



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA



RAPHAEL ROSSI SILVA

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E VARIABILIDADE DO QUOCIENTE  
FOTOTERMAL PARA A CULTURA DO TRIGO NO ESTADO DO PARANÁ

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO  
2011

RAPHAEL ROSSI SILVA

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E VARIABILIDADE DO QUOCIENTE  
FOTOTERMAL PARA A CULTURA DO TRIGO NO ESTADO DO PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, do Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco. Área de Concentração: Produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin.

PATO BRANCO

2011

S586a **Silva, Raphael Rossi**  
**Adaptabilidade, estabilidade e variabilidade do quociente fototermal para a cultura do trigo no Estado do Paraná / Raphael Rossi Silva. Pato Branco. UTFPR, 2011**  
**XI, 96 f. : il. ; 30 cm**  
**Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin**  
**Co-orientadores: Prof. Dr. José Abramo Marchese e Dr. Volmir Sérgio Marchioro.**  
**Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2011.**  
**1. Interação genótipo x ambiente. 2. AMMI. 3. GGE biplot. 4. REML/BLUP. 5. Radiação solar. I. Benin, Giovani, orient. II. Marchese, José Abramo; Marchioro, Volmir Sérgio, co-orientadores. III. Adaptabilidade, Estabilidade e variabilidade do quociente fototermal para a cultura do trigo no Estado do Paraná. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.**

**CDD: 630.334**

Ficha Catalográfica elaborada por

Cleide Bezerra CRB 9ª/770

Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Pato Branco  
Gerência de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 030


**Adaptabilidade, estabilidade e variabilidade do quociente fototermal para a cultura do trigo no estado do Paraná**

por

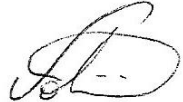
**Raphael Rossi Silva**

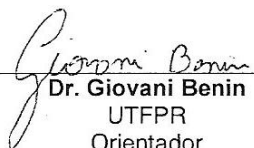
Dissertação apresentada às oito horas e trinta minutos do dia onze de fevereiro de dois mil e onze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Pato Branco*. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho. . *aprovado* . . . . .

Banca examinadora:

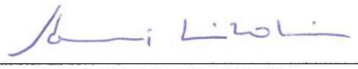
  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Igor Pérez Valério**  
Biotrigo Genética

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Abramo Marchese**  
UTFPR

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Volmir Sérgio Marchioro**  
COODETEC

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Giovanni Benin**  
UTFPR  
Orientador

Visto da Coordenação:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Idemir Citadin**  
Coordenador do PPGAG

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais que me ensinaram que é possível crescer com honestidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai (Geraldo de Fátima Silva) e minha mãe (Maria Aparecida Rossi Silva), por suas palavras de ânimo e o apoio nos diferentes momentos dessa jornada.

À minha noiva Keiciany Pereira Rosa por me ter suportado mesmo nos dias de estresse e sempre me animando.

Ao Dr. Giovani Benin (UTFPR) pelo conhecimento compartilhado, sugestões e apoio ao longo desse estudo.

Ao Dr. Giovani Olegário (EMBRAPA) pela disposição em compartilhar conhecimento de análises de adaptabilidade e estabilidade.

Ao Éder David Borges (graduando em Agronomia pela UFPR) pela ajuda nas análises estatísticas referentes à krigagem.

Aos professores do curso de Agronomia e do Programa de Pós Graduação em Agronomia da UTFPR pelo apoio e amizades.

Aos colegas de mestrado pelas horas de trabalho compartilhadas.

Ao Dr. Volmir Sérgio Marchioro (COODETEC) e Dr. Juliano Luiz de Almeida (FAPA) pela concessão dos dados de experimentos e disposição em solucionar dúvidas.

Ao Programa de Assistência ao Ensino (PAE) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, que tornaram possível a realização do mestrado.

“Quem nunca errou é porque nunca experimentou algo novo”.

