÇÃO .....	13
2.2 ESTRATIFICAÇÕES AMBIENTAIS PARA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA.....	15
2.3 GRUPOS DE MATURAÇÃO E SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM SOJA.....	18
2.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA: DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E GRUPOS DE MATURAÇÃO.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 INFORMAÇÕES EXPERIMENTAIS .....	21
3.2 ESTIMAÇÃO DO GRUPO DE MATURAÇÃO RELATIVA DAS CULTIVARES .....	22
3.3 DEFINIÇÃO DO GRUPO DE MATURAÇÃO RELATIVA MAIS ADAPTADO A CADA LOCALIDADE .....	24
3.3.1 Adaptação produtiva específica por local .....	24
3.3.2 Adaptação produtiva específica por local e safra .....	25
3.4 REGIONALIZAÇÃO DA MATURAÇÃO RELATIVA DE CULTIVARES PARA A MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE .....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 ABORDAGEM ESTÁTICA DA ADAPTAÇÃO PRODUTIVA .....	29
4.2 ABORDAGEM DINÂMICA DA ADAPTAÇÃO PRODUTIVA .....	39
5 CONCLUSÕES .....	45
6 REFERÊNCIAS .....	46
APÊNDICES .....	54

## RESUMO

FERREIRA, L. U. Zoneamento para uso de cultivares de soja no Brasil conforme o grupo de maturação. 2018. 70 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.<sup>1</sup>

Devido à sensibilidade da soja às variações ambientais, sobretudo à temperatura e ao fotoperíodo, o desenvolvimento e a recomendação de cultivares devem ser regionalizados mediante agrupamentos ambientais ou zonas. Neste estudo objetivou-se: i) compreender os níveis adaptativos da soja, por grupo de maturação, ao longo das regiões de cultivo no Brasil; ii) elaborar um mapa de recomendação de cultivares de soja, em conformidade com o grupo de maturação, visando otimizar a produtividade da cultura; e iii) entender, em nível espaço-temporal, as variações adaptativas das cultivares, conforme o grupo de maturação. Foram utilizadas informações provenientes de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), conduzidos em 175 localidades, ao longo das safras agrícolas de 2013/14 a 2016/17. Os ensaios foram distribuídos em todas as macrorregiões produtoras de soja do país. Os genótipos avaliados foram agrupados em intervalos de maturação relativa, sendo destacada a maturação média do agrupamento de genótipos mais produtivos, como referência para cada localidade. Então, utilizou-se o método de regressão-krigagem para a espacialização das maturações relativas associadas às cultivares com maior adaptação produtiva. Uma análise espaço-temporal foi realizada objetivando constatar possíveis tendências adaptativas diferenciadas das cultivares, conforme os grupos de maturação relativa, ao longo das safras. Os resultados indicaram que, conforme o grupo de maturação das cultivares, estas apresentam diferentes níveis de adaptação produtiva, em cada região geográfica de cultivo. Ademais, no que tange à adaptação produtiva, cultivares com maturação mais precoces (pertencentes a grupos de menor maturação – e.g., 5.5 a 6.5) mostraram-se mais adaptadas às regiões de maiores latitudes, enquanto aquelas de grupos de maior maturação adaptaram-se mais às latitudes menores. Em geral, conforme os grupos de maturação, os níveis adaptativos das cultivares têm apresentado variações em função do tempo, de modo a favorecer cultivares mais precoces em regiões de menor latitude. A adaptação de cultivares mais tardias, com grupos de maturação entre 8.5 e 9.5, tem se retraído ao extremo norte do Brasil. Na região subtropical constataram-se discretas variações temporais dos níveis adaptativos das cultivares. No entanto, na região tropical, variações temporais consideráveis foram observadas, sobretudo no sentido de favorecer as cultivares mais precoces. A latitude e a altitude mostraram ser fatores preponderantes na definição da adaptação produtiva das cultivares, sendo que a influência da altitude promove discretas deflexões nas zonas de adaptação determinadas pela latitude, favorecendo a adaptação produtiva de cultivares mais precoces em locais de maior elevação.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, maturação relativa, regionalização, adaptação produtiva, regressão-krigagem.

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

## ABSTRACT

FERREIRA, L. U. Soybean cultivar zoning in Brazil according the maturity group. 2018. 70 p. Thesis (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.<sup>2</sup>

Due to the sensitivity of soybeans to environmental variations, especially to the temperature and photoperiod, the development and recommendation of cultivars need to be regionalized through environmental groupings or zones. The objectives of this study were: i) to understand the adaptative levels of soybean by maturation group, over the cropping regions in Brazil; ii) to prepare a recommendation map of soybean cultivars, according to their maturity groups, in order to optimize the grain yield; and iii) to understand the spatio-temporal adaptative variations of the cultivars according their relative maturity groups. Data from variety trials, named in Brazil as “value for cropping and use” (VCU) trials, conducted in 175 locations, at growing seasons from 2013/14 to 2016/17, were used. The trials were distributed in all the soybean producing regions of the country. The assessed genotypes were grouped in ranges of relative maturation, being outstood the midpoint of maturation of the most yield genotypic group as a reference for each location. Then, the regression-kriging method was used for the spatialization of the relative maturities associated to the cultivars with higher yield adaptation. A spatio-temporal analysis was performed aiming to verify possible adaptative differentiated trends of the cultivars, according to the relative maturation groups, over the cropping seasons. The results showed that soybean cultivars, according to their relative maturation, present different yield adaptative levels in each geographical cropping region. In addition, concerning the yield adaptation, the cultivars with earlier maturation (belonging to lower maturity groups – e.g., 5.5 to 6.5) showed to be more suited to regions of high latitudes, while those of higher relative maturity groups were more suited to lower latitude regions. In general, according to the maturity groups, the yield adaptative levels of the cultivars have presented variations as a function of time, in order to favor earlier cultivars in regions of lower latitude. The adaptation of late cultivars, with relative maturity between 8.5 and 9.5, has retreated to the extreme north of Brazil. In the subtropical region discrete temporal variations of the adaptative levels of the cultivars were verified. However, in the tropical region, considerable temporal changes were observed, mainly in favor of the earlier cultivars. Latitude and altitude were the predominant factors in the definition of yield adaptation of the cultivars, and the influence of altitude promotes discrete deflections in the adaptative zones determined by latitude, favoring the yield adaptation of earlier cultivars in higher elevation locations.

Keywords: *Glycine max*, relative maturity, zoning, yield adaptation, regression-kriging.

---

<sup>2</sup> Advisor: Prof. Dr. João Batista Duarte. EA – UFG.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de soja no mundo, representando, na safra 2016/2017, mais de 30% da produção mundial (USDA, 2018). A área cultivada com soja no país totaliza, aproximadamente, 33 milhões de hectares, com acréscimo superior a dez milhões de hectares entre 2010 a 2017 (Conab, 2018). O aumento contínuo da área cultivada é devido, principalmente, aos avanços no manejo cultural e ao melhoramento genético visando à adaptação a regiões de baixas latitudes, sobretudo no Cerrado brasileiro.

Atualmente, a produção de soja abrange praticamente todas regiões e estados brasileiros, resultando em elevada diversidade ambiental para cultivo. Esse cultivo atinge extensões territoriais com amplitude superior a 30° de latitude, sob inúmeras condições edafoclimáticas. Devido à sensibilidade fenotípica da soja às variações ambientais, sobretudo à temperatura e ao fotoperíodo, o desenvolvimento e a recomendação de cultivares são regionalizados mediante agrupamentos ambientais. Além disso, a disponibilidade hídrica é fator preponderante no rendimento da cultura, sendo apontado como o principal fator responsável pelas variações de produtividade em nível intrarregional (Sentelhas et al., 2015). Assim, faz-se necessário compreender a capacidade adaptativa das cultivares, regionalmente, conforme características, direta ou indiretamente, influenciadas pelo grupo de maturação.

Mediante seleção de cultivares menos sensíveis a variações fotoperiódicas, foi possível a adaptação da cultura da soja a regiões de baixa latitudes, principalmente abrangendo as áreas sob vegetação de Cerrado (Destro et al., 2001). Entretanto, a introgressão dessa característica no germoplasma comercial resultou, inicialmente, no aumento do ciclo das cultivares voltadas para regiões de expansão agrícola, até então, compreendidas como áreas de baixa fertilidade e com nível tecnológico reduzido. Ao longo dos anos, com a elevação do nível de tecnologia, sobretudo em relação ao manejo cultural, correção de fertilidade de solos e zoneamento agroclimático, foi possível o uso de cultivares mais precoces e mais responsivas a melhorias ambientais. Além disso, a possibilidade do

cultivo de uma segunda safra ou “safrinha” tem resultado em maior demanda por cultivares precoces de soja.

Atualmente, os sistemas de produção soja/milho e soja/algodão têm demandado a redução da permanência da cultura da soja no campo, objetivando ajustar épocas de plantio para otimização da produtividade e redução do risco do cultivo subsequente. Isso também permite redução de custos com manejo fitossanitário e entrega antecipada da soja no mercado, o que pode resultar em melhores rendimentos financeiros. Contudo, o uso de cultivares mais precoces de soja, bem como as recomendações e ajustes fitotécnicos associados, requer definição criteriosa para que isto não resulte em redução da estabilidade das cultivares e, consequente, elevação dos riscos associados à atividade de produção.

Nos últimos anos, a adoção de cultivares de soja mais precoces tem sido generalizada, apesar das dificuldades para sua recomendação fitotécnica em regiões que, até então, apresentavam restrições ao uso de cultivares de grupos de maturação específicos (Alliprandini et al., 2009). Nesse contexto, inúmeros esforços têm sido aplicados em programas de melhoramento para a seleção de linhagens mais precoces, estáveis e produtivas. Diante disso, é plausível considerar para a seleção de novas cultivares, não apenas a produtividade, mas, principalmente, o ciclo e, ou, a combinação destes caracteres.

A introgressão do tipo de crescimento indeterminado, inicialmente na Região Sul do Brasil e, recentemente, na região do Cerrado, tem possibilitado a obtenção de cultivares mais estáveis à variação na densidade e época de plantio. Adjacentemente, cultivares de soja com arquitetura ramificada têm sido preferíveis devido à suposta plasticidade fenotípica, mesmo sob populações reduzidas. Nota-se, então, que os atributos agronômicos das cultivares comerciais têm-se moldado a sistemas agrícolas mais eficientes, com redução da permanência da cultura no campo e elevação ou manutenção dos níveis produtivos.

Segundo Sentelhas et al. (2015), as principais causas de redução da produtividade de soja no Brasil são decorrentes do estresse hídrico e de deficiências no manejo cultural. Considera-se, ainda, a recomendação inadequada de cultivares como uma importante causa de quebra na produção, principalmente no que tange aos limites de maturação relativa e adaptação, interpostos pelos intervalos de latitude, bem como suas relações com população e época de cultivo. Características edáficas também podem ser

importantes para a adaptação de cultivares, sobretudo em relação à textura, disponibilidade hídrica/drenagem e composição química do solo.

Devido à sensibilidade fotoperiódica da soja, comumente recomendam-se estratificações de grupos de maturação em função da latitude, o que é definido pelo padrão fotoperiódico da região de cultivo e, por consequência, sugere a extensão de adaptação e uso de cada cultivar (Penariol, 2000; Zhang et al., 2007; Alliprandini et al., 2009; Mourtzinis & Conley, 2017). Contudo, a latitude por se não é suficiente para representar as regiões de adaptação de cada grupo de maturação ao longo das regiões de cultivo; pois, nesse caso, não são consideradas as predominâncias edáficas e climáticas, as quais estão associadas, anisotropicamente, à longitude e altitude (Fritzsons et al., 2008).

Atualmente, um dos sistemas mais utilizados para a definição de grupos de maturação em soja consiste na avaliação do ciclo de cultivares com maturação já conhecida, associada ao uso de regressão para estimar a maturação de novas cultivares. Nesse caso, assume-se que há uma relação linear entre o ciclo, em dias, e a maturação relativa; considerando-se uma escala de zero a dez, sendo zero o mais precoce e dez o mais tardio (Boerma & Specht, 2004). Admite-se, ainda, que não há respostas diferenciais entre cultivares do mesmo grupo, em função da latitude (Alliprandini et al., 2009). Contudo, inúmeros fatores ambientais podem influenciar essa maturação, tais como temperatura, umidade do ar, umidade do solo, fotoperíodo, intensidade luminosa, entre outros.

A resposta de um genótipo de soja ao fotoperíodo, à temperatura e à pluviosidade compreende um dos aspectos mais importantes para a seleção e recomendação de cultivares adaptadas. Entre estes fatores, o fotoperíodo e a temperatura são os que apresentam maior influência direta sobre a progressão dos estádios fenológicos da soja ao longo do cultivo (Camara et al., 1997; Setiyono et al., 2007). Assumindo-se que os fatores temperatura e fotoperíodo podem ser influenciados, não apenas pela latitude, mas, sobretudo no caso da temperatura, também pela longitude (Miladinovic et al., 2006) e altitude (Basnet et al., 1974; Sinclair et al., 2005), é essencial que os efeitos de suas interações sejam mais bem compreendidos, ao longo da ampla diversidade de ambientes de cultivo dessa espécie. Além disso, devido a essa diversidade climática, é inevitável que se adotem diferentes épocas de semeadura, as quais coincidem, normalmente, com os períodos de maior pluviosidade. Essas diferentes épocas de plantio são preponderantes para a definição dos

padrões ambientais de cultivo da soja, no que tange à disponibilidade hídrica, térmica e luminosa.

Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo: (i) compreender os níveis adaptativos da soja, por grupo de maturação, ao longo das regiões de cultivo no Brasil, bem como investigar o efeito de variáveis ambientais sobre essa adaptação; (ii) elaborar um mapa de recomendação de cultivares de soja, em conformidade com o grupo de maturação, visando otimizar a produtividade de grãos nestas regiões; e (iii) entender, em nível espaço-temporal, as variações adaptativas das cultivares, conforme o grupo de maturação, ao longo das regiões produtoras de soja no país.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTIVARES DE SOJA: GRUPOS DE MATURAÇÃO E ZONAS DE ADAPTAÇÃO

No Brasil, por muitos anos, o ciclo de cultivares de soja foi classificado como precoce, médio e tardio. Então, com a notável dificuldade de discriminação do ciclo das cultivares, mediante esses únicos grupos, adotou-se níveis intermediários, como superprecoce e semitardio (Embrapa, 2000). Utilizando-se destas designações foi possível distinguir e recomendar cultivares, assim como predizer o ciclo de cada grupo em determinada localidade ou microrregião. Contudo, esses grupos são variáveis ao longo das regiões de cultivo. Por exemplo, quando se utiliza uma cultivar de ciclo médio em menores latitudes, esta pode apresentar ciclo similar a uma precoce. Com a expansão da cultura para novas regiões, impondo a cada ano novas fronteiras agrícolas, as definições de ciclos superprecoce, precoce, médio, semitardio e tardio tornaram-se, inevitavelmente, inaplicáveis; pois, são inconsistentes ao longo dos ambientes, sobretudo quando há grande variação em latitude na região de cultivo.

A partir da elaboração e adoção de um sistema de classificação de grupos de maturação em soja, pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), inicialmente com sete grupos – MG I a MG VII (Morse et al., 1949)<sup>3</sup>, a concepção de recomendação de cultivares foi modernizada, tomando abrangência global. Contudo, com o desenvolvimento de cultivares mais precoces, sobretudo no norte dos EUA e Canadá, grupos mais precoces foram criados (MG 0, MG 00, MG 000). Com a expansão de cultivos para regiões tropicais, como na América do Sul e África, houve a necessidade de incluir grupos mais tardios (Hartwig, 1973). Assim, novos grupos foram adicionados ao sistema, resultando em treze grupos (Liu et al., 2017). Esse sistema norte-americano tem sido utilizado por número crescente de programas de melhoramento de soja, substituindo,

---

<sup>3</sup> MG: abreviação de “Maturity Group”, em inglês.

gradualmente, o sistema utilizado anteriormente no Brasil (Abdurakhmonov & Abdulkarimov, 2008).

Diante da necessidade de aumentar a capacidade de discriminação das cultivares, conforme o número de dias do ciclo decorridos até à maturação, assim como estabelecer uma relação quantitativa entre o ciclo completo e a maturação relativa, a escala de maturação foi reajustada. Assim, a escala assumiu números arábicos e proporções decimais, como exemplo, o grupo de maturação de uma cultivar do grupo VII, tornou-se 7.0; de modo que, maturações intermediárias entre grupos também puderam ser representadas (ex. 7.5; 8.2 etc.). No Brasil, atualmente, essa escala de maturação é amplamente utilizada para o posicionamento e recomendação de cultivares, bem como para previsão do ciclo da cultura; além de ser utilizado como descritor agronômico voltado à diferenciação de cultivares.

A previsibilidade do avanço da cultura da soja ao longo dos estádios fenológicos é imprescindível para a definição e adoção de eficientes estratégias de manejo e sistema de produção; sobretudo, no que tange ao planejamento de operações agrícolas, manejo fitossanitário e comercialização. Além disso, as datas de florescimento e de maturação são importantes caracteres que determinam a extensão geográfica de adaptação de uma cultivar. Logo, são imprescindíveis no processo de introdução de cultivares e para o seu registro de uso. Assim, no Brasil e nos demais países de maior expressão agrícola, cultivares de soja têm sido predominantemente classificadas nesses treze grupos de maturação relativa – GMR (Fehr, 1987; Boerma & Specht, 2004; Alliprandini et al., 2009).

No Brasil, inicialmente foram introduzidos genótipos provenientes de latitudes mais baixas dos EUA, nas regiões de latitude mais elevadas do país (Região Sul), principalmente nas imediações do Trópico de Capricórnio (23°27'S). Para a adaptação nas Regiões Norte e Nordeste, buscou-se, principalmente, o desenvolvimento de genótipos com a característica de período juvenil longo (PJL), devido às limitações no porte e produtividade de cultivares subtropicais, quando cultivadas em baixas latitudes (Paludzyszyn Filho et al., 1993; Campelo et al., 1999). Combinações de genes que expressam florescimento tardio em condições de dias curtos, longo período juvenil, foram identificadas em cultivares recomendadas para o sul do Brasil, bem como em linhagens provenientes do leste asiático. Assim, o melhoramento genético envolvendo esses materiais permitiu a ascensão do cultivo de soja para a região do Cerrado (Kiihl & Garcia, 1989;

Specht et al., 2014). Sendo a soja uma espécie de dias curtos, a sensibilidade ao fotoperíodo é um dos principais entraves à obtenção de cultivares de ampla adaptação.

Quando a soja é cultivada em condições de baixa latitude, o florescimento é induzido precocemente, resultando em plantas baixas, com produtividade drasticamente reduzida (Carpentieri-Pípolo et al., 2000); pois, a duração dos estádios fenológicos em soja é dependente, essencialmente, do fotoperíodo e da temperatura (Spehar et al., 1993; Kantolic, 2008). As respostas fenotípicas a esses fatores são variáveis entre cultivares (Setiyono et al., 2007) e definem as suas regiões ótimas de adaptação, épocas e densidades adequadas de semeadura.

## 2.2 ESTRATIFICAÇÕES AMBIENTAIS PARA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA

Originalmente, a soja era uma espécie de dias curtos com restrita adaptação a regiões tropicais. Ao longo do processo de seleção e melhoramento genético voltado à adaptação de cultivares a climas tropicais, foi possível a obtenção de rendimentos razoáveis até mesmo em baixas latitudes. Em decorrência do valor econômico e da consequente disseminação da cultura em diversas regiões, a soja foi adaptada a variados ambientes, cujas condições de fotoperíodo e temperatura distinguem, consideravelmente, das regiões de origem e domesticação da espécie (*Glycine max (L.) Merrill*) (Spehar, 1995; Sinclair et al., 2005).

Devido à elevada responsividade da soja a variações ambientais, principalmente a fatores como temperatura, fotoperíodo, intensidade luminosa e disponibilidade hídrica, bem como a fatores edáficos, as cultivares apresentam diferentes regiões ótimas de adaptação (Zdziarski et al., 2018). Nesse sentido, um dos principais caracteres inerentes às cultivares e que condiciona sua adaptabilidade é o grupo de maturação (Jiang et al., 2014). Segundo Cober & Morrison (2010), a variação genética associada à fotossensibilidade e ao tipo de crescimento definem, majoritariamente, a maturação em soja, com efeitos pleiotrópicos na produtividade e em outros caracteres agronômicos, sobretudo altura de planta e suscetibilidade ao acamamento. Assim, essa responsividade desempenha importante papel na adaptação de cultivares em diferentes latitudes.

A dinâmica do processo de crescimento e desenvolvimento da cultura da soja é intensamente afetada pelas complexas interações entre temperatura e fotoperíodo (Cober et al., 2001). Entretanto, esse processo pode ser razoavelmente prevido conhecendo-se o grupo de maturação de cada cultivar, quando utilizada em determinada região. O comprimento do estágio vegetativo é significativamente afetado pelo fotoperíodo (Raper & Thomas, 1978; Hadley et al., 1984; Setiyono et al., 2007), assim, a adaptação de uma cultivar depende essencialmente do ajuste entre o comprimento do período juvenil e a ocorrência do fotoperíodo crítico na região de cultivo. Desse modo, uma cultivar adaptada apresenta porte razoável, compatível com elevados níveis de produtividade, e padrão agronômico ajustado ao manejo cultural. Evita-se, então, a ocorrência de plantas de porte excessivo, com elevada tendência ao acamamento, ou plantas muito baixas, com poucos nós produtivos, baixa inserção de vagens e difícil colheita.

Incialmente, Scott & Aldrich (1970) propuseram uma regionalização hipotética, baseada em grupos de maturação, para recomendação de cultivares de soja nos EUA e sul do Canadá. A proposta incluía desde o grupo de maturação 00, recomendado para o norte, até o grupo VIII, recomendado para o extremo sul dos EUA. Posteriormente, Zhang et al. (2007) elaboraram um mapeamento para recomendar cultivares de soja nos EUA, conforme os intervalos de grupo de maturação relativa e a latitude. Neste caso, recomendaram o grupo 0 ao extremo sul e VI para o norte. Observaram, então, que cultivares dos grupos mais precoces apresentavam estreita faixa de adaptação, enquanto aquelas de ciclos medianos tinham adaptação ampla.

O estudo de Zhang et al. (2007) representou avanço importante, entretanto, nele não foram considerados aspectos fitotécnicos, os quais podem ampliar a região de adaptação das cultivares precoces. Mourtzinis & Conley (2017) revisaram as zonas de adaptação para cultivares de soja conforme grupos de maturação, nos EUA, considerando as tecnologias atuais de cultivo. A distribuição das regiões de adaptação nas diferentes estratificações revelou padrões similares, contudo, há consideráveis variações na amplitude de adaptação de alguns grupos em latitudes específicas. Isso sugere variação adaptativa temporal de alguns grupos, possivelmente em função de alterações do manejo cultural e progresso genético.

No Brasil, a primeira iniciativa para recomendação de cultivares de soja conforme o grupo de maturação é atribuída a Penariol (2000). Nesse caso, a recomendação

foi adotar cultivares cujos grupos de maturação encontram-se entre 8 e 10, a partir do extremo sul até o extremo norte do país, nesta ordem. Ainda houve a recomendação de cultivares de grupos de maturação 7, ou acima, para a região tropical. Alliprandini et al. (2009), revisando os níveis de adaptação da soja conforme a maturação, sugeriram o cultivo de materiais com grupos de maturação entre 5 e 10. Nesse caso, também são recomendadas cultivares com grupos de maturação a partir de 7, para a região tropical, e de 5 a 7, para a região subtropical. Zdziarski et al. (2018), analisando a adaptação de cultivares de diferentes grupos de maturação ao longo das macrorregiões brasileiras (Kaster & Farias, 2012), obtiveram resultados similares; contudo, recomendaram cultivares mais precoces para a região tropical. Assim, nota-se discreta variação adaptativa temporal, ao se compararem as recomendações, favorecendo o uso de cultivares mais precoces em menores latitudes.

A categorização das cultivares de soja na escala de maturação relativa possibilita melhor predição de suas respostas fenotípicas em uma região ainda não experimentada. Assim, é possível predizer a amplitude adaptativa de uma cultivar, com base em seu grupo de maturação (Jiang et al., 2014). Contudo, inúmeros são os fatores fitotécnicos que podem influenciar nos limites da adaptabilidade de uma cultivar, especialmente em relação às complexas interações entre densidade, época de semeadura e manejo cultural adotado (Spehar et al., 2014). Geralmente, densidades de plantio mais elevadas são adotadas para o incremento em produtividade (Rambo et al., 2003; Rahman et al., 2011; Petter et al., 2016); e, ou, para a elevação da plasticidade produtiva em condição de estresse, sobretudo em decorrência de plantios marginais, antecipados ou retardados, na estação de cultivo. Mauad et al. (2011), por outro lado, não constataram efeito do acréscimo populacional sobre a massa de grãos. Em outros casos, visando à redução de custos, a adoção de populações reduzidas é preferida, tendo em vista os mecanismos de compensação da soja, inerentes a cada cultivar (Tourino et al., 2002; De Bruin & Pedersen, 2008; Cox & Cherney, 2011; Tirpe & Tirpe, 2011).

Geralmente, cultivos em regiões de menor latitude resultam na redução do crescimento vegetativo e do ciclo da soja (Spehar, 1994). A magnitude dessa redução, entretanto, depende da sensibilidade fotoperiódica da cultivar e da temperatura atmosférica predominante; visto que em latitudes menores, o comprimento do dia é menor nas estações de cultivo e as temperaturas são predominantemente elevadas (cultivos de verão). Por isso, o cultivo de soja na região do Cerrado brasileiro só foi possível devido aos esforços em

seleção de linhagens com período juvenil alongado, tolerantes a elevadas saturações de alumínio no solo e com eficiência no uso de cálcio (Spehar, 1995). Desse modo, cultivares de período juvenil longo têm sido preconizadas, pois, nesses ambientes, apresentam porte compatível à consecução de elevados níveis de produtividade (Destro et al., 2001).

## 2.3 GRUPOS DE MATURAÇÃO E SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM SOJA

Desde a intensificação do cultivo comercial de soja no Brasil e em outros países de expressão agrícola, as cultivares e o manejo associado têm passado por intensas modificações. Isto em decorrência da modernização do sistema agrícola, da rotação e sucessão de culturas, o que tem impactado diretamente no ciclo das cultivares. Atualmente, as cultivares de soja modernas são adaptadas não apenas às regiões de recomendação de cultivo, mas, também, e principalmente, ao sistema agrícola adotado.

Nesse contexto, destaca-se o ajuste do ciclo da cultivar ao sistema de produção, seja em rotação ou sucessão; normalmente com milho, algodão, sorgo, feijão ou arroz. O sistema de produção adotado depende principalmente da valorização dos produtos agrícolas no mercado, do custo de produção e das condições edafoclimáticas na região de cultivo. Há regiões, por exemplo, onde a estação chuvosa é resumida, com intermitências pluviais; em que é mais viável o cultivo de soja de ciclo médio ou tardio, em sucessão a culturas de baixa demanda hídrica como sorgo e milheto. Em regiões com elevada pluviosidade, entretanto, é possível o cultivo de cultivares precoces altamente adaptadas, com elevados níveis de produtividade, em sucessão com milho de alta tecnologia. Noutras ocasiões, quando a soja é cultura secundária, apesar de cultivada no início da estação chuvosa, com o algodão como cultura primária, geralmente, opta-se por cultivares superprecoces. Com isso, busca-se evitar a semeadura tardia do algodão e, assim, reduzir os riscos à cultura, decorrentes de estresses hídricos no final da estação chuvosa.

A modernização dos sistemas agrícolas de produção de soja impactou intensamente no padrão das cultivares utilizadas e no manejo adotado. Assim, atualmente, o grupo de maturação é caráter preponderante na seleção e recomendação de cultivares. Nesse contexto, o nível produtivo já não é, absolutamente, prioridade única, em detrimento às demais características desejáveis de uma cultivar, como, por exemplo, precocidade e estabilidade produtiva em diferentes épocas de semeadura.

Nos dias atuais, há uma busca contínua por cultivares cada vez mais precoces, cujos níveis produtivos sejam iguais ou superiores àqueles observados em cultivares mais tardias e, naturalmente, com menores restrições às épocas de semeadura (Ruiz-Vega, 1984). Nesse sentido, agrega-se maior estabilidade, mediante ajuste na densidade de semeadura (Hugie & Orf, 1989; Carpenter & Board, 1997) e na fertilidade dos solos. Meotti et al. (2012) constataram que os componentes de produção apresentam ajustes compensatórios entre si (plasticidade), com resposta diferencial entre as cultivares, de modo a “tamponar” os efeitos da época de semeadura. Destacam, ainda, que as cultivares de ciclo médio ou precoce e de porte elevado são mais adequadas ao cultivo em épocas de semeadura tardias.

#### 2.4 PRODUTIVIDADE DA SOJA: DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E GRUPOS DE MATURAÇÃO

Cultivares de tipo de crescimento indeterminado, ramificadas e precoces têm sido preferidas, nos últimos anos, ao longo de diversas regiões no Brasil. Isso também decorre da maior plasticidade fenotípica proveniente das ramificações e desse tipo de crescimento. Assim, com ajustes discretos na população de plantas é possível obter resultados competitivos com o uso de cultivares mais precoces, em diferentes épocas de plantio e em extensões geográficas diversas. Em contrapartida, cultivares precoces não ramificadas e de crescimento determinado, normalmente, demandam aumentos na densidade de plantas para uso em regiões de menor latitude; assim, contribuindo para onerar o cultivo, devido ao custo da semente, e elevar o risco da cultura sob condições de déficit hídrico. Ablett et al. (1989) asseguram que a obtenção de linhagens de crescimento determinado, precoces e estáveis, com altos níveis produtivos, é possível; contudo, a frequência dessas linhagens em uma população segregante, tendo em vista o germoplasma comercial, é menor relativamente à de linhagens com crescimento indeterminado e com os mesmos atributos. Desse modo, justifica-se parcialmente a intensa exploração e uso de linhagens de crescimento indeterminado na região brasileira do Cerrado.

Segundo Spehar et al. (2014), a estabilidade genotípica visando elevadas produtividades é dependente do grupo de maturação e do comprimento do período juvenil. Assim, o melhoramento visando ao ajuste da maturação de cultivares de soja à região de

cultivo, somado à introgressão de tipo de crescimento indeterminado, pode incrementar a produção de soja em regiões tropicais (Godoi et al., 2013).

Relações entre ciclo e produtividade têm sido investigadas em diversos trabalhos científicos. Segundo Dunphy et al. (1979), cultivares que apresentam florescimento e maturação tardios tendem a ser mais produtivas. Entretanto, conforme Egli (1993), o comprimento do período vegetativo e, também, o ciclo total não influenciam a produtividade da soja. Provavelmente, as divergências observadas nesse sentido são decorrentes das diferenças adaptativas entre as cultivares usadas em cada estudo, ao longo dos ambientes ou condições amostradas. De acordo com Spehar et al. (2014), no geral, elevadas produtividades estão relacionadas a maturações tardias, sendo que, os efeitos de estresse hídrico e época de semeadura podem confundir os níveis de adaptação em função do grupo de maturação.

O histórico do melhoramento da soja no Brasil priorizou, inicialmente, a obtenção de cultivares de grupos de maturação relativa entre 8.0 e 9.0 para as Regiões Norte e Nordeste (Campelo et al., 1999). Contudo, diante da oportunidade de maior exploração da estação chuvosa na região do Cerrado, seguido da crescente demanda por milho no mercado interno e externo, os sistemas de produção foram ajustados ao cultivo de primeira e segunda safra (“safrinha”). Essa modernização do sistema de produção aduziu sojicultores à inevitável adoção de cultivares mais precoces.

A ocorrência de pragas e doenças de difícil e oneroso controle também colaborou para a adoção de cultivares mais precoces, visto que, quanto menor a permanência da cultura no campo, menor é sua exposição a riscos de quebra na produção. Adicionalmente, a ocorrência de veranicos em determinadas regiões, sobretudo na fase de enchimento de grãos, também representa importante fator restritivo a determinados grupos de maturação e épocas de semeadura, em regiões que não apresentam distribuição pluviométrica regular durante a estação de cultivo.

O excesso pluvial na fase de maturação da soja também promove consideráveis perdas na cultura, tanto quantitativas quanto qualitativas. Assim, depreende-se que o grupo de maturação e a época de semeadura devem ser ajustados, visando à minimização dos riscos de quebra associados à produção, de modo que estágios críticos da cultura, como florescimento, enchimento de grãos e maturação plena, não coincidam com períodos de ocorrência de fatores deteriorantes.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 INFORMAÇÕES EXPERIMENTAIS

Foram utilizadas informações provenientes de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), de primeiro e segundo anos, do Programa de Melhoramento Genético de Soja da BASF S.A., conduzidos em 175 localidades brasileiras, abrangendo as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Figura 1). Os ensaios envolveram quatro anos de avaliação, ao longo das safras agrícolas de 2013/14 a 2016/17, distribuídos em todas as macrorregiões produtoras de soja do Brasil. Foram conduzidos em delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições. Em média, sessenta tratamentos (cultivares e linhagens experimentais) foram avaliados em cada experimento, envolvendo genótipos de diferentes grupos de maturação (Apêndice A). Foram utilizadas parcelas de quatro fileiras de plantas, com 5,0 m, espaçadas 0,5 m entre si. Ao todo, foram avaliados 159 genótipos, distribuídos ao longo das listas de entrada de cada localidade.

O manejo dos experimentos foi realizado conforme as recomendações técnicas previstas para a cultura da soja no Brasil (Embrapa, 2014). Em todos os casos, a semeadura foi realizada nas épocas adequadas para cada região, conforme previsão no Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC (MAPA, 2017).

Para quantificar a produtividade de grãos, foram colhidas apenas as duas fileiras centrais de cada parcela, desprezando-se as fileiras externas. Em todos os casos considerou-se como referência, para finalidade de cálculo da produtividade, a umidade de grãos em 13% (b.u). A data de maturação foi tomada no estádio R8, com 95% das vagens maduras (Fehr et al., 1971). O ciclo foi definido pela diferença, em dias, entre a data de semeadura e a maturação (R8).

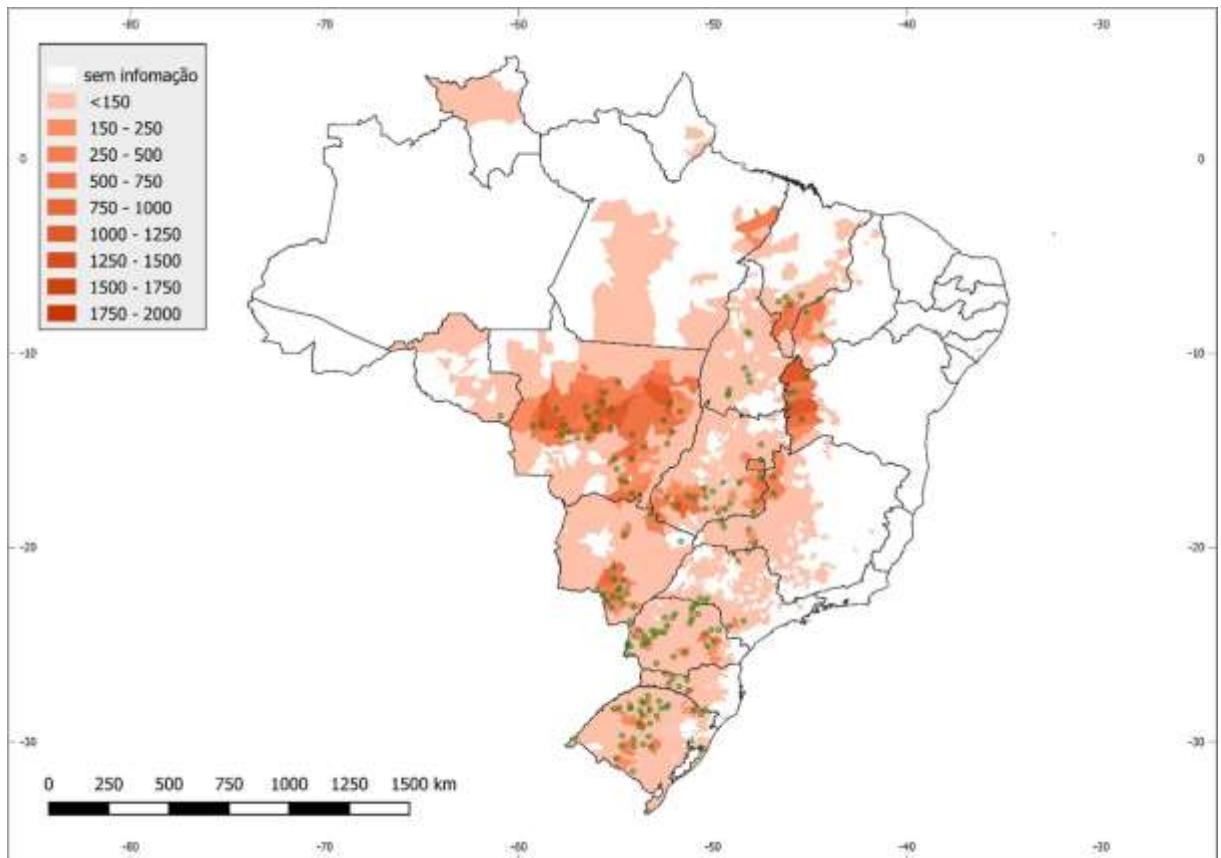


Figura 1. Locais de condução dos ensaios de VCU (pontos), nas safras 2013/14 a 2016/17. Os destaque em escala laranja indicam a produção de soja, em milhões de toneladas, por municípios, ao longo do território brasileiro (IBGE, 2015).

### 3.2 ESTIMAÇÃO DO GRUPO DE MATURAÇÃO RELATIVA DAS CULTIVARES

Para a estimativa da maturação relativa das linhagens em teste, utilizou-se um modelo de regressão linear entre as maturações relativas de cultivares testemunhas, já conhecidas, e o ciclo das linhagens experimentais, em dias. Antes, os ciclos foram ajustados para cada local, mediante o modelo [1], a seguir, utilizando-se a função lmer do pacote lme4 (Bates et al., 2014), do software R (R Core Team, 2017).

$$Y_{ijkl} = u_j + a_i + l_j + b_{k/j/i} + g_l + g_{lj} + e_{ijkl} \quad [1]$$

em que:

$Y_{ijkl}$ : ciclo observado em cada parcela, dentro de um dado local;

$u_j$ : intercepto do modelo, associado a cada local;

$a_i$ : efeito aleatório de ano;

$l_j$ : efeito aleatório de local;

$b_{k/j_i}$ : efeito aleatório e hierárquico de bloco, em local e de local em ano;

$g_l$ : efeito aleatório de genótipo;

$g_{lj}$ : efeito aleatório da interação entre genótipo e local;

$e_{ijkl}$ : erro experimental, assumido  $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)$ .