## RESUMO

SILVA, Raphael Rossi. **Adaptabilidade, estabilidade e variabilidade do quociente fototermal para a cultura do trigo no Estado do Paraná**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é amplamente cultivado na região Sul do Brasil, a qual responde por cerca de 90% da produção nacional do cereal. Entretanto, ocorre grande variação climática nas diferentes áreas tritícolas que comprometem o rendimento de grãos. Assim, é importante que as cultivares possuam boa estabilidade e alto rendimento quando cultivada em diferentes locais. O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão para expor as qualidades das metodologias AMMI e GGE Biplot e, posteriormente, avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo, submetidas a diferentes épocas de semeadura em Guarapuava e Palotina, e identificar a melhor época de semeadura para cada localidade. Além disto, objetivou-se estudar a variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal e a ocorrência de geadas e discutir o impacto dessas variáveis na definição de épocas de semeadura para trigo no Estado do Paraná. Na revisão de literatura indica-se que a metodologia AMMI apresenta maior eficiência quando se deseja inferir a respeito do potencial de rendimento de grãos do ambiente, sendo recomendado o modelo AMMI1. Entretanto, quando o objetivo do pesquisador é estritamente selecionar genótipos superiores, que apresentam alto rendimento e estabilidade produtiva, o modelo GGE biplot é mais eficiente, principalmente, devido à presença do efeito principal do genótipo no PC1 (componente principal 1). Também, indica-se a metodologia GGE biplot para estudos de definição de megaambientes, ou seja, identificar grupos de ambientes. Na avaliação das cultivares em diferentes épocas de semeadura observou-se que semeaduras tardias em Guarapuava e antecipadas em Palotina foram as que proporcionam maior rendimento de grãos. A cultivar BRS Umbu (Guarapuava) apresentou adaptação específica à E1, considerada uma condição ambiental desfavorável. Por outro lado, a cultivar Safira apresentou ampla adaptabilidade, estabilidade e alto rendimento de grãos. Concluiu-se que em épocas discriminantes e não representativas como, por



exemplo, E1 (Guarapuava) as cultivares adaptadas a essa condição ambiental possuem adaptabilidade específica, enquanto que em épocas discriminantes e representativas como, por exemplo, E3 (Palotina) as cultivares adaptadas são de ampla adaptabilidade. O estudo da variabilidade do quociente fototermal e geadas indicou que há maior ocorrência da variabilidade entre as regiões de VCU do que variação temporal dentro de uma mesma região. Os maiores valores do quociente fototermal foram observados na região de VCU 1 (fria, úmida e alta) entretanto, com alta probabilidade de ocorrência de geadas. De forma geral, a região de VCU 3 (quente, moderadamente seca e baixa) apresentou os menores valores do quociente fototermal. A semeadura de trigo no Paraná devem ser realizadas primeiramente na região de VCU 3 (10/03 a 10/05) seguida da VCU 2 (20/03 a 10/06) e por fim a VCU 1 (20/06 a 20/07).

**Palavras-chave:** interação genótipo x ambiente, AMMI, GGE Biplot, REML/BLUP, radiação solar.

## ABSTRACT

SILVA, Raphael Rossi. **Adaptability, stability and variability of photothermal quotient for the wheat crop in Paraná State**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is broadly cultivated in South Region of Brazil where 90% of national production of this cereal stands. However, large climate variability occurs within different wheat areas that compromise grain yield. Thus, good stability and high yield of cultivars sowed in different locations is very important. The objective of this work was to perform a review to expose the qualities of AMMI and GGE Biplot methodologies and, later, to evaluate the adaptability and stability of wheat cultivars, submitted to different seasons of sowing at Guarapuava and Palotina locations, and identify the best sowing season for each. Also, this work aimed to study the time and space variability of photothermal quotient, the occurrence of hoarfrost and discuss the impact of these variables to define the adequate sowing season for wheat at Parana State. Literature review indicates that AMMI methodology presents the best efficiency when the potential of grain yield at the environment is to be inferred, and the AMMI1 model is recommended. However, when the objective of the researcher is strictly to select superior genotypes that present high yield and productive stability, the GGE biplot model is more efficient, mainly, due to the presence of main effect of PC1 in genotype (principal component 1). Also, GGE biplot methodology is indicated in studies for mega environments definition, in order to identify environmental groups. Late sowings in Guarapuava and advanced sowings in Palotina presented higher grain yield when cultivars were evaluated in different sowing seasons. BRS Umbu cultivar (Guarapuava) presented specific adaptation to E1, considered an unfavorable environmental condition. On the other hand, Safira cultivar presented high adaptability, stability and high grain yield. Therefore, it was concluded that in different and not representative seasons as, for example E1 (Guarapuava), adapted cultivars to this environmental condition present specific adaptability, while when in different and representative seasons as, for example E3 (Palotina), adapted cultivars present high adaptability. The highest values for the variability study of photothermal