O preditor de  $(u_j + g_l + g_{lj})$  foi adotado para a obtenção dos ciclos médios ajustados, por local, ao longo das safras. Realizaram-se, então, as análises de regressão linear simples, conforme o modelo [2] mais adiante, envolvendo as maturações conhecidas de cultivares comerciais e os ciclos das linhagens em teste, ajustados conforme o modelo [1]. A partir do ajuste deste modelo, realizou-se uma análise de deviance para testar a significância ( $\alpha=0,05$ ) dos efeitos associados às fontes de variação (Apêndice B).

Devido à reduzida coincidência entre as cultivares testemunhas utilizadas nos ensaios das regiões tropical e subtropical, somada às diferentes normas de reação provenientes de comprimentos distintos de período juvenil entre cultivares plantadas nas regiões de Cerrado e Sul, duas funções foram ajustadas para a estimativa das maturações relativas (Apêndice C).

Para a implementação da análise, correspondente ao modelo [2], foi utilizado o pacote lmer4 (Bates et al., 2014) do software R (R Core Team, 2017). O ajuste das funções e estimação da maturidade relativa de cada linhagem/cultivar, conforme o modelo [2], foi obtido mediante a função lm do pacote stats, também do software R (R Core Team, 2017).

$$\square = \square \square + \square + \square \quad [2]$$

em que:

$\square$  : maturação relativa;

$\square$  : ciclo médio ajustado;

$\square$  : coeficiente angular;

$\square$  : coeficiente linear;

$e$  : erro aleatório, assumido  $e \sim N(0, \sigma)$ .

### 3.3 DEFINIÇÃO DO GRUPO DE MATURAÇÃO RELATIVA MAIS ADAPTADO A CADA LOCALIDADE

Os genótipos foram, então, agrupados conforme os seguintes intervalos de maturação relativa: 4.5-4.9; 5.0-5.4; 5.5-5.9; 6.0-6.4; 6.5-6.9; 7.0-7.4; 7.5-7.9; 8.0-8.4; 8.5-8.9; 9.0-9.5. As produtividades de grãos, por grupo de maturação e local, foram ajustadas conforme o modelo [3]:

$$Y_{ijklm} = u_j + a_i + l_j + b_{k/j/i} + m_l + g_{m/l} + m_{a_{lj}} + m_{l_{lj}} + m_{a_{l_{lj}}} + e_{ijklm} \quad [3]$$

em que:

$Y_{ijklm}$ : observação (produtividade de grãos) na parcela;

$u_j$ : intercepto do modelo, associado a cada local;

$a_i$ : efeito aleatório de ano;

$l_j$ : efeito aleatório de local;

$b_{k/j/i}$ : efeito aleatório de bloco, aninhado em local e ano;

$m_l$ : efeito fixo do agrupamento de maturação dos genótipos;

$g_{m/l}$ : efeito aleatório do genótipo, aninhado ao agrupamento de maturação;

$m_{a_{lj}}$ : efeito da interação entre agrupamento de maturação e ano;

$m_{l_{lj}}$ : efeito da interação entre agrupamento de maturação e local;

$m_{a_{l_{lj}}}$ : efeito da interação entre agrupamento, local e ano;

$e_{ijklm}$ : erro aleatório, assumido  $e_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$ .

A partir do ajuste deste modelo misto [3], foi feita a correspondente análise de deviance para testar a significância ( $\alpha=0,05$ ) dos efeitos associados às fontes de variação. Para a implementação da análise, correspondente ao modelo [3], foi utilizado o pacote lmer4 (Bates et al., 2014) do R (R Core Team, 2017).

#### 3.3.1 Adaptação produtiva específica por local

Os efeitos do componente de interação entre o agrupamento de genótipos por maturação relativa e local foram utilizados como indicadores de adaptação específica; primeiramente, no que se denominou aqui “abordagem estática” da adaptação produtiva.

Assim, adotou-se o preditor de  $(u_j + ml_{ij})$  para a definição do agrupamento mais adaptado a cada localidade.

### 3.3.2 Adaptação produtiva específica por local e safra

Os efeitos do componente de interação entre o agrupamento de genótipos por maturação, local e ano foram utilizados como indicadores de adaptação específica ao longo do tempo. Este enfoque dos dados foi denominado aqui como “abordagem dinâmica” da adaptação produtiva. Assim, adotou-se o preditor  $(u_j + ml_{ij} + mla_{j|i})$  para a definição do agrupamento mais adaptado a cada localidade, em cada ano.

## 3.4 REGIONALIZAÇÃO DA MATURAÇÃO RELATIVA DE CULTIVARES PARA A MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Na elaboração do zoneamento para uso de cultivares de soja conforme o grupo de maturação, utilizou-se o método de regressão-krigagem descrito por Hengl et al. (2004). Neste método, realiza-se uma regressão linear múltipla entre a variável regionalizada e variáveis explicativas ou preditoras (covariáveis), tomadas em locais amostrados, de modo a extrapolar as previsões para locais não amostrados; neste caso utilizando-se apenas variáveis preditoras selecionadas. Além disso, a variação não explicada por tais variáveis, é interpolada por meio de krigagem ordinária, conforme equação [4], a seguir:

$$\begin{aligned} \hat{Y}(\mathbb{L}_0) &= \hat{\alpha}(\mathbb{L}_0) + \hat{\epsilon}(\mathbb{L}_0) \\ &= \sum_{i=0}^n \hat{\alpha}_i \cdot \mathbb{L}_0(\mathbb{L}_i) + \sum_{i=0}^n \hat{\epsilon}_i \cdot \mathbb{L}_0(\mathbb{L}_i) \end{aligned} \quad [4]$$

em que:

$\hat{Y}(\mathbb{L}_0)$ : previsão da variável regionalizada numa posição não amostrada  $\mathbb{L}_0$ ;

$\hat{\alpha}(\mathbb{L}_0)$ : é o ajuste parcial, por regressão, em determinada vizinhança (trend);

$\hat{\epsilon}(\mathbb{L}_0)$ : é o resíduo interpolado por krigagem;

$\mathbb{L}_0$ : são as estimativas ( $\mathbb{L} = 0, 1, 2, \dots, n$ ) de quadrados mínimos generalizados dos coeficientes de regressão parciais, associados às  $n$  variáveis preditoras selecionadas;

$\beta_0(\cdot)$ : são os valores assumidos pelas variáveis preditoras (covariáveis ambientais)

na posição  $\cdot$ , com  $\beta_0(\cdot) = 1$ ;

$\beta_1(\cdot)$ : são os ponderadores derivados da estrutura espacial de resíduos;

$\epsilon(\cdot)$ : é o resíduo da regressão linear múltipla numa posição amostrada  $\cdot$ .

A variável resposta regionalizada correspondeu à maturação relativa associada ao agrupamento de cultivares com maior adaptação produtiva. Na regionalização desta variável (categórica), para cada local, utilizou-se o centro de cada classe de maturação (ex. 7.0-7.5 ↔ 7.25) como variável quantitativa. Definiu-se, então, esse ponto médio como a maturação relativa otimizada; isto é, a variável resposta a ser espacializada, com variáveis preditoras escolhidas conforme as abordagens, estática ou dinâmica.

Na “abordagem estática” da regionalização da maturidade relativa das cultivares, a qual se constituiu na recomendação otimizada de cultivares por grupo de maturação, desconsideraram-se as tendências temporais. Assim, as variáveis preditoras (covariáveis geográficas e ambientais) consideradas nesta abordagem foram: latitude, longitude, altitude, temperatura e pluviosidade. Neste caso, as informações de diferentes safras foram modeladas conjuntamente para prover maior consistência aos resultados.

Para se obterem os dados de altitude ao longo do território brasileiro, utilizou-se o “modelo digital de elevação” – SRTM (Weber et al., 2004). Os dados de temperatura e pluviosidade foram tomados como médias anuais no período de 1970 a 2000, a partir da base de dados elaborada por Fick Stephen & Hijmans Robert (2017) e disponibilizada em: <<http://worldclim.org/version2>>.

Para o ajuste do modelo de regressão linear múltipla, inicialmente, foram considerados todas as variáveis preditoras (latitude, longitude, altitude, precipitação e pluviosidade). Então, aplicou-se o método backward para a seleção do modelo mais adequado, i.e., apenas com as variáveis mais relevantes, conforme os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) ajustados.

Na “abordagem dinâmica” da espacialização da maturidade relativa das cultivares, realizou-se uma análise temporal, considerando cada safra (ano agrícola). Neste caso, as variáveis preditoras espaciais foram latitude, longitude e altitude, tendo sido

selecionadas somente latitude e altitude. Com isso, almejou-se identificar tendências adaptativas espaço-temporais, ao longo das safras.

Em ambas as abordagens, definiu-se, inicialmente, distribuição isotrópica de efeitos ao longo do mapa. Considerou-se, ainda, o modelo exponencial de variograma como o mais bem ajustado às distribuições espacial e temporal da variável regionalizada. Para isso, adotou-se o valor mínimo da soma de quadrados do resíduo (SSE) como critério de seleção do modelo.

As análises pelo método de regressão-krigagem foram realizadas utilizando-se os pacotes rsaga (Brenning, 2010) e gstat (Pebesma & Gräler, 2013) do software R (R Core Team, 2017). Por último, a elaboração dos mapas foi implementada mediante o uso dos softwares SAGA (Conrad et al., 2015) e Quantum GIS (QGIS Development Team, 2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à sensibilidade fotoperiódica da soja, comumente recomendam-se estratificações para uso de cultivares, conforme os grupos de maturação, em função da latitude, que define padrão fotoperiódico da região de cultivo e, por consequência, sugere a extensão de adaptação e uso de cada cultivar. Na análise de deviance para produtividade de grãos (Tabela 1), nota-se que os efeitos dos agrupamentos de genótipos conforme maturação (m), bem como o efeito de genótipos dentro destes agrupamentos foram significativos ( $p<0,05$ ). Isso sugere que há diferenças nos níveis de produtividade entre e dentro os agrupamentos de maturação. As variações entre agrupamentos decorrem, principalmente, da elevada correlação entre maturação e produtividade; assim, os agrupamentos mais tardios tendem a apresentar maiores produtividades ( $r=0,4168$ ;  $p<0,05$ ). A variação dentro dos agrupamentos de maturação é decorrente dos diferentes níveis de adaptação e potencial genético dos genótipos, ao longo das localidades amostradas. Cober & Morrison (2010) também constataram variações nos níveis de produtividade, conforme a maturação, destacando correlação positiva entre estes caracteres.

Tabela 1. Resultados da análise de deviance, componentes de variância e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) referentes à análise conjunta para a variável produtividade de grãos, considerando-se 159 genótipos, com testes em 175 localidades brasileiras, ao longo de quatro safras subsequentes (2013/2014 a 2016/2017).

Fatores <sup>1</sup>	Deviance	LRT( $\chi^2$ )	AIC	Variância	Desvio-padrão	$R^2$
m	618355	1334.49*	618383	1057073	1028.14	0,4656
m/genótipo	616695	1660.14*	616727	43056	207.50	0,0190
m x local	615742	953.36*	615776	2912	53.96	0,0013
m x ano	615639	102.90*	615675	4794	69.24	0,0021
m x local x ano	614845	793.55*	614883	57253	239.28	0,0252
Resíduo	-	-	-	388077	622.96	0,1709
modelo	619690	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> m: efeito de grupo de maturação relativa; m/genótipo: efeito de genótipos dentro de grupo de maturação.

\* Valores significativos pelo teste  $\chi^2$ , a 5% de probabilidade.

Na Tabela 1 também se observam efeitos significativos das interações “m x local”, “m x ano” e “m x local x ano” ( $p<0,05$ ). A interação “m x local” corresponde à

resposta diferencial de cada agrupamento de maturação nas diferentes localidades, indicando o nível de adaptação específica de cada grupo nos locais avaliados. A interação “m x ano” capitaliza as variações ambientais decorrentes do manejo cultural, época de semeadura, condições edafoclimáticas não-permanentes, entre outras. Esse componente de interação pode ser utilizado como indicador de estabilidade, pois mensura a repetibilidade dos resultados ao longo do tempo. A significância da interação “m x local x ano” sugere que os níveis de adaptação específica, de cada agrupamento em cada localidade, variam ao longo do tempo. Assim, faz-se necessário investigar essa variação temporal, de modo a compreender e identificar tendências adaptativas do germoplasma avaliado.

#### 4.1 ABORDAGEM ESTÁTICA DA ADAPTAÇÃO PRODUTIVA

O método de regressão-krigagem é uma técnica de interpolação espacial que combina regressão de uma variável dependente (regionalizada), utilizando-se de variáveis auxiliares, com a krigagem aplicada aos resíduos. Nesse caso, a maturação relativa das cultivares cujas produtividades foram as maiores em cada localidade, ao longo das safras, correspondeu à variável regionalizada. Assim, apesar de o conjunto de dados abranger quatro safras, nesta primeira abordagem (estática), desconsideram-se as tendências temporais. De qualquer modo, também neste caso, ao analisar o conjunto completo de dados, almeja-se prover a maior consistência possível aos resultados.

Na Tabela 2 é possível notar as maturações máximas e mínimas das cultivares cujos grupos de maturação relativa foram os de maior valor adaptativo ao longo da região estudada, bem como a amplitude da maturação dessas cultivares. Considerando os locais amostrados, as cultivares tardias, com maturação relativa máxima de 9.2 e adaptadas principalmente às regiões Norte e Nordeste, assim como cultivares precoces, com grupo de maturação 4.7 e voltadas à Região Sul, resultaram em amplitude de maturação de 4.5 ao longo de todo o território brasileiro (Figura 1). As cultivares mais tardias são mais adaptadas a localidades de menor latitude; isto é devido, principalmente, ao comprimento do período juvenil dessas cultivares e à temperatura predominante na região. O resultado corrobora

Kumagai & Sameshima (2014), que sustentam que temperaturas elevadas favorecem materiais tardios, proporcionando elevação de peso e produtividade de grãos.

Tabela 2. Estatísticas descritivas do conjunto de dados utilizado, conforme o grupo de maturação relativa de cultivares mais adaptado em cada localidade de teste (Brasil, 2013 a 2017).

Variável <sup>1</sup>	MR <sup>2</sup>	Latitude	Longitude	Altitude
n	175	175	175	175
mínimo	4,7	-33,58	-60,93	9,00
máximo	9,2	-7,02	-44,36	1188,14
amplitude	4,5	26,56	16,57	1179,14
média	6,9	-20,54	-52,13	520,58
variância	1,3	42,44	10,29	60994,37
desvio-padrão	1,1	6,51	3,21	246,97

<sup>1</sup>n: número de observações; <sup>2</sup>MR: maturação relativa.

Cultivares com maiores maturações relativas apresentam, geralmente, períodos juvenis longos, o que resulta na extensão do ciclo, por retardar o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo abaixo do limite crítico. Em contrapartida, cultivares com menores maturações relativas e adaptadas, sobretudo, a regiões subtropicais, apresentam períodos juvenis curtos, florescendo rapidamente em dias curtos. Assim, cultivares que apresentam período juvenil curto, quando submetidas a baixas latitudes, apresentam porte reduzido e baixa adaptação (Destro et al., 2001).

Na Tabela 3 nota-se que a adaptação da soja conforme a maturação relativa foi significativamente influenciada pela latitude e altitude. A longitude e as covariáveis ambientais avaliadas (temperatura e precipitação médias), entretanto, não influenciaram os níveis de adaptação produtiva. Neste estudo foram utilizadas séries históricas de temperatura e precipitação pluviométrica (1970-2000); portanto, é possível que as informações não representem adequadamente as condições de cultivo de soja nos quatro anos (2013-2017) considerados. Além disso, proporção considerável das variações de pluviosidade e temperatura pode ser explicada pela latitude e longitude, o que justifica a não significância de fatores ambientais já, reiteradamente, associados ao crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja (Farias et al., 2001; Lobell & Asner, 2003; Wilhelm & Wortmann, 2004; Sentelhas et al., 2015).

Tabela 3. Resultados da análise de regressão linear múltipla associada ao procedimento de espacialização por regressão-krigagem, ao longo de todas as safras.

Variáveis	Coeficientes	r	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (ajustado)	Erro-padrão	t	p-valor
Latitude	0,140691*	-0,8203	0,67288	0,6691	0,00746	18,86	<0,0001
Elevação <sup>1</sup>	-0,000410*	-0,1608	0,02584	0,0145	0,00019	-2,14	0,0408
Longitude	0,029850	-0,03556	0,00126	-0,0045	0,02320	-1,29	0,1739
Temperatura <sup>2</sup>	0,001412	0,0206	0,00043	-0,0055	0,00519	-0,27	0,3839
Precipitação <sup>2</sup>	0,000061	-0,0027	0,00001	-0,0058	0,00031	0,20	0,3907
Intercepto	9,956923	-	-	-	1,93208	51,84	<0,0001

<sup>1</sup> Modelo Digital de Elevação (SRTM); <sup>2</sup> Série histórica (1970-2000) de temperatura e pluviosidade média anual. \* Valores significativos a 5% de probabilidade.

O fotoperíodo é majoritariamente definido pelo posicionamento geográfico, especificamente, pela latitude e pela estação de cultivo. Assim, os níveis de adaptação das cultivares, conforme a maturação relativa, são distintos em cada intervalo de latitude. A latitude é preponderante à adaptação da soja e, consequentemente, à recomendação de cultivares; pois, pode afetar intensamente a dinâmica de crescimento e desenvolvimento, e definir limites de adaptação para a cultura. À medida que o cultivo se aproxima da Latitude 0° (Linha do Equador), as cultivares com maiores maturações relativas tendem a apresentar maior adaptação. Nota-se, ainda na Tabela 3, uma correlação negativa entre a maturação relativa recomendada e a latitude ( $r=0,82$ ;  $p<0,05$ ). Logo, a variação em um grau de latitude equivale ao incremento de, aproximadamente, 0,14 na maturação relativa mais recomendada a um posicionamento qualquer.

Observou-se também uma correlação negativa ( $r=-0,16$ ;  $p<0,05$ ) entre a altitude e a maturação relativa recomendada, indicando que o aumento da altitude, por influenciar diretamente a temperatura média (Ometto, 1981), favorece cultivares mais precoces. Ainda, tomando-se como exemplo um incremento médio de 500 m na altitude, haverá redução de, aproximadamente, 0,2 pontos ( $-0,0004 \times 500$ ) na maturação relativa recomendada para determinado posicionamento geográfico (Tabela 3). Alliprandini et al. (2009) também constataram efeito significativo da altitude sobre os níveis adaptativos de cultivares de soja com diferentes graus maturações. Entretanto, Junior Zanon et al. (2015), ao avaliarem cultivares de diferentes tipos de crescimento, em terras altas e baixas, não apontaram variações significativas no desenvolvimento da cultura. Estas conclusões diversas podem ser decorrentes da amostragem de genótipos e ambientes, bem como dos métodos utilizados em cada estudo.

Observou-se que as cultivares apresentaram variação adaptativa, conforme os grupos de maturação relativa, nas diferentes regiões de cultivo (Figura 2). Esses resultados corroboram aqueles apresentados por Penariol (2000) e Alliprandini et al. (2009). Contudo, destaca-se que os grupos de maturação não apresentam adaptação regular dentro das faixas de latitude.

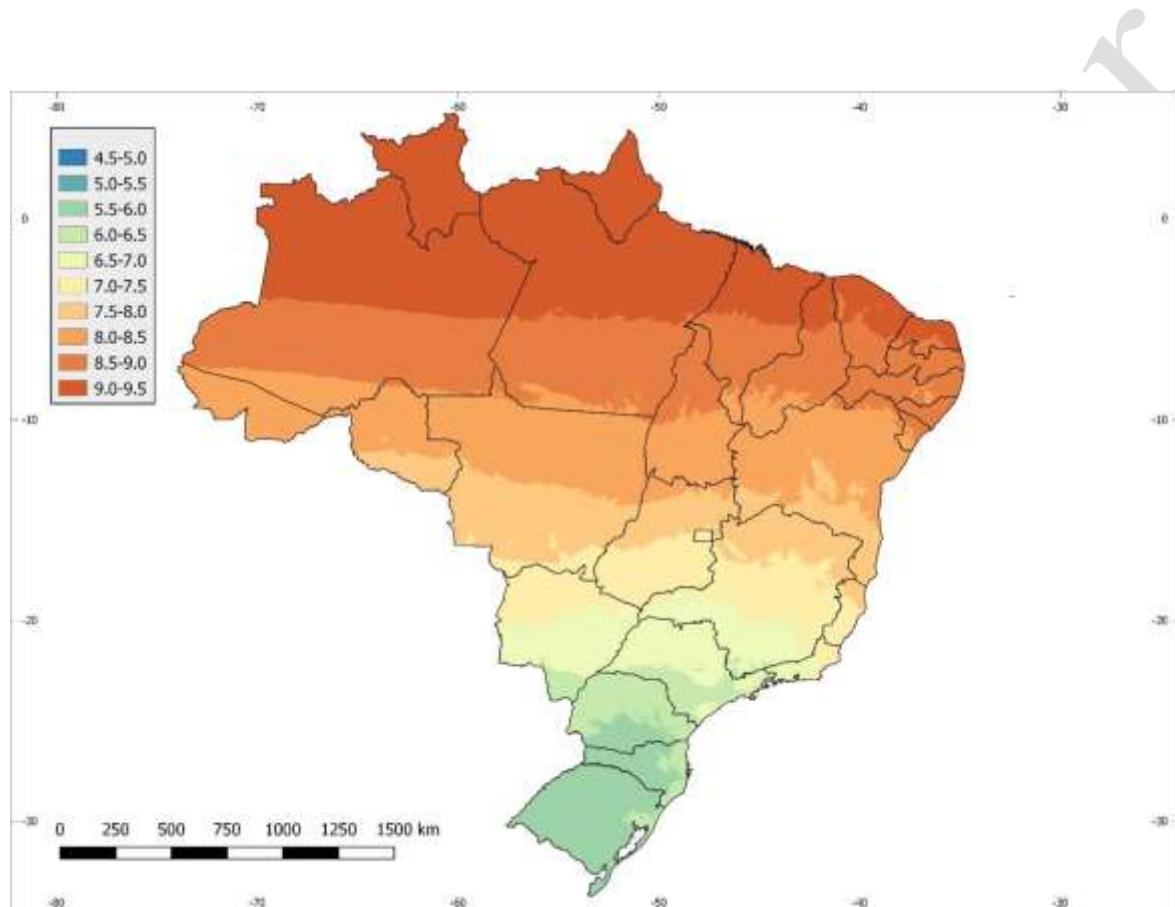


Figura 2. Zoneamento para uso de cultivares de soja no Brasil, obtido por regressão-krigagem da adaptação produtiva por grupo de maturação relativa (escores aqui representados na escala de 4.5 a 9.5).

As zonas de adaptação observadas indicam que cultivares com maturação relativa entre 5.5 e 6.0 são mais adaptadas à Região Sul, abrangendo especificamente o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e as mesorregiões<sup>3</sup> Sudoeste, Sudeste e Sul Paranaenses (Figura 3). Alliprandini et al. (2009) observaram resultados similares; entretanto, Penariol (2000) ainda incluía cultivares de menor maturação relativa nessas mesorregiões, principalmente posicionadas na extremidade sul do Brasil. No presente estudo, apesar de

<sup>3</sup> As mesorregiões aqui referidas são aquelas definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ngb.ibge.gov.br/Default.aspx?pagina=meso>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

essas cultivares terem sido as mais produtivas em ambientes pontuais desta sub-região, as cultivares de grupos de maturação 4.5 a 5.0 e 5.0 a 5.5 não apareceram no zoneamento obtido.

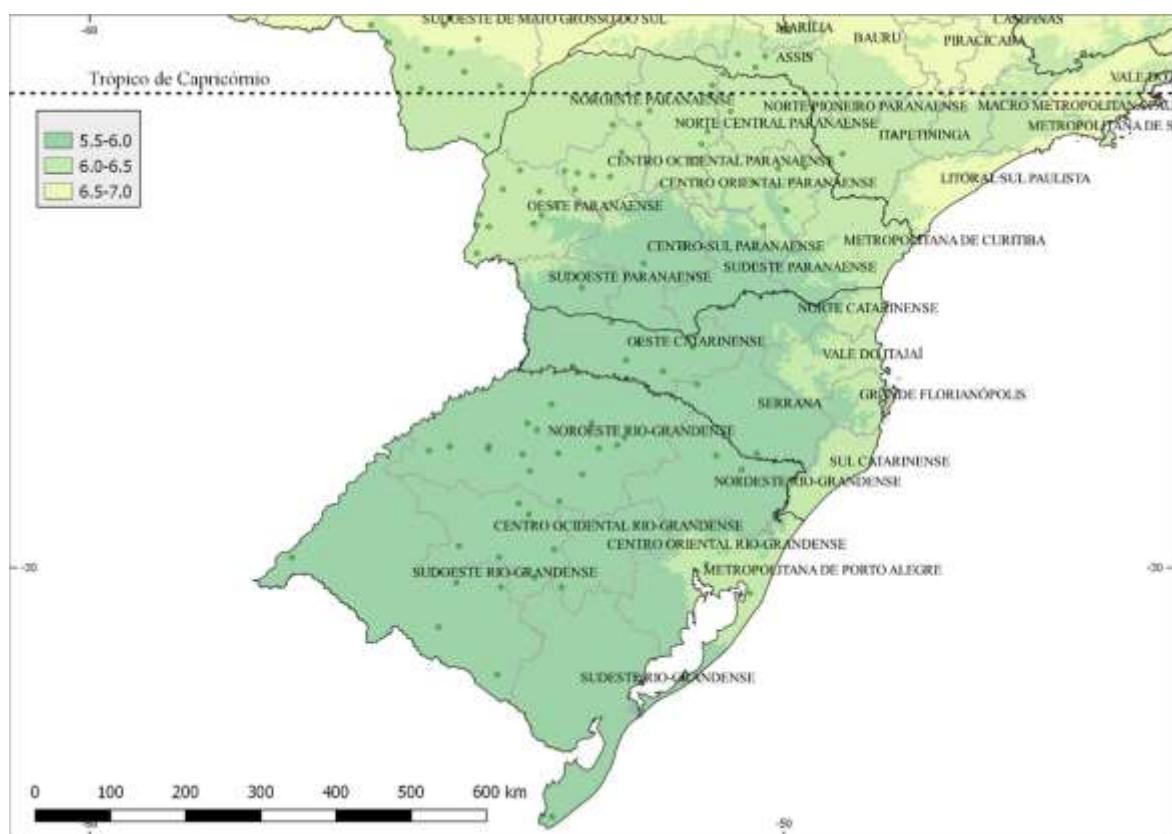


Figura 3. Detalhamento do zoneamento para uso de cultivares de soja na região subtropical do Brasil, obtido por regressão-krigagem, conforme a adaptação produtiva por grupo de maturação relativa.

Cultivares com maturações relativas entre 6.0 e 6.5 mostraram-se mais adaptadas ao Paraná, abrangendo as mesorregiões Norte, Noroeste e Oeste e grande extensão do Centro desse Estado; sobretudo na região de transição entre a Zona Temperada do Sul e a Zona Tropical (23°27'S). Essa adaptação produtiva abrange também as mesorregiões: Sudoeste do Mato Grosso do Sul, Sudoeste de São Paulo e, mais ao sul, Norte de Santa Catarina, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis e Sul Catarinense, assim como Centro-Oriental Rio-Grandense e mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, principalmente nas porções de menor altitude, próximas a regiões litorâneas. Nas extensões sul das mesorregiões Centro-Norte e Leste de Mato Grosso do Sul, assim como no norte e noroeste de São Paulo, mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, além daquelas em torno da latitude 22°S, cultivares com grupos de

maturação entre 6.5 e 7.0 mostraram-se mais adaptadas (Figura 4). Neste caso, os resultados divergem daqueles obtidos por Penariol (2000) e Alliprandini et al. (2009), para quem cultivares de grupos de maturação 6 e 7 mostram adaptação mais restrita à Região Sul do Brasil, incluindo sul de Mato Grosso do Sul e o sul e sudoeste de São Paulo.

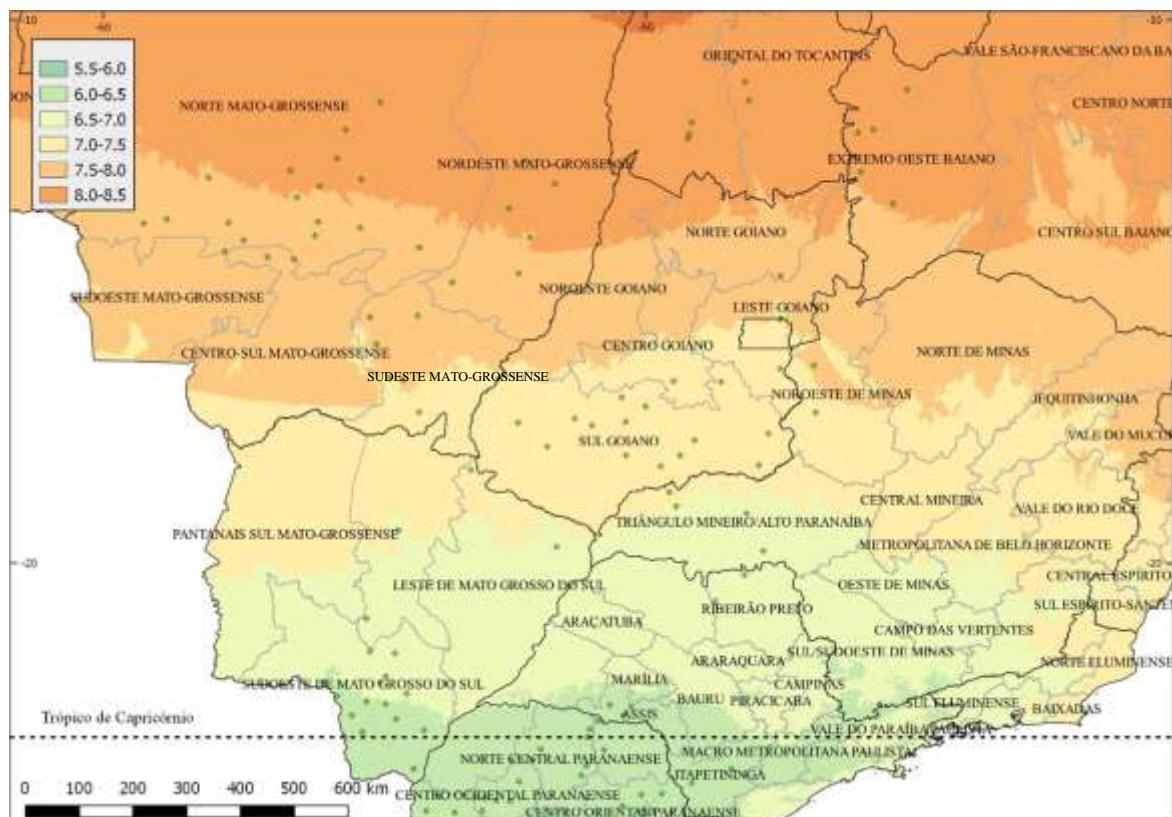


Figura 4. Detalhamento do zoneamento para uso de cultivares de soja nas regiões de transição subtropical/tropical e central do Brasil, obtido por regressão-krigagem, conforme adaptação produtiva por grupo de maturação relativa.

Nas mesorregiões Centro Norte de Mato Grosso do Sul, Pantanais Sul Mato-grossense, Sul Goiano, sul do Centro Goiano, Distrito Federal, região Central Mineira e Noroeste de Minas Gerais, bem como em outras áreas com latitude em torno de 18°, as cultivares com grupo de maturação entre 7.0 e 7.5 mostraram-se mais bem adaptadas. Incluem-se nessa zona as extensões fronteiriças entre Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, destacando-se principalmente a mesorregião Sudeste Mato-grossense (Figura 4).

As cultivares cuja maturação relativa está entre 7.5 e 8.0 adaptaram-se melhor às mesorregiões Norte, Noroeste e Leste Goiano, na transição entre Goiás e Matogrosso, e também nas mesorregiões Sudeste e Nordeste Mato-grossense. Além disso, mostraram se

adaptadas ao Centro Sul e Sudoeste Mato-Grossense e às sub-regiões em torno da latitude 14° no norte desse Estado (Figura 4). Esse grupo de cultivares também se mostra adaptado à Rondônia e Bahia, destacando-se as áreas de maior latitude nas mesorregiões Leste Rondoniense e Madeira-Guaporé, bem como no Centro Sul Baiano (Figura 5). Esses resultados corroboram parcialmente os apontamentos de Alliprandini et al. (2009) e Penariol (2000); entretanto, divergem quanto à adaptação de cultivares dos grupos de maturação 7 e 8 em latitudes maiores que 20°S, principalmente em extensão considerável de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Nas regiões de maior expressão na produção de soja do Cerrado brasileiro, que abrangem as mesorregiões Norte e Nordeste Mato-grossense, Oriental do Tocantins, Extremo Oeste, Centro Norte e Vale do São Francisco da Bahia, e Sudoeste Piauiense, as cultivares com grupos de maturação entre 8.0 e 8.5 foram as mais adaptadas. Assim como nas regiões de fronteira agrícola, abrangendo áreas de menor latitude nas mesorregiões Madeira-Guaporé e Leste Rondoniense, além do Estado do Pará e região de transição desse Estado com Mato Grosso (Figura 5). Cultivares com maturação entre 8.5 e 9.0 mostraram-se mais adaptadas às regiões posicionadas em torno da latitude 6°S, incluindo, principalmente, as mesorregiões Sudeste e Sudoeste Paraense, Ocidental do Tocantins, Leste e Sul Maranhenses, Centro Norte e porção do Sudoeste Piauiense; conhecida como região “MAPITO”. Penariol (2000) e Alliprandini et al. (2009), por outro lado, recomendaram o uso de cultivares do grupo 9 para o Norte Mato-grossense, sul de Tocantins e noroeste da Bahia.

Nas regiões em latitudes menores que 5°S até o limite territorial do Brasil, ao norte, incluindo-se as mesorregiões de Marajó e Nordeste Paraense, Leste, Oeste, porção superior do Centro e Norte Maraenhense, além de toda a extensão dos Estados Amapá e Roraima, cultivares com maturações relativas entre 9.0 e 9.5 foram mais bem adaptadas (Figura 5). Isto também ratifica, parcialmente, as recomendações de Penariol (2000) e Alliprandini et al. (2009), que indicam o uso de cultivares com grupo de maturação entre 9 e 10 em latitudes iguais ou superiores a 10°S. Cultivares com maturações entre 9.5 e 10 não foram consideradas no presente estudo, pois não constaram da base de dados explorada nesta pesquisa.

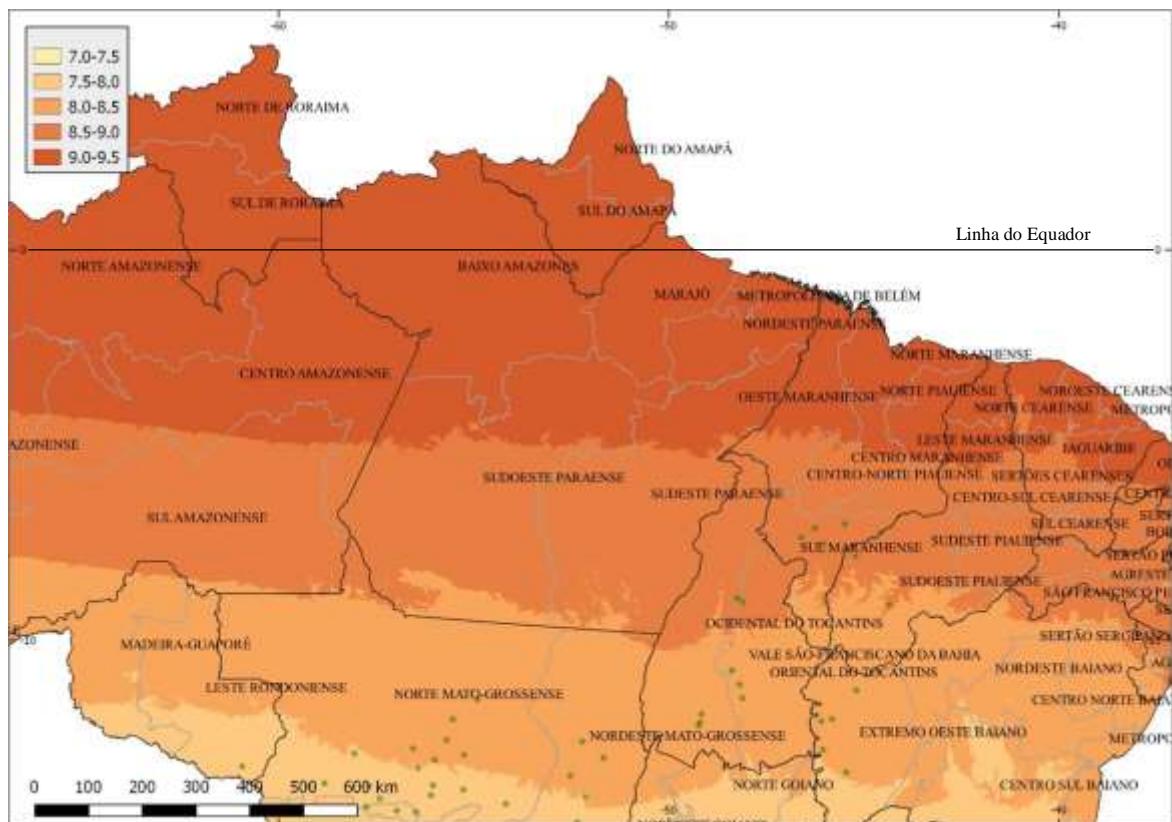


Figura 5. Detalhamento do zoneamento para uso de cultivares de soja, nas regiões central, norte e nordeste do Brasil, obtido por regressão-krigagem, conforme adaptação produtiva por grupo de maturação relativa.