quotient were observed in VCU1 region (cold, humid and high altitude) however the probability of hoarfrost occurrence was high. In a broader sense, VCU3 region (hot, moderately dry and low altitude) presented the lower values of photothermal quotient. Wheat sowing in Parana must be performed at first in VCU3 region (10/03 to 10/05) followed by VCU2 region (20/03 to 10/06) and for last in VCU1 region (20/06 to 20/07). Based on photothermal quotient, it was concluded that VCU1 region is the one that may present higher potential for grain yield.

Key-words: genotype x environment interaction, AMMI, GGE Biplot, REML/BLUP, solar radiation.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1: Gráfico biplot das matrizes G e E.....	20
Figura 2: Gráfico biplot comparando visualmente dois genótipos (a) e dois ambientes (b). .	21
Figura 3: Gráfico biplot para identificação visual dos maiores valores dos genótipos nos ambientes. ....	22
Figura 4: Gráfico biplot expondo a análise visual de adaptabilidade, estabilidade e rendimento de grãos. ....	24
Figura 5: Análise da associação entre genótipos e ambientes através dos ângulos. ....	25
Figura 6: Plotagem dos escores do PC1 e PC2 da análise GGE biplot (a) e dos escores do IPCA1 e IPCA2 da análise AMMI (b), em experimento com diferentes épocas de semeadura em Guarapuava. ....	31

### CAPÍTULO II

Figura 1: Dados climáticos de médias mensais dos três anos em que foram conduzidos os experimentos nas localidades de Guarapuava e Palotina. Fonte: SIMEPAR. ....	40
Figura 2: Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à interação entre genótipo e ambiente segundo o modelo AMMI1 conjunta (2006, 2007 e 2008) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo avaliadas em quatro épocas de semeadura em Guarapuava. Pato Branco, 2010. ....	46
Figura 3: Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à indicação de épocas de semeadura, segundo o modelo AMMI1 em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b), 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010. ....	47
Figura 4: Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à indicação de épocas de semeadura, segundo o modelo GGE biplot em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b), 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010. ....	50
Figura 5: Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à indicação da média e estabilidade produtiva, segundo o modelo GGE biplot em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b), 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010. ....	51

Figura 6: Visualização gráfica segundo o modelo GGE biplot da discriminação e representatividade das épocas de semeadura em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b) e 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010. .... 53

### **CAPÍTULO III**

Figura 1: Número de dias médio entre a ET-AN (A) e ciclo total (EM-MF) em dias, da cultivar BRS Guamirim em diferentes regiões no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 71

Figura 2: Quociente fototermal ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) médio no subperíodo ET-AN para trigo, considerando épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 74

Figura 3: Quociente fototermal ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) médio no subperíodo ET-AN para trigo, considerando épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/06 (B), 20/06 (C), 30/06 (D), 10/07 (E), 20/07 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 75

Figura 4: Probabilidade de ocorrência de temperatura inferior a  $3^{\circ}\text{C}$  (%) nos 10 dias anteriores e 05 posteriores a antese, considerando um cultivar de ciclo precoce e épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010. .... 78

Figura 5: Probabilidade de ocorrência de temperatura inferior a  $3^{\circ}\text{C}$  (%) nos 10 dias anteriores e 5 posteriores a antese, considerando um cultivar de ciclo precoce e épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/06 (B), 20/06 (C), 30/06 (D), 10/07 (E), 20/07 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 79

Figura 6: Aptidão das regiões do Estado para realização de semeadura, considerando épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 82

Figura 7: Aptidão das regiões do Estado para realização de semeadura, considerando épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/06 (B), 20/06 (C), 30/06 (D), 10/07 (E), 20/07 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 83