Zdziarski et al. (2018), ao investigarem os níveis adaptativos de cultivares de soja conforme grupos de maturação, nas diferentes macrorregiões e regiões edafoclimáticas brasileiras, também observaram resultados similares aos do presente estudo. Os autores destacaram, principalmente, a adaptação de cultivares dos grupos de maturação 7 e 8 às latitudes entre 10° e 20°, assim como a de cultivares dos grupos 6 e 7 às latitudes entre 20° e 30°. O estudo, entretanto, teve abrangência resumida, pois, não incluiu algumas regiões relevantes para a produção de soja no Brasil.

No geral, nota-se considerável similaridade entre o zoneamento obtido no presente estudo e os resultados de Penariol (2000), Alliprandini et al. (2009) e Zdziarski et al. (2018). Contudo, há tendência de redução nos escores dos grupos de maturação das cultivares recomendadas, ao se fixar determinada latitude. Isso, entretanto, pode advir das mudanças no sistema de produção de soja no país, ao longo dos anos; no sentido de elevar a adaptação de cultivares mais precoces, principalmente em regiões de menor latitude. Logo, isto não caracteriza propriamente uma divergência entre os estudos. Tais mudanças podem

ser decorrentes ainda dos esforços no melhoramento genético, visando à obtenção de cultivares mais precoces e adaptadas a menores latitudes, e às melhorias ambientais, como correção de solos em regiões de fronteira agrícola e, ou, ajustes fitotécnicos como otimização de época de semeadura e população de plantas. Neste estudo, o efeito de diferentes épocas de semeadura não foi considerado, pois não houve uma amostragem adequada de épocas em cada localidade; também em razão das limitações interpostas pelas condições climáticas de cada região.

A adoção generalizada do cultivo de segunda safra (“safrinha”), em grandes extensões da região do Cerrado, tem demandado o uso de cultivares mais precoces, visando: redução do risco do cultivo subsequente; redução do custo de cultivo, pela diminuição do número de aplicações de fungicidas e inseticidas; e obtenção do produto (grãos) antecipadamente, de modo a oportunizar melhores valores de venda e maior lucratividade. Isso sugere que o sistema de produção de soja, sobretudo no que tange ao grupo de maturação das cultivares utilizadas, bem como época e densidade de semeadura, tem se modernizado ao longo dos anos.

De acordo com Kaster & Farias (2012), alterações importantes têm ocorrido no padrão de cultivares introduzidas no mercado brasileiro, nos últimos anos. Novas cultivares, com maiores amplitudes geográficas de adaptação e de época de semeadura, indicando menor interação ambiental, tornaram-se predominantes. Nesse contexto, destacam-se principalmente cultivares com grupos de maturação entre 7 e 8, ramificadas e de crescimento indeterminado. Estas cultivares acumulam elevados níveis produtivos, precocidade e estabilidade, sobretudo em regiões de baixas latitudes.

A introdução e introgessão de cultivares de crescimento indeterminado iniciou-se na região Sul, com cultivares provenientes da Argentina e América do Norte. Contudo, tais cultivares rapidamente foram adaptadas à região central do Brasil. A adoção do sistema de plantio direto, com consequente elevação dos níveis de fertilidade do solo, e os ajustes de população e época de plantio favoreceram a adaptação de cultivares mais precoces e indeterminadas. Essas cultivares, geralmente, apresentam comprimento de internódio reduzido, menor nível de acamamento, inserção foliar ereta, menor área foliar, dossel permeável e, consequentemente, sanidade favorecida. Cultivares com tais características integram uma base genética recentemente explorada no Brasil, cuja adoção tem resultado

em níveis elevados de produtividade na região do Cerrado (Godoi, 2013; Specht et al., 2014).

Diante disso, é possível que, no Brasil, o progresso genético na soja seja distinto entre grupos de maturação, haja vista a prioridade dada, nos últimos anos, ao desenvolvimento de cultivares adaptadas a regiões de fronteira agrícola ou à adaptação daquelas com menor grupo de maturação e direcionadas a baixas latitudes. Além disso, a dinâmica dos sistemas de produção tem favorecido cultivares de maturações específicas, o que, indiretamente, promove ganhos genéticos diferenciais entre grupos de maturação.

Rincker et al. (2014), analisando as alterações decorrentes do melhoramento genético da soja ao longo de oitenta anos, na América do Norte, considerando diferentes grupos de maturação, constataram que cultivares contemporâneas apresentam, em geral, menor altura e acamamento e, principalmente, maturação mais precoce. Contudo, Lange & Federizzi (2009), por exemplo, não constataram progresso genético diferencial entre grupos de maturação, ao longo de vinte anos de melhoramento da soja no Rio Grande do Sul. Isto, possivelmente, pelo fato de que o sistema de produção de soja no sul do Brasil, diferentemente daquele na região do Cerrado, já esteja consolidado.

Segundo Branquinho et al. (2014), a estratificação da região do Cerrado, para avaliação de genótipos de soja, está condicionada ao grupo de maturação das cultivares. Isso decorre, principalmente, da elevada variação ambiental nessa região, o que impõe limites adaptativos às cultivares e pode inflacionar a interação genótipo-ambiente; especialmente, quando os locais amostrados apresentam ampla distribuição longitudinal, e as cultivares têm elevada amplitude de maturação relativa. Portanto, os resultados deste estudo podem auxiliar no direcionamento de programas de melhoramento de soja, não apenas no que tange à estratégia de seleção voltada à obtenção de cultivares comerciais adaptadas a cada zona (Figura 2), mas, também, para orientar a definição da rede de experimentação, otimizando a alocação de ensaios de avaliação genotípica.

Destaca-se que a proposta deste estudo é um zoneamento com base na adaptação de cultivares de soja, conforme maturação relativa, que difere da estratificação convencional, em macrorregiões e regiões edafoclimáticas, atualmente utilizada para registro de cultivares. Nesse caso, Kaster & Farias (2012), por exemplo, enfocaram variáveis ambientais para o agrupamento de regiões homogêneas. De outro modo, no

presente estudo considerou-se a adaptação produtiva das cultivares e linhagens de soja, tomando-se o grupo de maturação como critério principal de zoneamento.

Na Figura 6, constata-se que o procedimento de regressão-krigagem proporcionou previsões de qualidade satisfatória, resultando em erro-padrão máximo de magnitude igual 0,5 na escala de maturação adotada. Evidentemente, os valores de erro-padrão foram maiores nas regiões onde houve menor densidade de experimentos, sugerindo a necessidade de ampliação da rede de experimentação para a obtenção de estimativas mais acuradas; isto é mais evidente nos estados do Pará, Amapá e Roraima.

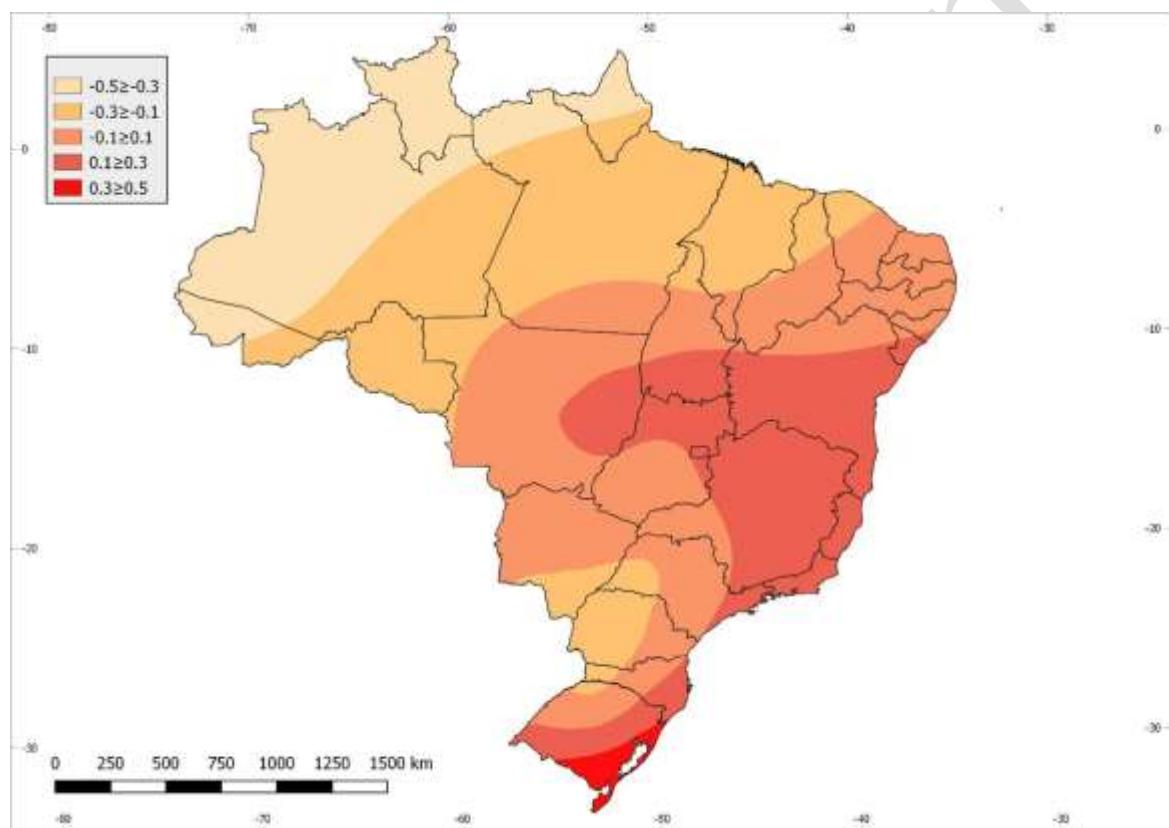


Figura 6. Valores de erro-padrão associados ao procedimento de regressão-krigagem, para o zoneamento do uso de cultivares no Brasil, conforme o grupo de maturação relativa.

#### 4.2 ABORDAGEM DINÂMICA DA ADAPTAÇÃO PRODUTIVA

A adaptação produtiva das cultivares, conforme a maturação, varia ao longo do tempo e do espaço, fato já evidenciado pela significância ( $p < 0,05$ ) da interação “m x local x ano” (Tabela 1). Desse modo, justificou-se também a aplicação da regressão-krigagem temporal, pois, mediante este procedimento, é possível elucidar a dinâmica do processo adaptativo das cultivares no território brasileiro. Nesse caso, as variáveis geográficas

(latitude e altitude), bem como a variável “safras”, a qual remete ao tempo, foram utilizadas para a modelagem da variável regionalizada. As variáveis precipitação pluviométrica e temperatura não foram incluídas nessa análise, pois não influenciaram significativamente os níveis adaptativos das cultivares, conforme discussão na abordagem anterior.

Ao longo das safras avaliadas neste estudo, houve considerável incremento do número de locais amostrados (Tabela 5). Contudo, nota-se que não há grandes variações quanto à abrangência experimental, tendo em vista a amplitude e desvio-padrão associados às variáveis espaciais (latitude, longitude e altitude). Nota-se amplitude constante das maturações relativas das cultivares avaliadas, ao longo dos anos, com exceção do último ano, quando houve redução, decorrente do uso de cultivares mais precoces em regiões de baixas latitudes. Destacam-se, ainda, reduções na média e desvio-padrão, ao longo dos anos, das maturações associadas às cultivares mais adaptadas, sugerindo melhores rendimentos das cultivares mais precoces. Esta inferência decorre do fato de as cultivares mais precoces, ao longo dos anos, estarem substituindo as cultivares mais tardias.

Tabela 5. Estatísticas descritivas do conjunto de dados utilizados, conforme o grupo de maturação relativa (MR) de cultivares de soja mais adaptado em cada localidade de teste, no território brasileiro, segmentado por safra.

Variável	Safra	n <sup>1</sup>	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Variância	Desvio-padrão
MR	2013/2014	32	4,7	9,2	4,5	7,33	1,61	1,27
	2014/2015	77	4,7	9,2	4,5	7,19	1,42	1,19
	2015/2016	97	4,7	9,2	4,5	6,81	1,18	1,09
	2016/2017	142	5,2	8,7	3,5	6,99	0,83	0,91
Latitude	2013/2014	32	-28,24	-7,02	21,22	-16,09	30,20	5,50
	2014/2015	77	-29,69	-7,02	22,67	-18,79	38,85	6,23
	2015/2016	97	-33,58	-7,53	26,05	-20,21	43,13	6,57
	2016/2017	142	-31,54	-7,02	24,52	-20,19	41,84	6,47
Longitude	2013/2014	32	-56,04	-44,56	11,48	-50,70	11,98	3,46
	2014/2015	77	-58,83	-44,56	14,27	-51,84	12,92	3,60
	2015/2016	97	-59,25	-45,19	14,06	-52,21	9,90	3,15
	2016/2017	142	-60,93	-44,36	16,57	-51,99	10,76	3,28
Altitude	2013/2014	32	167,00	973,90	806,90	569,80	59727,72	244,39
	2014/2015	77	129,00	995,70	866,70	558,33	52948,00	230,10
	2015/2016	97	9,00	995,70	986,70	525,56	58962,16	242,82
	2016/2017	142	72,00	1188,10	1116,10	544,49	59704,21	244,34

<sup>1</sup>n: número de ensaios.

Analisando-se os coeficientes de regressão associados à variável “Safra” (Tabela 6), em função da maturidade relativa do grupo de cultivares com maior rendimento,

nota-se que a maturação das cultivares mais adaptadas a cada localidade reduziu ao longo do tempo. Desse modo, com o avançar dos anos, as cultivares mais adaptadas tenderam a se tornar mais precoces (coeficiente de regressão igual a -0,04), o que, ao longo dos cinco anos, corresponde a aproximadamente 0,2 pontos na escala de maturação relativa. Ressalta-se que esse é um valor médio, considerando-se o zoneamento em toda a extensão do Brasil. Portanto, há zonas que apresentam maiores reduções na maturação ao longo das safras do que outras, ou, até mesmo, aumentos. As contribuições da latitude e altitude para a definição das zonas de adaptação produtiva da soja, conforme o grupo de maturação, também foram significativas ( $p<0,05$ ) e similares aos resultados já observados na Tabela 3.

Tabela 6. Resultados da análise de regressão linear múltipla proveniente do procedimento de regressão-krigagem, considerando-se a variação temporal ao longo das safras.

Variável	Coeficientes	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (ajustado)	Erro-padrão	T	p-valor
Safra	-0,0358*	-0,0998	0,0199	0,0171	0,003352	-10,68	0,0091
Latitude	-0,1396*	-0,8199	0,6723	0,6713	0,005453	-25,60	0,0000
Altitude	-0,0002*	-0,0963	0,0093	0,0064	0,000014	-14,29	0,0006

\* Valores significativos a 5% de probabilidade.

Na região do Cerrado, a redução da maturação relativa das cultivares mais adaptadas, ao longo do tempo, é decorrente principalmente do progresso genético e do aprimoramento no manejo cultural adotado. Os intensos ciclos de avaliação, seleção e recombinação de linhagens, visando à obtenção de cultivares mais adaptadas e com menor grupo de maturação, têm promovido e oportunizado o desenvolvimento e uso de cultivares mais precoces, com elevado valor adaptativo. Além disso, a correção da fertilidade dos solos e os ajustes na população de plantas e na época de semeadura têm favorecido a adaptação de cultivares precoces, em detrimento às tardias, especialmente aquelas com tipo de crescimento indeterminado (Tian et al., 2010).

Na Figura 4, nota-se a amplitude diferencial, em latitude, de cada zona de adaptação produtiva ao longo dos anos. Destaca-se a expansão dos grupos de maturação 7 e 8 em grandes extensões da região do Cerrado, fato também observado por Zdziarski et al. (2018). Também é evidente a retração gradual da zona de adaptação de cultivares com maior maturação relativa, grupos 9,0 a 9,5, ao extremo norte do Brasil (Figura 4d). Na Bahia, sul de Tocantins e médio-norte de Mato Grosso, observa-se expansão da zona de adaptação de

cultivares com maturação relativa entre 7.5 e 8.0, ao longo dos anos, deslocando cultivares mais tardias, dos grupos de maturação entre 8.0 e 8.5, para o norte.

Destaca-se também a expansão da adaptação de cultivares com grupos de maturação entre 6.5 e 7.0, desde o Trópico de Capricórnio até o Triângulo Mineiro, incluindo São Paulo e grande extensão de Mato Grosso do Sul (Figura 4). Observa-se, ainda, o deslocamento da zona de adaptação de cultivares com maturação entre 7.0 e 7.5, da latitude 22°S para a 18°S. Isto abrange considerável proporção das áreas produtoras de soja em Goiás e Minas Gerais, bem como na região de transição entre Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

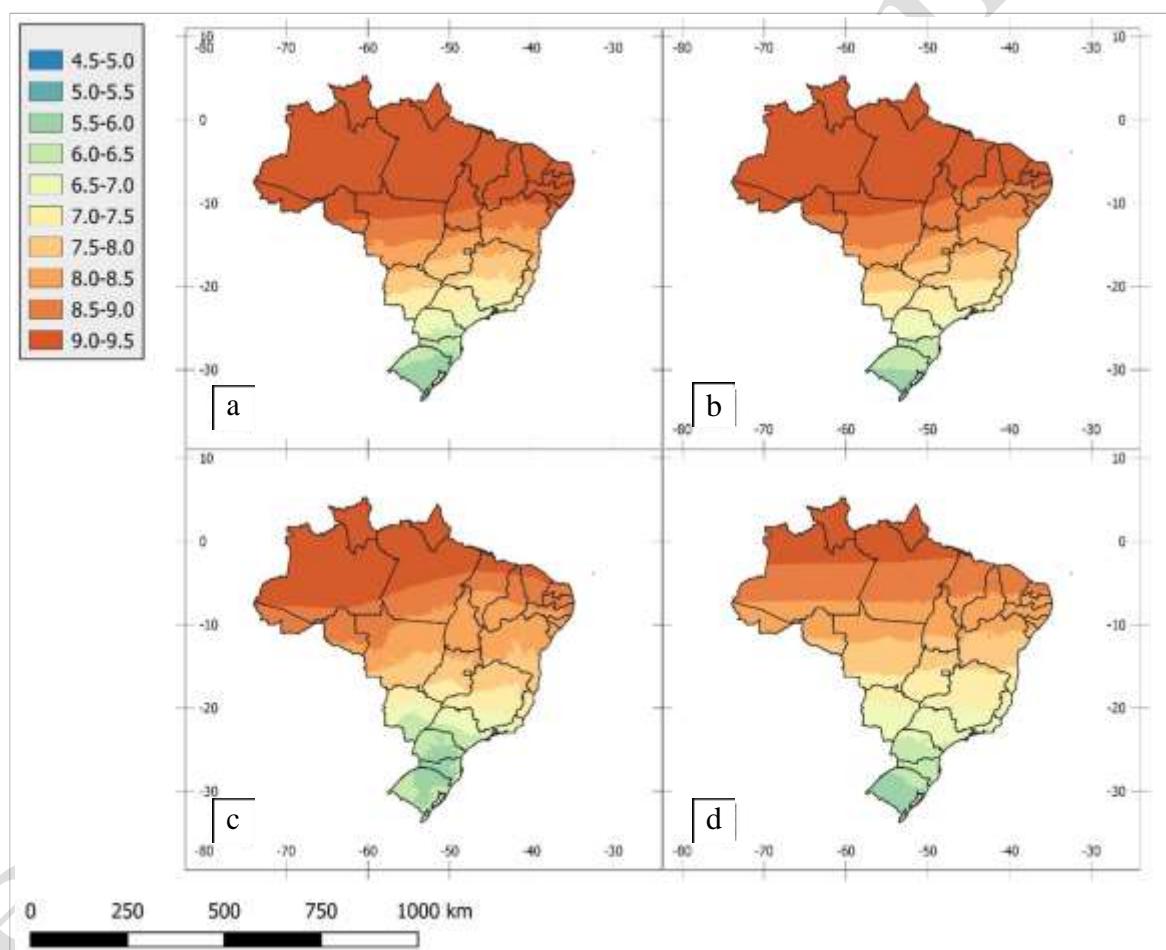


Figura 4. Zoneamento do uso de cultivares de soja, mediante regressão-krigagem, conforme o grupo de maturação relativa, ao longo das safras 2013/2014 (a), 2014/2015 (b), 2015/2016 (c) e 2016/2017 (d), no Brasil.