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO II**

Tabela 1: Resumo da análise de variância com a decomposição das somas de quadrados da interação genótipos x ambientes (AMMI), para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). 43

Tabela 2: Estimativas de parâmetros genéticos para as cultivares de trigo avaliadas em três anos e quatro épocas de semeadura, obtidas através da metodologia REML/BLUP. .... 45

Tabela 3: Valores genotípicos ( $g+g_e$ ) e ganhos genéticos preditos (Ganho) e nova média do rendimento de grãos de cultivares de trigo, estimados pela metodologia REML/BLUP em três anos, dois locais e quatro épocas de semeadura..... 55

### **CAPÍTULO III**

Tabela 1: Latitude, longitude, altitude e ano de início da série histórica de dados das 22 estações do SIMEPAR no estado do Paraná. Pato Branco, 2010..... 66

Tabela 2: Datas das fenofases da cultivar de trigo BRS Guamirim cultivada em diferentes épocas de semeadura em Pato Branco-PR. Pato Branco, 2010..... 67

Tabela 3: Valores de soma térmica ( $^{\circ}\text{Cd}$ ) estimados para a cultivar BRS Guamirim..... 70

## LISTA DE ABREVIATURAS

G	Genótipo
E	Ambiente
GxE	Interação entre genótipo e ambiente
AMMI	Additive main effects and multiplicative interaction analysis
GGE	Genotype and genotype-by-environment
REML/BLUP	Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction
FAPA	Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária
COODETEC	Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
$\sigma^2g$	Variância genotípica
$\sigma^2int$	Variância da interação genótipo x ambiente
$h^2g$	Herdabilidade dos efeitos genotípicos totais
$h^2mg$	Herdabilidade da média da cultivar
Acgen	Acurácia da seleção de cultivares
$c^2int$ ambiente	Coefficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente
Rgloc	Correlação genotípica entre o desempenho nas diferentes épocas de semeadura
$C\sigma^2gi\%$	Coefficiente de variação genotípica
$C\sigma^2e\%$	Coefficiente de variação residual
MG	Média geral do experimento em $kg\ ha^{-1}$
DVS	Decomposição de valores singulares
PC1	Componente principal 1 (GGE biplot)
PC2	Componente principal 2 (GGE biplot)
IPC1	Componente principal 1 (AMMI)
IPC2	Componente principal 2 (AMMI)

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
CAPÍTULO I .....	16
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 ANÁLISES AMMI E GGE BILOT: CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS	16
2.2 INTRODUÇÃO .....	17
2.3 TEORIA DO BILOT.....	18
2.3.2 Multiplicação de matrizes .....	18
2.3.2 Metodologias GGE biplot e AMMI .....	25
2.3.2.1 GGE.....	25
2.3.2.2 AMMI .....	27
2.3.2.3 GGE BILOT VERSUS AMMI.....	29
REFERÊNCIAS .....	33
<b>CAPÍTULO II</b> .....	35
<b>3. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA E REGIÕES TRITÍCOLAS</b> .....	35
3.1 INTRODUÇÃO.....	36
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.2.1 Local e delineamento experimental.....	39
3.2.2 Metodologias.....	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS .....	58
<b>CAPÍTULO III</b> .....	61
<b>4. IMPACTO DA VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DO QUOCIENTE FOTOTERMAL SOBRE O POTENCIAL DE RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO NO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	61
4.1 INTRODUÇÃO.....	62
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	66



4.2.1	Soma térmica.....	67
4.2.2	Quociente fototermal.....	68
4.2.3	Geadas .....	68
4.2.4	Krigagem .....	69
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4.3.1	Soma térmica e ciclo da cultivar BRS Guamirim .....	70
4.3.2	Quociente fototermal.....	71
4.3.3	Temperaturas abaixo de 3°C .....	75
4.3.4	Aptidão das regiões em relação às épocas de semeadura .....	79
<b>4.4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>84</b>
	REFERÊNCIAS .....	85
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
	REFERÊNCIAS – INTRODUÇÃO GERAL .....	90

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma poaceae anual, e um dos mais antigos cultivos explorados pelo homem, possuindo grande importância para alimentação humana, animal e na indústria. No Brasil a produção está concentrada na Região Sul, a qual é responsável por mais de 90% da produção nacional, que é próximo a 5 milhões de toneladas, mas o que é produzido corresponde a, aproximadamente 50%, do consumo interno. Nesse cenário destaca-se o Paraná por ser o maior produtor do cereal respondendo por 60% da produção nacional (CONAB, 2010).