De acordo com a aptidão de cada região, os sistemas de produção são delineados buscando-se ampliar a capacidade produtiva da espécie, em primeira e segunda safra, e reduzir os riscos associados, mediante o uso de cultivares adaptadas, com semeadura e maturação em épocas favoráveis. Nota-se, na Figura 4, a redução gradativa do ciclo das cultivares de soja no sistema de produção adotado ao longo das safras, para a região tropical. Essa tendência à precocidade tem proporcionado a elevação da capacidade produtiva das espécies, de primeiro e segundo cultivo, redução da exposição da cultura da soja a fatores deteriorantes e prevenção de perdas por estresse hídrico; fator este proveniente, sobretudo, da estiagem ao final da estação chuvosa, no início da segunda safra. Contudo, para a otimização dos sistemas de produção, faz-se necessário investigar os limites adaptativos de cultivares de soja, por grupo de maturação, em condições diversas de manejo, ao longo das regiões de cultivo no Brasil. Para isso, deve-se enfocar principalmente a estabilidade de cultivares precoces, em diferentes populações e épocas, e em regiões de baixas latitudes.

Na Região Sul do país não se têm observado variações consideráveis, ao longo do tempo, quanto à adaptação das cultivares de soja, conforme o grupo de maturação. Provavelmente, isto se deve à consolidação dos sistemas de produção da cultura na região, ou mesmo pela impossibilidade de cultivos de segunda safra, em diversas localidades, devido a limitações climáticas. Conforme já mencionado, uma das principais causas das mudanças nas zonas de adaptação produtiva da soja na região de Cerrado é a modernização dos sistemas de produção, sobretudo devido à rotação ou, principalmente, à sucessão de culturas.

A expansão do cultivo da soja no Cerrado tem impulsionado o aumento da área de cultivo de milho de segunda safra, a qual tem se destacado continuamente nos últimos anos (Landau et al. 2015). Inicialmente, durante o avanço da cultura da soja em áreas até então não cultivadas, os níveis de fertilidade do solo eram baixos. À medida que, a cada ciclo de cultivo, a fertilidade foi corrigida, consequência do sucessivo uso de fertilizantes e do sistema de plantio direto, a maturação das cultivares adotadas tendeu a reduzir-se. Assim, nos primeiros anos de cultivo, cultivares mais tardias geralmente apresentam melhores resultados que cultivares precoces, sendo, portanto, preferíveis. À medida que se eleva a qualidade ambiental para cultivo da soja, prioriza-se o uso de cultivares mais precoces, altamente responsivas à melhoria ambiental, bem como o cultivo do milho em sucessão. Essa tendência temporal, resultante do aumento gradativo da qualidade dos ambientes de

cultivo em áreas de fronteira agrícola, justifica a dinâmica adaptativa observada na Figura 4. Assim, a cada ano, as fronteiras agrícolas têm-se deslocado para novas regiões, demandando cultivares adaptadas a variados ambientes; sendo que, nas regiões de cultivo de soja já estabelecido, o principal desafio tem sido substituir cultivares mais tardias por cultivares precoces, igualmente produtivas e estáveis.

As variações nas zonas de adaptação, ao longo do tempo (Figura 4), podem ainda ser decorrentes de alterações climáticas; as quais impactam diretamente sobre variáveis ambientais preponderantes no crescimento e desenvolvimento da soja. Apesar disso, poucos estudos têm sido realizados visando à constatação e quantificação dessas mudanças, ou mesmo, à previsão dos impactos associados (Rosenzweig et al., 2001; Seo & Mendelsohn, 2008; Schlenker & Roberts, 2009). Ressalta-se que, apesar de ampla cobertura espacial da série de dados utilizada neste estudo, a abrangência temporal talvez ainda não seja representativa de possíveis variações climáticas inerentes à região produtora de soja no Brasil. Assim, investigações complementares devem ser realizadas no sentido de elucidar os potenciais impactos destas variações, destacando-se especificamente os limites adaptativos de cultivares, dos diferentes grupos de maturação, conforme os sistemas de produção adotados.

## 5 CONCLUSÕES

- i. Cultivares de soja, em conformidade com seus grupos de maturação, apresentam diferentes níveis adaptativos, em cada região geográfica de cultivo. Desse modo, cultivares pertencentes a grupos de menor maturação relativa são mais adaptadas às regiões de maiores latitudes; diferentemente daquelas dos grupos de maior maturação relativa, que são mais adaptadas a latitude menores.
- ii. Os níveis adaptativos das cultivares de soja conforme a maturação apresentam variações em função do tempo, de modo a favorecer cultivares mais precoces em regiões de menor latitude. A adaptação de cultivares mais tardias, pertencentes a grupos de maturação entre 8.5 e 9.5, tem se retraído ao extremo norte do Brasil.
- iii. A região subtropical, no sul do país, apresenta discretas variações temporais dos níveis adaptativos das cultivares de soja, em função do grupo de maturação. No entanto, na região tropical têm ocorrido consideráveis mudanças desses níveis, no sentido de favorecer as cultivares mais precoces.
- iv. A latitude e a altitude são fatores preponderantes para a definição da adaptação produtiva de cultivares de soja, sendo que a influência da altitude promove discretas deflexões nas zonas de adaptação, favorecendo cultivares mais precoces em locais de maior elevação.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABDURAKHMONOV, I. Y.; ABDUKARIMOV, A. Application of association mapping to understanding the genetic diversity of plant germplasm resources. *International Journal of Plant Genomics*, New York, v. 2008, n. 1, p. 1-18, 2008.
- ABLETT, G.; BEVERSDORF, W.; DIRKS, V. Performance and stability of indeterminate and determinate soybean in short-season environments. *Crop Science*, New York, v. 29, n. 6, p. 1428-1433, 1989.
- ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; DE OLIVEIRA, M. A. R.; PITOL, C.; PRADO, L. C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. *Crop Science*, New York, v. 49, n. 3, p. 801-808, 2009.
- ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E.; MOORE, K. J. A methodology and an optimization tool to calibrate phenology of short-day species included in the APSIM PLANT model: application to soybean. *Environmental modelling & software*, Oxford, v. 62, p. 465-477, 2014.
- BASNET, B.; MADER, E.; NICKELL, C. Influence of altitude on seed yield and other characters of soybeans differing in maturity in Sikkim (Himalayan Kingdom). *Agronomy Journal*, Madison, v. 66, n. 4, p. 531-533, 1974.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4*. R package version, v. 1, n. 7, p. 1-23, 2014.
- BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. *Soybeans: improvement, production and uses*. 3 ed, Madison: American Society of Agronomy, 2004, 1144 p.
- BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J. B.; DE SOUZA, P. I. M.; DA SILVA NETO, S. P.; PACHECO, R. M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 49, n. 10, p. 783-795, 2014.
- BRENNING, A. *RSAGA: SAGA Geoprocessing and Terrain Analysis in R*. Vienna: R topics documented, 2010, 98 p.
- CAMARA, G.; SEDIYAMA, T.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 54, p. 149-154, 1997. Número especial.

CAMPELO, G. D. A.; KIIHL, R. D. S.; DE ALMEIDA, L. A. Características agronômicas e morfológicas das cultivares de soja desenvolvidas para as regiões de baixas latitudes. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C.O.; RAMOS, S.R.R. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro. Petrolina-PE: Embrapa Semi-árido/Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999, cap. 2, 1066 p.

CARPENTER, A.; BOARD, J. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Science*, New York, v. 37, n. 5, p. 1520-1526, 1997.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; DE ALMEIDA, L. A.; DE SOUZA KIIHL, R. A.; ROsolem, C. A. Inheritance of long juvenile period under short day conditions for the BR80-6778 soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) line. *Euphytica*, Wageningen, v. 112, n. 2, p. 203-209, 2000.

COBER, E. R.; MORRISON, M. J. Regulation of seed yield and agronomic characters by photoperiod sensitivity and growth habit genes in soybean. *Theoretical and Applied Genetics*, New York, v. 120, n. 5, p. 1005-1012, 2010.

COBER, E. R.; STEWART, D. W.; VOLDENG, H. D. Photoperiod and temperature responses in early-maturing, near-isogenic soybean lines. *Crop Science*, New York, v. 41, n. 3, p. 721-727, 2001.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V. AND BÖHNER, J. System for automated geoscientific analyses (SAGA). *Geoscientific Model Development*, Berlin, v. 2.1.4, n. 8, p.1991-2007, 2015.

COX, W.; CHERNEY, J. H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal*, Madison, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

DE BRUIN, J. L.; PEDERSEN, P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal*, Madison, v. 100, n. 3, p. 704-710, 2008.

DESTRO, D.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; KIIHL, R. D. S.; ALMEIDA, L. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2001.

DIERS, B. W.; SPECHT, J.; RAINY, K. M.; CREGAN, P.; SONG, Q.; RAMASUBRAMANIAN, V.; GRAEF, G.; NELSON, R.; SCHAPAUGH, W.; WANG, D. Genetic Architecture of Soybean Yield and Agronomic Traits. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, Bethesda, v. 8, n. 9, p. 1-31, 2018.

DUNPHY, E.; HANWAY, J.; GREEN, D. Soybean yields in relation to days between specific developmental stages. *Agronomy Journal*, Madison, v. 71, n. 6, p. 917-920, 1979.

EGLI, D. Cultivar maturity and potential yield of soybean. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 147-158, 1993.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Tecnologias de produção de soja-região central do Brasil 2014*. Londrina: Embrapa Soja, 2014, 212 p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil-2000/2001*. Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT, 2000, 255 p.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. D.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Sete Lagoas*, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FEHR, W. R. Breeding methods for cultivar development. In: WILCOX, J. R. (Ed.), *Soybeans: Improvement, production and uses*. 2. ed., Madison: ASA, CSSA and SSSA, 1987, cap. 13, 888 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D.; PENNINGTON, J. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, New York, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, Nova York, v. 17, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; DE AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. *Revista de Estudos Ambientais, Blumenau*, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A. E.; LOPES, I.; PORTUGAL, F. A. Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas. *Embrapa Soja-Circular Técnica*, Londrina, v. 1, n. 51, p. 1-12, 2007.

GODOI, C. R. C. de, DUARTE, J. B., PINHEIRO, J. B. 2013. Genetic dissimilarity in tropical soybean genotypes. In: *WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE*, 9., 2013. Durban, Abstracts... Durban: WSRC, 2013, p. 17-22.

HADLEY, P.; ROBERTS, E.; SUMMERFIELD, R.; MINCHIN, F. Effects of temperature and photoperiod on flowering in soya bean [*Glycine max* (L.) Merrill]: a quantitative model. *Annals of Botany, Oxford*, v. 53, n. 5, p. 669-681, 1984.

HARTWIG, E. E. Varietal development. In: CALDWELL, B. E. (Ed). *Soybeans: Improvement, production and uses* (ed.). 16. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1973, 681 p.

HENGL, T.; HEUVELINK, G. B.; STEIN, A. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, Wageningen, v. 120, n. 1-2, p. 75-93, 2004.

HUGIE, W.; ORF, J. Genotypic interaction of early maturity soybean with row spacings. *Crop Science*, New York, v. 29, n. 6, p. 1447-1451, 1989.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal 2015*, Brasília, 2015. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2015/default.shtm>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

JIANG, B.; NAN, H.; GAO, Y.; TANG, L.; YUE, Y.; LU, S.; MA, L.; CAO, D.; SUN, S.; WANG, J. Allelic combinations of soybean maturity loci E1, E2, E3 and E4 result in diversity of maturity and adaptation to different latitudes. *Plos Genetics*, San Francisco, v. 9, n. 8, p. 1-11, 2014.

KANTOLIC, A. G. Control ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genotipos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Buenos Aires, v. 20, n. 1, p. 63-88, 2008.

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. 60 p.

KIIHL, R.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: *WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE*, 4., 1989. Buenos Aires, Abstracts... Buenos Aires: AASOJA, 1989, p. 22.

KUMAGAI, E.; SAMESHIMA, R. Genotypic differences in soybean yield responses to increasing temperature in a cool climate are related to maturity group. *Agricultural and forest meteorology*, Amsterdam, v. 198, n. 12, p. 265-272, 2014.

LANDAU, E.; CRUZ, J.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. *Expansão potencial da produção de milho 2ª safra no Brasil no sistema de sucessão soja-milho considerando o zoneamento de risco climático 2014/15*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015, 26 p.

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.

LIU, X.; WU, J.-A.; REN, H.; QI, Y.; LI, C.; CAO, J.; ZHANG, X.; ZHANG, Z.; CAI, Z.; GAI, J. Genetic variation of world soybean maturity date and geographic distribution of maturity groups. *Breeding Science*, Tokyo, v. 67, n. 3, p. 221-232, 2017.

LOBELL, D. B.; ASNER, G. P. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science*, New York, v. 299, n. 5609, p. 1032-1032, 2003.

MAPA-Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; NETO, A. I. A.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. *Agrarian*, Jaboticabal, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2011.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Sowing dates and agronomic performance of soybean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012.

MILADINOVIC, J.; KUROSAKI, H.; BURTON, J. W.; HRUSTIC, M.; MILADINOVIC, D. The adaptability of shortseason soybean genotypes to varying longitudinal regions. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 243-249, 2006.

MORSE, W. J.; CARTTER, J.; WILLIAMS, L. F. *Soybeans: Culture and varieties*. Washington: US Department of Agriculture, 1949. 38 p.

MOURTZINIS, S.; CONLEY, S. P. Delineating soybean maturity groups across the United States. *Agronomy Journal*, Madison, v. 109, n. 4, p. 1397-1403, 2017.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIIHL, R. D. S.; ALMEIDA, L. A. D.; ARANTES, N.; SOUZA, P. D. M. D. Desenvolvimento de cultivares de soja na região Norte e Nordeste do Brasil. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 255-266.

PEBESMA, E.; GRÄLER, B. Spatio-temporal geostatistics using gstat. Münster: Institute for Geoinformatics, 2013. 11 p.

PENARIOL, A. Soja: cultivares no lugar certo. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 90, n. 2, p. 13-14, 2000.

PETTER, F. A.; DA SILVA, J. A.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PACHECO, L. P.; DE ALMEIDA, F. A. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, Campinas, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation, 2018.

RAHMAN, M.; HOSSAIN, M.; BELL, R. Plant density effects on growth, yield and yield components of two soybean varieties under equidistant planting arrangement. *Asian Journal of Plant Sciences*, Faisalabad, v. 10, n. 5, p. 278-286, 2011.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES FERNANDES, J. L.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA GUTHEIL, F. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

RAPER, C. D.; THOMAS, J. F. Photoperiodic alteration of dry matter partitioning and seed yield in soybeans. Crop Science, New York, v. 18, n. 4, p. 654-656, 1978.

RINCKER, K.; NELSON, R.; SPECHT, J.; SLEPER, D.; CARY, T.; CIANZIO, S. R.; CASTEEL, S.; CONLEY, S.; CHEN, P.; DAVIS, V. Genetic improvement of US soybean in maturity groups II, III, and IV. Crop Science, New York, v. 54, n. 4, p. 1419-1432, 2014.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foudation for Statistical Computing, 2017.

ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; YANG, X.; EPSTEIN, P. R.; CHIVIAN, E. Climate change and extreme weather events: implications for food production, plant diseases, and pests. Global Change and Human Health, New York, v. 2, n. 2, p. 90-104, 2001.

RUIZ-VEGA, J. Soybean phenology and yield as influenced by environmental and management factors. 1984. 166 f. Doctorate Thesis – Iowa State University, Ames, 1984.

SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. L. Physiological processes leading to similar yield in contrasting soybean maturity groups. Agronomy Journal, Madison, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017.

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M. J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, Washington, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

SCOTT, W. O.; ALDRICH, S. R. Modern soybean production. Illinois: Department of Crop Extension of the Illinois University, 1970. 192 p.

SENTELHAS, P.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.; FARIAS, J.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. The Journal of Agricultural Science, London, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015.

SEO, S. N.; MENDELSON, R. An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. Ecological Economics, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 109-116, 2008.

SETIYONO, T.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and day-length on soybean phenology under high-yield conditions. Field Crops Research, Amsterdam, v. 100, n. 2-3, p. 257-271, 2007

SINCLAIR, T.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.; NEPOMUCENO, A. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005.

SPECHT, J. E.; DIERS, B. W.; NELSON, R. L.; FRANCISCO, J.; DE TOLEDO, F.; TORRION, J. A.; GRASSINI, P. Yield gains in major US field crops: Soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 33, n. 2, p. 311-356, 2014.

SPEHAR, C. R. Breeding soybeans to the low latitudes of Brazilian Cerrados (Savannahs). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1167-1180, 1994.

SPEHAR, C. R. Impact of strategic genes in soybean on agricultural development in the Brazilian tropical savannahs. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 141-146, 1995.

SPEHAR, C. R.; FRANCISCO, E. R.; PEREIRA, E. A. Yield stability of soybean cultivars in response to sowing date in the lower latitude Brazilian Savannah Highlands. *The Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 153, n. 6, p. 1059-1068, 2014.

SPEHAR, C. R.; MONTEIRO, P.; ZUFFO, N. L.; ARANTES, N.; SOUZA, P. Melhoramento genético da soja na região Centro-Oeste. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 229-253.

TIAN, Z.; WANG, X.; LEE, R.; LI, Y.; SPECHT, J. E.; NELSON, R. L.; MCCLEAN, P. E.; QIU, L.; MA, J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 107, n. 19 (may 11), p. 8563-8568 (pnas. 201000088), 2010.

TIRPE, G.; TIRPE, O. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie și Tehnologii de Industrie Alimentară*, Oradea, v. 10, n. 1, p. 377-384, 2011.

TOURINO, M. C. C.; DE REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). World agricultural supply and demand estimates. Washington: USDA, 2018. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre: UFRGS / Centro de Ecologia. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

WILHELM, W.; WORTMANN, C. S. Tillage and rotation interactions for corn and soybean grain yield as affected by precipitation and air temperature. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 2, p. 425-432, 2004.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M.; MACIEL, L. R.; GUEDES, J. V. C. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 4, 2015.

ZDZIARSKI, A. D.; TODESCHINI, M. H.; MILIOLI, A. S.; WOYANN, L. G.; MADUREIRA, A.; STOCO, M. G.; BENIN, G. Key soybean maturity groups to increase grain yield in Brazil. *Crop Science*, New York, v. 58, n. 3, p. 1155-1165, 2018.