Essa ampla área de cultivo de trigo submete a cultura às variações climáticas que são recorrentes nas principais áreas tritícolas, onde se pode destacar a precipitação, temperatura, radiação solar e fotoperíodo, que podem interagir negativamente com o genótipo e comprometer o rendimento ou até mesmo tornar a atividade inviável economicamente.

O trigo é uma planta que necessita de temperaturas relativamente baixas na sua fase inicial para que ocorra a indução floral, processo esse conhecido como vernalização. Entretanto, as cultivares brasileiras apresentam baixa necessidade da vernalização para a indução floral (RITCHIE, 1991; ACEVEDO, 2002).

O efeito da temperatura sobre a cultura do trigo pode ser determinante em diferentes etapas do desenvolvimento da cultura. Temperaturas elevadas tendem a diminuir o ciclo devido à aceleração da acumulação de graus-dias (MUNDSTOCK, 1999; SIAL et al., 2005). As geadas tem efeito direto na formação de grãos, em que se ocorrer no espigamento, é letal à planta, ocasionando perda total na produção de grãos, estrangulamento dos colmos, queima das folhas e os primórdios frutíferos são atingidos, com impedimento da formação do grão (SHEEREN, 1982; MISTRO e CAMARGO, 2002; SILVA et al., 2008). Essas perdas são maiores a partir da alongação, pois há aumento no conteúdo hídrico e baixa concentração de solutos existentes nas células, com aumento do ponto de congelamento, tornando a planta menos tolerante à geadas (GUSTA et al., 2004).

O rendimento potencial é afetado por vários fatores, entretanto a temperatura e radiação solar são os mais importantes e os de maior variabilidade espacial e temporal. Estudos demonstraram a influência da radiação, da temperatura e do quociente entre ambas as variáveis (FISCHER, 1985; MAGRIN et al., 1993) sobre o desempenho da cultura do trigo. Cunha et al. (2005) estudando a implicação

da temperatura e da radiação solar na formação do rendimento em trigo concluíram que o ideal é que ocorra alta radiação solar e temperatura amena entre as fases de espiguetas terminal e antese. Tais parâmetros são considerados como indicador de potencial de rendimento de grãos para a cultura, pois temperaturas amenas possibilitam maior duração das fenofases da cultura. Quando as fenofases são maiores há maior diferenciação de afilhos, primórdios florais e aumenta a fertilidade dos mesmos, bem como contribui no número de grãos por área e na duração do enchimento de grãos (FISCHER, 1985; MORAL et al., 2004; FISCHER, 2008).

A expressão fenotípica é decorrente da ação conjunta do genótipo (G), do ambiente (E) e de sua interação (GxE), que se reflete em diferenças de sensibilidade dos genótipos às variações ambientais, afetando seu comportamento produtivo em diferentes condições climáticas (BOTREL et al., 2005; CRUZ e CARNEIRO, 2006), impondo dificuldades na identificação de cultivares de melhor desempenho para cada região de cultivo.

Devido às variações ocorridas de uma região para outra ou entre épocas de semeadura pode haver a interação entre genótipos e os fatores ambientais (GxE), o que altera o valor fenotípico da planta (CRUZ e CARNEIRO, 2006), devendo ser estimada e considerada na indicação de cultivares para cada região (PRADO, 2001). A GxE é um grande problema na recomendação de cultivares ou em programas de melhoramento, sendo uma alternativa o uso de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (CRUZ e CARNEIRO, 2006). Para tanto é necessário a avaliação de adaptabilidade e estabilidade, que permite identificar genótipos de comportamento previsível e responsivos (FELICIO et al., 2001).