ZHANG, L.; KYEI-BOAHEN, S.; ZHANG, J.; ZHANG, M.; FREELAND, T.; WATSON, C.; LIU, X. Modifications of optimum adaptation zones for soybean maturity groups in the USA. *Crop Management*, Lismore, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2007.

## APÊNDICES

Versão Preliminar

Apêndice A. Safras agrícolas, locais de condução dos ensaios, com coordenadas geográficas, e grupos de maturação (de 4.5 a 9.5) das cultivares avaliadas em cada local, como base de dados para o presente estudo.

Safra <sup>1</sup>	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2013/2014	ABO-Água Boa, MT	-52.1365	-14.0038	446					X	X	X	X	X	X
2013/2014	ACR-Acreúna, GO	-50.3754	-17.3964	650			X	X	X	X	X			
2013/2014	BAR-Barreiras, BA	-45.8166	-12.0146	831							X	X	X	X
2013/2014	BJE-Bom Jesus, GO	-49.7335	-18.2168	619			X	X	X	X	X	X	X	
2013/2014	BLS-Balsas, MA	-46.0365	-7.5329	283					X	X	X	X	X	X
2013/2014	CAM-Campo Mourão, PR	-52.3375	-24.0213	588	X	X	X	X	X	X	X			
2013/2014	CCV-Cascavel, PR	-53.4967	-24.9243	683	X	X	X	X	X	X	X			
2013/2014	CNN-Canarana, MT	-52.5252	-13.4673	388					X	X	X	X	X	X
2013/2014	COR-Correntina, BA	-45.4500	-13.3794	925							X	X	X	X
2013/2014	CRI-Cristalina, GO	-47.5282	-16.4175	963			X	X	X	X	X	X	X	X
2013/2014	CRR-Cariri do Tocantins, TO	-49.1613	-11.8885	295							X	X	X	X
2013/2014	CTL-Catalão, GO	-47.9197	-18.1957	795			X	X	X	X	X	X	X	
2013/2014	CVD-Campo Verde, MT	-55.0851	-15.4686	732					X	X	X	X	X	X
2013/2014	FRP-Formosa do Rio Preto, BA	-45.1913	-11.2786	776					X	X	X	X	X	X
2013/2014	GPV-Guarapuava, PR	-51.4562	-25.3935	974	X	X	X	X	X	X	X			
2013/2014	JTI-Jataí, GO	-51.8172	-17.8519	769			X	X	X	X	X			
2013/2014	NMT-Nova Mutum, MT	-56.0421	-13.7115	380					X	X	X	X	X	X
2013/2014	NVR-Naviraí, MS	-54.0921	-23.0709	355			X	X	X	X				
2013/2014	PFU-Passo Fundo, RS	-52.4041	-28.2388	622	X	X	X	X	X	X	X			
2013/2014	PGR-Ponta Grossa, PR	-50.3032	-25.0903	842	X	X	X	X	X	X	X			
2013/2014	PLE-Primavera do Leste, MT	-54.2078	-15.4403	619					X	X	X	X	X	X
2013/2014	PNT-Porto Nacional, TO	-48.3820	-10.7705	231					X	X	X	X	X	X
2013/2014	QRC-Querência, MT	-52.2166	-12.5907	338					X	X	X	X	X	X
2013/2014	RVD-Rio Verde, GO	-50.9951	-17.4602	835			X	X	X	X	X	X	X	X

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2013/2014	SDL-Sidrolândia, MS	-55.1496	-21.0136	562			X	X	X	X	X			
2013/2014	SGO-São Gabriel do Oeste, MS	-54.5572	-19.3916	382			X	X	X	X	X	X		
2013/2014	SNP-Sinop, MT	-55.5346	-12.0215	387					X	X	X	X	X	X
2013/2014	SRM-São R. das Mangabeiras, MA	-45.4813	-7.0222	225					X	X	X	X	X	X
2013/2014	SRS-Sorriso, MT	-55.6915	-12.5476	378					X	X	X	X	X	X
2013/2014	SVN-Silvânia, GO	-48.6226	-16.6592	931			X	X	X	X	X			
2013/2014	SVP-Silvanópolis, TO	-48.1830	-11.1358	262							X	X	X	X
2013/2014	URC-Uruçuí, PI	-44.5581	-7.2398	167					X	X	X	X	X	X
2014/2015	ABL-Abelardo Luz, SC	-51.7444	-27.1754	813		X	X	X	X	X				
2014/2015	AMB-Amambaí, MS	-55.2258	-23.1062	480	X	X	X	X	X	X				
2014/2015	ANJ-Antônio João, MS	-55.9522	-22.1932	512	X	X	X	X	X	X				
2014/2015	BAR-Barreiras, BA	-45.8166	-12.0146	831							X	X	X	X
2014/2015	BGR-Baixa Grande do Ribeiro, PI	-45.2141	-7.8500	325								X	X	X
2014/2015	BLS-Balsas, MA	-46.0365	-7.5329	283							X	X	X	X
2014/2015	BRN-Brasnorte, MT	-58.0616	-12.9021	462					X	X	X	X	X	X
2014/2015	BVM-Boa Vista das Missões, RS	-53.3481	-27.6500	561		X	X	X	X					
2014/2015	BZN-Bozano, RS	-53.7658	-28.3674	429	X	X	X	X	X					
2014/2015	CAA-Caarapó, MS	-54.7991	-22.5946	416				X	X	X				
2014/2015	CAM-Campo Mourão, PR	-52.3375	-24.0213	588	X	X	X	X	X					
2014/2015	CCV-Cascavel, PR	-53.4967	-24.9243	683	X	X	X	X	X	X	X			
2014/2015	CLV-Clevelândia, PR	-50.3945	-28.3572	946	X	X	X	X	X					
2014/2015	CNN-Canarana, MT	-52.5252	-13.4673	388					X	X	X	X	X	X
2014/2015	CNP-Campo Novo do Parecis, MT	-57.6919	-13.7314	554						X	X	X	X	X
2014/2015	COR-Correntina, BA	-45.4500	-13.3794	925							X	X	X	X
2014/2015	CPN-Campos Novos, SC	-51.2515	-27.3602	890		X	X	X	X					
2014/2015	CRI-Cristalina, GO	-47.5282	-16.4175	963			X	X	X	X	X	X		
2014/2015	CST-Castro, PR	-49.9689	-24.8539	996		X	X	X	X					

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2014/2015	CSU-Chapadão do Sul, MS	-51.6481	-19.6983	827			X	X	X	X	X			
2014/2015	CTL-Catalão, GO	-47.9197	-18.1957	795			X	X	X	X	X			
2014/2015	CVD-Campo Verde, MT	-55.0851	-15.4686	732					X	X	X	X	X	X
2014/2015	CXL-Coxilha, RS	-52.3029	-28.1285	721	X	X	X	X	X					
2014/2015	DMT-Diamantino, MT	-56.4778	-14.3956	620			X		X	X	X	X	X	X
2014/2015	DRD-Dourados, MS	-54.8968	-22.1952	453				X	X	X				
2014/2015	FRB-Francisco Beltrão, PR	-50.6126	-28.5910	621		X	X	X	X					
2014/2015	FRP-Formosa do Rio Preto, BA	-45.1913	-11.2786	776								X	X	X
2014/2015	GPV-Guarapuava, PR	-51.4562	-25.3935	974	X	X	X	X	X					
2014/2015	GRI-Gurupi, TO	-49.2025	-12.1006	318								X	X	X
2014/2015	GTB-Goiatuba, GO	-49.3737	-18.0150	580					X	X	X			
2014/2015	IDN-Ipiranga do Norte, MT	-56.0942	-13.9701	259					X	X	X	X	X	X
2014/2015	ITB-Ituiutaba, MG	-49.4456	-18.9536	583					X	X	X			
2014/2015	ITP-Itaporã, MS	-54.7939	-22.0805	390					X	X	X			
2014/2015	ITQ-Itiquira, MT	-54.1819	-17.2181	521					X	X	X	X	X	X
2014/2015	JDC-Júlio de Castilhos, RS	-53.6777	-29.2303	513		X	X	X	X					
2014/2015	JGV-Jaguariaíva, PR	-49.7071	-24.2444	840		X	X	X	X					
2014/2015	JTI-Jataí, GO	-51.8172	-17.8519	769			X	X	X	X	X	X		
2014/2015	LDN-Londrina, PR	-51.0787	-23.2036	433	X	X	X	X	X	X	X	X		
2014/2015	LGC-Laguna Carapã, MS	-55.1507	-22.5453	478					X	X	X			
2014/2015	LRV-Lucas do Rio Verde, MT	-56.0084	-13.0634	395					X	X	X	X	X	X
2014/2015	MCJ-Maracaju, MS	-55.0878	-21.6253	499	X	X	X	X	X	X	X			
2014/2015	MRS-Morinhas, GO	-49.1064	-17.7338	771			X	X	X	X	X	X		
2014/2015	MTV-Montividiu, GO	-51.3131	-17.3333	829				X	X	X				
2014/2015	NCO-Nova Colinas, MA	-46.2611	-7.1230	385								X	X	X
2014/2015	NMT-Nova Mutum, MT	-56.0421	-13.7115	380					X	X	X	X	X	X
2014/2015	NOM-Nova Mariândia, MT	-56.9717	-14.3647	489					X	X	X	X	X	X

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2014/2015	NUB-Nova Ubiratã, MT	-55.2471	-12.9314	400					X	X	X	X	X	
2014/2015	NVR-Naviraí, MS	-54.0921	-23.0709	355				X	X	X				
2014/2015	NXT-Nova Xavantina, MT	-52.3459	-14.6668	280			X		X	X	X	X	X	X
2014/2015	PDP-Pedra Preta, MT	-54.4727	-16.6249	248				X	X	X	X	X	X	X
2014/2015	PGR-Ponta Grossa, PR	-50.3032	-25.0903	842	X	X	X	X	X					
2014/2015	PLE-Primavera do Leste, MT	-54.2078	-15.4403	619				X	X	X	X	X	X	
2014/2015	PLT-Palotina , PR	-53.8059	-24.2837	350		X	X	X	X					
2014/2015	PNT-Porto Nacional, TO	-48.3820	-10.7705	231							X	X	X	X
2014/2015	PRN-Paraúna, GO	-50.4488	-16.9467	710				X	X	X				
2014/2015	PRT-Paracatu, MG	-46.8715	-17.2256	688				X	X	X				
2014/2015	QRC-Querência, MT	-52.2166	-12.5907	338		X			X	X	X	X	X	X
2014/2015	RBR-Rio Brilhante, MS	-54.6258	-21.6551	359					X	X				
2014/2015	RLD-Rolador, RS	-54.8181	-28.2580	273		X	X	X	X					
2014/2015	RVD-Rio Verde, GO	-50.9951	-17.4602	835			X	X	X	X	X	X	X	
2014/2015	SDD-São Desiderio, BA	-46.0422	-12.7968	662								X	X	X
2014/2015	SDL-Sidrolândia, MS	-55.1496	-21.0136	562					X	X	X			
2014/2015	SLG-São Luiz Gonzaga, RS	-55.1131	-28.3163	300		X	X	X	X					
2014/2015	SNP-Sinop, MT	-55.5346	-12.0215	387			X		X	X	X	X	X	X
2014/2015	SPZ-Sapezal, MT	-58.8262	-13.6622	613					X	X	X	X	X	X
2014/2015	SRM-São R. das Mangabeiras, MA	-45.4813	-7.0222	225							X	X	X	X
2014/2015	SRS-Sorriso, MT	-55.6915	-12.5476	378			X		X	X	X	X	X	X
2014/2015	STN-Sertanópolis, PR	-51.0404	-23.0575	320				X	X	X				
2014/2015	STR-Santa Rosa, TO	-48.1058	-11.4803	306								X	X	X
2014/2015	STZ-Santa Terezinha, PR	-54.4279	-25.4776	291		X	X	X	X					
2014/2015	SVN-Silvânia, GO	-48.6226	-16.6592	931			X	X	X	X	X			
2014/2015	SVS-São Vicente do Sul, RS	-54.6832	-29.6887	129	X	X	X	X	X	X				
2014/2015	UBL-Uberlândia, MG	-48.1488	-19.0834	920				X	X	X	X	X		

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2014/2015	UBR-Uberaba, MG	-47.8396	-19.7741	822				X	X	X				
2014/2015	UNI-Unaí, MG	-46.9059	-16.3581	565				X	X	X				
2014/2015	URC-Uruçuí, PI	-44.5581	-7.2398	167							X	X	X	X
2014/2015	VCR-Vacaria, RS	-50.9776	-28.3860	891	X	X	X	X	X					
2015/2016	ABL-Abelardo Luz, SC	-51.7444	-27.1754	813	X	X	X	X	X					
2015/2016	ABO-Água Boa, MT	-52.1365	-14.0038	446					X	X	X	X	X	X
2015/2016	ARM-Aral Moreira, MS	-55.4173	-22.7974	506			X	X	X	X				
2015/2016	ARP-Arapoti, PR	-50.0879	-24.2608	941	X	X	X	X	X					
2015/2016	BAR-Barreiras, BA	-45.8166	-12.0146	831					X	X	X	X	X	X
2015/2016	BGR-Baixa Grande do Ribeiro, PI	-45.2141	-7.8500	325						X	X	X	X	X
2015/2016	BLS-Balsas, MA	-46.0365	-7.5329	283						X	X	X	X	X
2015/2016	BRN-Brasnorte, MT	-58.0616	-12.9021	462					X		X	X	X	X
2015/2016	BVM-Boa Vista das Missões, RS	-53.3481	-27.6500	561	X	X	X	X	X					
2015/2016	CAA-Caarapó, MS	-54.7991	-22.5946	416			X	X	X					
2015/2016	CAM-Campo Mourão, PR	-52.3375	-24.0213	588			X	X	X					
2015/2016	CCN-Cachoeirinha, RS	-51.1170	-29.9490	17				X	X	X				
2015/2016	CCS-Cachoeira do Sul, RS	-53.2045	-30.2752	118		X	X	X	X	X				
2015/2016	CCV-Cascavel, PR	-53.4967	-24.9243	683	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	CJU-Campos de Júlio, MT	-59.2502	-13.7424	629						X	X	X	X	X
2015/2016	CLA-Cláudia, MT	-54.8976	-11.5159	390						X		X	X	X
2015/2016	CNN-Canarana, MT	-52.5252	-13.4673	388						X	X	X	X	X
2015/2016	CNP-Campo Novo do Parecis, MT	-57.6919	-13.7314	554						X	X	X	X	X
2015/2016	COR-Correntina, BA	-45.4500	-13.3794	925						X	X	X	X	X
2015/2016	CPN-Campos Novos, SC	-51.2515	-27.3602	890	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	CPP-Capinópolis, MG	-49.5691	-18.6956	532				X	X	X	X			
2015/2016	CPR-Cornélio Procópio, PR	-50.7730	-23.4353	659			X	X	X	X				
2015/2016	CRI-Cristalina, GO	-47.5282	-16.4175	963			X	X	X	X	X	X	X	X

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2015/2016	CST-Castro, PR	-49.9689	-24.8539	996	X	X	X	X	X					
2015/2016	CSU-Chapadão do Sul, MS	-51.6481	-19.6983	827				X	X	X	X			
2015/2016	CTL-Catalão, GO	-47.9197	-18.1957	795				X	X	X	X			
2015/2016	CTR-Costa Rica, MS	-53.2292	-18.2814	851				X	X	X	X			
2015/2016	CVD-Campo Verde, MT	-55.0851	-15.4686	732							X	X	X	
2015/2016	CZA-Cruz Alta, RS	-53.6643	-28.6089	429	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	DCL-Decolândia, MT	-57.4108	-14.0528	568					X		X	X	X	
2015/2016	DRD-Dourados, MS	-54.8968	-22.1952	453			X	X	X	X	X			
2015/2016	FRB-Francisco Beltrão, PR	-50.6126	-28.5910	621	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	FRP-Formosa do Rio Preto , BA	-45.1913	-11.2786	776							X	X	X	
2015/2016	GPV-Guarapuava, PR	-51.4562	-25.3935	974	X	X	X	X	X					
2015/2016	GRI-Gurupi, TO	-49.2025	-12.1006	318							X	X	X	X
2015/2016	GTB-Goiatuba, GO	-49.3737	-18.0150	580				X	X	X	X	X		
2015/2016	IDR-Indiara, GO	-50.0092	-17.1156	571				X	X	X	X	X	X	
2015/2016	ITL-Itaipulândia, PR	-54.4223	-25.0771	240				X	X	X				
2015/2016	ITQ-Itiquira, MT	-54.1819	-17.2181	521				X	X	X	X	X	X	
2015/2016	JCR-Jaciara, MT	-54.9680	-15.9650	367				X	X	X	X	X	X	
2015/2016	JTI-Jataí, GO	-51.8172	-17.8519	769				X	X	X	X	X		
2015/2016	JUR-Juranda, PR	-52.7579	-24.3652	629	X	X	X	X	X					
2015/2016	LDN-Londrina, PR	-51.0787	-23.2036	433	X	X	X	X	X	X	X			
2015/2016	LRV-Lucas do Rio Verde, MT	-56.0084	-13.0634	395					X	X	X	X	X	
2015/2016	MCJ-Maracaju, MS	-55.0878	-21.6253	499				X	X	X				
2015/2016	MGR-Manguerinha, PR	-51.3186	-26.8249	872	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	MLD-Maurilândia, GO	-50.3706	-18.0131	488				X	X	X	X	X		
2015/2016	MRC-Maracá, SP	-50.6671	-22.6112	377				X	X	X	X			
2015/2016	MRG-Maringá, PR	-51.9388	-23.4251	506				X	X	X				
2015/2016	MTV-Montividiu, GO	-51.3131	-17.3333	829				X	X	X	X	X	X	

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2015/2016	NOM-Nova Marilândia, MT	-56.9717	-14.3647	489					X		X	X	X	
2015/2016	NUB-Nova Ubiratã, MT	-55.2471	-12.9314	400					X		X	X	X	
2015/2016	NVR-Naviraí, MS	-54.0921	-23.0709	355			X	X	X					
2015/2016	PAF-Pedro Afonso, TO	-48.1040	-9.0140	221							X	X	X	X
2015/2016	PBR-Pato Branco, PR	-52.0990	-26.7753	796	X	X	X	X	X					
2015/2016	PDS-Palmares do Sul, RS	-50.4919	-30.3672	9				X	X		X			
2015/2016	PFU-Passo Fundo, RS	-52.4041	-28.2388	622	X	X	X	X	X					
2015/2016	PGR-Ponta Grossa, PR	-50.3032	-25.0903	842	X	X	X	X	X					
2015/2016	PLE-Primavera do Leste, MT	-54.2078	-15.4403	619			X	X	X	X	X	X	X	X
2015/2016	PLT-Palotina, PR	-53.8059	-24.2837	350			X	X	X					
2015/2016	PNT-Porto Nacional, TO	-48.3820	-10.7705	231					X		X	X	X	X
2015/2016	PRG-Paranatinga, MT	-54.1759	-14.1874	550					X	X	X	X	X	X
2015/2016	QRC-Querência, MT	-52.2166	-12.5907	338					X	X	X	X	X	X
2015/2016	RAL-Rancho Alegre, PR	-52.9745	-24.3226	495	X	X	X	X	X		X			
2015/2016	RBR-Rio Brilhante, MS	-54.6258	-21.6551	359				X	X	X	X			
2015/2016	RCL-Ribeirão Cascalheira, MT	-51.6777	-13.0132	353						X		X	X	X
2015/2016	RLD-Rolador, RS	-54.8181	-28.2580	273	X	X	X	X	X	X	X			
2015/2016	RLZ-Realeza, PR	-52.2790	-27.0158	445	X	X	X	X	X					
2015/2016	RSC-Restinga Seca, RS	-53.3106	-29.7399	56	X	X	X	X	X					
2015/2016	RVD-Rio Verde, GO	-50.9951	-17.4602	835				X	X	X	X	X	X	X
2015/2016	SAA-Santo Augusto, RS	-53.6991	-27.9243	514	X	X	X	X	X					
2015/2016	SDD-São Desiderio, BA	-46.0422	-12.7968	662								X	X	X
2015/2016	SDJ-Salto do Jacuí, RS	-53.2395	-29.0469	391	X	X	X	X	X					
2015/2016	SDL-Sidrolândia, MS	-55.1496	-21.0136	562				X	X	X	X			
2015/2016	SGB-São Gabriel, RS	-54.0783	-30.2809	151				X	X	X				
2015/2016	SGO-São Gabriel do Oeste, MS	-54.5572	-19.3916	382				X	X	X	X	X		
2015/2016	SMA-Santa Maria, RS	-54.1038	-29.8485	104			X	X	X	X				

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2015/2016	SNP-Sinop, MT	-55.5346	-12.0215	387			X	X	X	X	X	X	X	
2015/2016	SPZ-Sapezal, MT	-58.8262	-13.6622	613					X	X	X	X	X	X
2015/2016	SRS-Sorriso, MT	-55.6915	-12.5476	378					X	X	X	X	X	X
2015/2016	SRT-Santa Rita do Trivelato, MT	-55.2675	-13.8227	490					X		X	X	X	X
2015/2016	STA-Santo Ângelo, RS	-54.2631	-28.2992	315	X	X	X	X	X					
2015/2016	STB-Santa Bárbara, RS	-53.2532	-28.3559	474	X	X	X	X	X	X	X			
2015/2016	STJ-Sertaneja, PR	-50.8763	-22.8996	373			X	X	X	X	X			
2015/2016	STR-Santa Rosa, TO	-48.1058	-11.4803	306								X	X	X
2015/2016	SVN-Silvânia, GO	-48.6226	-16.6592	931			X	X	X	X	X	X	X	
2015/2016	SVP-Silvanópolis, TO	-48.1830	-11.1358	262								X	X	X
2015/2016	SVT-Santa Vitoria do Palmar, RS	-53.3425	-33.5844	23					X	X	X			
2015/2016	TBG-Tibagi, PR	-50.4364	-24.4656	762	X	X	X	X	X	X				
2015/2016	TPC-Tupancireta, RS	-53.8230	-29.0766	461	X	X	X	X	X	X	X			
2015/2016	TPR-Tapurah, MT	-56.5540	-12.7720	446						X		X	X	X
2015/2016	TRD-Trindade, GO	-49.4890	-16.6490	756			X	X	X	X	X	X	X	
2015/2016	UBL-Uberlândia, MG	-48.1488	-19.0834	920			X	X	X	X	X	X	X	
2015/2016	UBR-Uberaba, MG	-47.8396	-19.7741	822				X	X	X	X	X	X	
2015/2016	UNI-Unaí, MG	-46.9059	-16.3581	565			X	X	X	X	X	X	X	
2015/2016	URU-Uruguaiana, RS	-57.0887	-29.8537	66				X	X	X	X			
2015/2016	VCR-Vacaria, RS	-50.9776	-28.3860	891	X	X	X	X	X	X	X			
2016/2017	ABL-Abelardo Luz, SC	-51.7444	-27.1754	813		X	X	X	X	X				
2016/2017	ABO-Água Boa, MT	-52.1365	-14.0038	446						X	X	X	X	X
2016/2017	ARM-Aral Moreira, MS	-55.4173	-22.7974	506			X	X	X	X	X			
2016/2017	ARP-Arapoti, PR	-50.0879	-24.2608	941		X	X	X	X	X				
2016/2017	ASI-Assis, SP	-50.2750	-22.6420	470			X	X	X	X		X		
2016/2017	BAG-Bagé, RS	-54.1313	-31.5388	154		X	X	X	X	X				
2016/2017	BAR-Barreiras, BA	-45.8166	-12.0146	831							X	X	X	X

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2016/2017	BGR-Baixa Grande do Ribeiro, PI	-45.2141	-7.8500	325						X	X	X	X	X
2016/2017	BJP-Bom Jesus do Piauí, PI	-44.3573	-9.0751	273						X	X	X	X	X
2016/2017	BLS-Balsas, MA	-46.0365	-7.5329	283						X	X	X	X	X
2016/2017	BRN-Brasnorte, MT	-58.0616	-12.9021	462				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	BRT-Barretos, SP	-48.7239	-20.6991	573				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	BUR-Buri , SP	-48.4253	-23.7848	649			X	X	X					
2016/2017	BZN-Bozano, RS	-53.7658	-28.3674	429		X	X	X	X					
2016/2017	CAA-Caarapó, MS	-54.7991	-22.5946	416			X	X	X	X	X			
2016/2017	CAL-Campo Alegre, GO	-47.7434	-17.6113	892				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CAM-Campo Mourão, PR	-52.3375	-24.0213	588			X	X	X	X	X			
2016/2017	CCS-Cachoeira do Sul , RS	-53.2045	-30.2752	118		X	X	X	X	X	X			
2016/2017	CCV-Cascavel, PR	-53.4967	-24.9243	683		X	X	X	X	X	X			
2016/2017	CDI-Candói, PR	-52.0242	-25.6239	904		X	X	X	X	X				
2016/2017	CER-Cerejeiras, RO	-60.9322	-13.2264	216				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CJU-Campos de Júlio, MT	-59.2502	-13.7424	629				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CLA-Cláudia, MT	-54.8976	-11.5159	390				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CLV-Clevelândia, PR	-50.3945	-28.3572	946		X	X	X	X					
2016/2017	CND-Candido Mota, SP	-50.4153	-22.8025	486			X	X	X	X	X	X		
2016/2017	CNN-Canarana, MT	-52.5252	-13.4673	388					X	X	X	X	X	X
2016/2017	CNP-Campo Novo do Parecis, MT	-57.6919	-13.7314	554				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	COR-Correntina, BA	-45.4500	-13.3794	925					X	X	X	X	X	X
2016/2017	CPN-Campos Novos, SC	-51.2515	-27.3602	890		X	X	X	X					
2016/2017	CPP-Capinópolis, MG	-49.5691	-18.6956	532				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CPR-Cornélio Procópio, PR	-50.7730	-23.4353	659			X	X	X	X				
2016/2017	CRB-Corbélia, PR	-53.2911	-24.7982	600			X	X	X					
2016/2017	CRI-Cristalina, GO	-47.5282	-16.4175	963				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CRZ-Carazinho, RS	-52.6692	-28.2836	591		X	X	X	X					

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2016/2017	CST-Castro, PR	-49.9689	-24.8539	996		X	X	X	X					
2016/2017	CSU-Chapadão do Sul, MS	-51.6481	-19.6983	827				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	CTL-Catalão, GO	-47.9197	-18.1957	795				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	CTR-Costa Rica, MS	-53.2292	-18.2814	851				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	CVD-Campo Verde, MT	-55.0851	-15.4686	732			X	X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	CZA-Cruz Alta, RS	-53.6643	-28.6089	429	X	X	X	X	X					
2016/2017	DCL-Deciolândia, MT	-57.4108	-14.0528	568				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	DMT-Diamantino, MT	-56.4778	-14.3956	620					X	X	X	X	X	X
2016/2017	DOM-Dom Pedrito, RS	-54.9792	-30.8531	157		X	X	X	X	X	X			
2016/2017	DRD-Dourados, MS	-54.8968	-22.1952	453			X	X	X	X	X			
2016/2017	EIJ-Entre-Ijuis, RS	-54.2566	-28.2507	286		X	X	X	X					
2016/2017	ELD-Eldorado, MS	-54.2760	-23.7866	370			X	X	X	X	X			
2016/2017	FIG-Figueirópolis, TO	-49.2303	-12.1778	318						X	X	X	X	
2016/2017	FLO-Floresta, PR	-52.0884	-23.6191	388			X	X	X	X	X			
2016/2017	FMS-Formosa, GO	-47.5228	-15.4992	1188				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	FRB-Francisco Beltrão, PR	-50.6126	-28.5910	621		X	X	X	X					
2016/2017	FRP- Formosa do Rio Preto , BA	-45.1913	-11.2786	776						X	X	X	X	
2016/2017	GPV-Guarapuava, PR	-51.4562	-25.3935	974		X	X	X	X					
2016/2017	GRI-Gurupi, TO	-49.2025	-12.1006	318						X	X	X	X	
2016/2017	GTB-Goiatuba, GO	-49.3737	-18.0150	580				X	X	X	X	X		
2016/2017	GUR-Guaíra, SP	-48.1882	-20.2162	510				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	IBR-Itaberá, SP	-49.1592	-24.0455	680			X	X	X	X				
2016/2017	IDN-Ipiranga do Norte, MT	-56.0942	-13.9701	259				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	IDR-Indiara, GO	-50.0092	-17.1156	571				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	ITA-Itapejara Do Oeste, PR	-52.9131	-25.9717	492		X	X	X	X					
2016/2017	ITB-Ituiutaba, MG	-49.4456	-18.9536	583				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	ITQ-Itiquira, MT	-54.1819	-17.2181	521			X	X	X	X	X	X	X	

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2016/2017	JTI-Jataí, GO	-51.8172	-17.8519	769				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	JUR-Juranda, PR	-52.7579	-24.3652	629			X	X	X					
2016/2017	JUS-Jussara, PR	-52.4709	-23.6261	370			X	X	X	X				
2016/2017	JUT-Juti, MS	-54.6062	-22.8678	370			X	X	X	X				
2016/2017	LDN-Londrina, PR	-51.0787	-23.2036	433	X	X	X	X	X	X				
2016/2017	LEM-Luiz Eduardo Magalhães, BA	-46.0971	-12.0728	840						X	X	X	X	X
2016/2017	LRV-Lucas do Rio Verde, MT	-56.0084	-13.0634	395				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	MAL-Marechal C. Rondon, PR	-54.0486	-24.5577	380			X	X	X	X				
2016/2017	MAM-Mamborê, PR	-52.5054	-24.3736	722			X	X	X					
2016/2017	MCJ-Maracaju, MS	-55.0878	-21.6253	499			X	X	X	X				
2016/2017	MDS-Mauá da Serra, PR	-51.1914	-23.9072	1061			X	X	X	X				
2016/2017	MGR-Manguerinha, PR	-51.3186	-26.8249	872		X	X	X	X					
2016/2017	MIN-Mineiros, GO	-52.3586	-17.4144	940				X	X	X	X			
2016/2017	MIS-Missal, PR	-54.2536	-25.0953	250			X	X	X					
2016/2017	MLD-Marilândia, GO	-50.3706	-18.0131	488				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	MRC-Maracáí, SP	-50.6671	-22.6112	377			X	X	X	X				
2016/2017	MRP-Mariópolis, PR	-52.4908	-26.4703	846		X	X	X	X					
2016/2017	MTV-Montividiu, GO	-51.3131	-17.3333	829			X	X	X	X	X	X	X	
2016/2017	NMT-Nova Mutum, MT	-56.0421	-13.7115	380				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	NVR-Naviraí, MS	-54.0921	-23.0709	355			X	X	X	X				
2016/2017	NXT-Nova Xavantina, MT	-52.3459	-14.6668	280					X	X	X	X	X	X
2016/2017	PAF-Pedro Afonso, TO	-48.1040	-9.0140	221						X	X	X	X	X
2016/2017	PBR-Pato Branco , PR	-52.0990	-26.7753	796		X	X	X	X					
2016/2017	PEB-Padre Bernardo, GO	-47.5228	-15.4996	1187					X	X	X			
2016/2017	PFU-Passo Fundo, RS	-52.4041	-28.2388	622		X	X	X	X					
2016/2017	PGR-Ponta Grossa, PR	-50.3032	-25.0903	842	X	X	X	X	X					
2016/2017	PLE-Primavera do Leste, MT	-54.2078	-15.4403	619			X	X	X	X	X	X	X	

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2016/2017	PLT-Palotina , PR	-53.8059	-24.2837	350		X	X	X						
2016/2017	PMS-Palmeira das Missões, RS	-53.5620	-28.0191	599		X	X	X	X					
2016/2017	PNT- Porto Nacional, TO	-48.3820	-10.7705	231						X	X	X	X	X
2016/2017	PPO- Ponta Porã, MS	-55.6903	-22.4449	630			X	X	X					
2016/2017	PRG-Paranatinga, MT	-54.1759	-14.1874	550			X	X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	QCT-Quarto Centenário, PR	-53.1626	-24.2917	462			X	X	X					
2016/2017	QRC-Querência, MT	-52.2166	-12.5907	338					X	X	X	X	X	X
2016/2017	RBR-Rio Brilhante, MS	-54.6258	-21.6551	359			X	X	X	X	X			
2016/2017	RCH-Riachão, MA	-46.6146	-7.3601	362							X	X	X	X
2016/2017	RCL-Ribeirão Cascalheira, MT	-51.6777	-13.0132	353							X	X	X	X
2016/2017	RDP-Rondonópolis, MT	-54.7209	-16.5890	449			X	X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	RLD-Rolador, RS	-54.8181	-28.2580	273			X	X	X	X				
2016/2017	RLZ-Realeza, PR	-52.2790	-27.0158	445			X	X	X	X				
2016/2017	ROS- Rosário do Sul, RS	-54.7217	-30.2139	171			X	X	X	X	X			
2016/2017	RVD- Rio Verde, GO	-50.9951	-17.4602	835				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	SAA-Santo Augusto, RS	-53.6991	-27.9243	514			X	X	X	X				
2016/2017	SAH-Santa Helena, PR	-54.3768	-24.9250	255				X	X	X	X			
2016/2017	SAI-Sarandi, RS	-52.7739	-27.9164	647			X	X	X	X				
2016/2017	SAN-Santa Terezinha do Oeste, PR	-53.6126	-25.0487	550				X	X	X	X			
2016/2017	SAP-São Sepé, RS	-53.5904	-30.1451	72			X	X	X	X	X			
2016/2017	SDD-São Desiderio, BA	-46.0422	-12.7968	662							X	X	X	X
2016/2017	SDJ-Salto do Jacuí, RS	-53.2395	-29.0469	391			X	X	X	X				
2016/2017	SDL-Sidrolândia, MS	-55.1496	-21.0136	562				X	X	X	X			
2016/2017	SGB-São Gabriel, RS	-54.0783	-30.2809	151			X	X	X	X	X			
2016/2017	SGO-São Gabriel do Oeste, MS	-54.5572	-19.3916	382					X	X	X	X	X	X
2016/2017	SJA-São João da Aliança, GO	-47.5214	-14.7086	986					X	X	X	X	X	X
2016/2017	SJC-São José do Rio Claro, MT	-56.4317	-13.2648	350					X	X	X	X	X	X

Apêndice A. Continuação...

Safra	Local	Long. (°)	Lat. (°)	Alt. (m)	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	7.5-7.9	8.0-8.4	8.5-8.9	9.0-9.5
2016/2017	SLG-São Luiz Gonzaga, RS	-55.1131	-28.3163	300		X	X	X	X					
2016/2017	SMA-Santa Maria, RS	-54.1038	-29.8485	104		X	X	X	X	X				
2016/2017	SNP-Sinop, MT	-55.5346	-12.0215	387				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	SPZ-Sapezal, MT	-58.8262	-13.6622	613				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	SRM-São R. das Mangabeiras, MA	-45.4813	-7.0222	225						X	X	X	X	X
2016/2017	SRS-Sorriso, MT	-55.6915	-12.5476	378				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	SRT-Santa Rita do Trivelato, MT	-55.2675	-13.8227	490				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	STB-Santa Bárbara, RS	-53.2532	-28.3559	474		X	X	X	X					
2016/2017	STJ-Sertaneja, PR	-50.8763	-22.8996	373			X	X	X			X		
2016/2017	STL-Santo Antônio do Leste, MT	-53.5691	-14.8291	638			X	X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	STR-Santa Rosa, TO	-48.1058	-11.4803	306						X	X	X	X	X
2016/2017	SVN-Silvânia, GO	-48.6226	-16.6592	931				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	SVP-Silvanópolis, TO	-48.1830	-11.1358	262						X	X	X	X	X
2016/2017	TAM-Tamarana, PR	-51.1016	-23.7266	880			X	X	X	X				
2016/2017	TAP-Tapera, RS	-52.9076	-28.6589	400		X	X	X	X					
2016/2017	TBG-Tibagi, PR	-50.4364	-24.4656	762		X	X	X	X					
2016/2017	TPC-Tupancireta, RS	-53.8230	-29.0766	461		X	X	X	X					
2016/2017	TPS-Tupassi, PR	-53.5229	-24.5864	550			X	X	X					
2016/2017	TSE-Tangará da Serra, MT	-57.7622	-14.2603	661				X	X	X	X	X	X	X
2016/2017	TUP-Tupirama, TO	-48.2429	-8.9168	254							X	X	X	X
2016/2017	UBI-Ubiratã, PR	-53.0145	-24.5556	460			X	X	X					
2016/2017	UBL-Uberlândia, MG	-48.1488	-19.0834	920				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	UBR-Uberaba, MG	-47.8396	-19.7741	822				X	X	X	X	X	X	
2016/2017	UNI- Unaí, MG	-46.9059	-16.3581	565					X	X	X	X		
2016/2017	URC-Uruçui, PI	-44.5581	-7.2398	167						X	X	X	X	X
2016/2017	VCR-Vacaria, RS	-50.9776	-28.3860	891	X	X	X	X	X					
2016/2017	VIC-Vicentina, MS	-54.4092	-22.3975	355			X	X	X	X				

Apêndice B. Resultados da análise de deviance, componentes de variância e coeficientes de determinação referentes à análise conjunta para a variável ciclo, considerando-se 159 genótipos, em 175 localidades brasileiras, ao longo de quatro safras subsequentes (2013/2014 a 2016/2017).

Fatores	Deviance	LRT( $\chi^2$ )	AIC	Variância	Desvio-padrão	R <sup>2</sup>
Ano	29393	50,132 <sup>ns</sup>	29399	3,798	1,949	0,0115
Local	27527	1865,662*	27537	190,554	13,804	0,5790
Genótipo	24970	2556,923*	24982	96,328	9,815	0,2927
Genótipo x Local	24478	492,282*	24492	14,666	3,830	0,0446
Resíduo	-	-	-	23,773	4,876	0,0722
Modelo	29443	-	-	-	-	-

\* Valores significativos pelo teste  $\chi^2$  a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativos a 5% de probabilidade.

Apêndice C. Resultados médios do ajuste de regressões lineares entre os ciclos de linhagens em teste e a maturação relativa de cultivares testemunhas, usados para a estimação da maturidade das linhagens e reestimação da maturidade das testemunhas.

Região	Coeficientes	Estimativas	Erro-padrão	R <sup>2</sup>	n
Sul-e-últicai	■	0,0484*	0,0043	84,20	11
	□	0,3171*	0,0021		
Tropical	■	0,0754*	0,0014	88,08	98
	□	-1,5712*	0,1737		

\* Valores significativos a 5% de probabilidade.