Nesse sentido, há diversas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, onde a diferença está baseada nos conceitos e procedimentos biométricos, destacando-se as análises AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) e GGE Biplot (genotype main effects + genotype x environment). A análise AMMI é mais parcimoniosa que o modelo de análise de variância convencional quando há interação entre genótipo e ambiente, pois modela e facilita a interpretação da GxE, em comparação à regressão linear simples. Já a análise GGE biplot consiste de uma modificação da análise AMMI, agrupando o efeito de genótipo com a GxE, submetendo-os à análise de componentes principais, sendo uma importante ferramenta na pesquisa genética, análise de adaptabilidade e estabilidade e recomendação de cultivares.

O objetivo desse estudo foi de realizar uma revisão de literatura sobre as metodologias AMMI e GGE Biplot, ambas baseadas na técnica biplot e, expor as vantagens de cada uma delas. Avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura em duas localidades e identificar as melhores épocas de semeadura para cada localidade. Estudar a variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal (QF) e da ocorrência de geadas no Estado do Paraná com relação ao impacto na definição de épocas de semeadura com maior potencial de rendimento e menores riscos de ocorrência de geadas.

## **CAPÍTULO I**

### **2. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **2.1 ANÁLISES AMMI E GGE BILOT: CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS**

## 2.2 INTRODUÇÃO

A expressão das características das plantas cultivadas está ligada ao controle genético, ao ambiente em que são cultivadas e à interação entre esses dois fatores (YAN e KANG, 2003; MOHAMMADI et al., 2009). A resposta distinta dos genótipos em diferentes condições ambientais é denominada de interação entre genótipo e ambiente (GxE), que corresponde à alteração no valor fenotípico.

O objetivo básico dos programas de melhoramento genético é a seleção e recomendação de genótipos superiores. Neste contexto, a GxE reduz a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos (YAN e HOLLAND, 2010), alterando o desempenho produtivo, e gerando dificuldades quanto à seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis.

Identificar genótipos de comportamento previsível e responsivos a diferentes condições ambientais (locais, épocas de semeadura entre outros) contribui para minimizar os efeitos da GxE. Assim, deve-se abrir mão de critérios objetivos para o lançamento e recomendação de cultivares (CAMPBELL e JONES, 2005), sendo necessária a avaliação de adaptabilidade e estabilidade (FELICIO et al., 2001).

Há diversas teorias para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, que diferem quanto aos conceitos de adaptabilidade e estabilidade e nos procedimentos biométricos para estimá-las. Dentre as metodologias mais recentes, têm-se as análises AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), proposta por Mandel (1971), cujo modelo é baseado em efeitos principais aditivos e interação multiplicativa, e o modelo GGE biplot (genotype main effects + genotype x environment), proposto por Yan et al. (2000), que considera o efeito principal de genótipo + interação genótipo x ambiente. Ambas as análises são baseadas em gráfico biplot, que representa graficamente uma matriz de dados, de tal forma que permita visualizar em um plano as relações e inter-relações entre as linhas e colunas desta matriz.

A análise AMMI combina técnicas estatísticas, como a análise de variância e a análise de componentes principais, para ajustar, respectivamente, os efeitos principais (genótipos e ambientes) e os efeitos da interação GxE

(ZOBEL et al., 1988). Já a análise GGE agrupa o efeito de genótipo, que é um efeito aditivo, com a interação GxE, que é um efeito multiplicativo e submete estes à análise de componentes principais (YAN et al., 2000). O modelo GGE biplot foi proposto para explorar as respostas dos genótipos a ambientes específicos (CASTILLO et al., 2005), sendo semelhante ao modelo AMMI, com a diferença de que os efeitos principais dos genótipos são considerados junto com o efeito da interação genótipo x ambiente, os quais, no modelo AMMI, são estimados como efeitos aditivos (YAN et al., 2000).

Assim, o objetivo dessa revisão bibliográfica é fornecer informações que auxiliem pesquisadores na escolha da metodologia mais adequada para a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis.

## 2.3 TEORIA DO BIPLLOT

### 2.3.2 Multiplicação de matrizes

É possível multiplicar duas matrizes somente se o número de colunas na primeira matriz possuir mesmo número de linhas da segunda matriz. A nova matriz assume o número de linhas da primeira matriz e o número de colunas da segunda matriz. Então, a primeira matriz pode ser denominada “matriz linha” e a segunda matriz de “matriz coluna”, em que na primeira matriz a primeira coluna representa valores de  $x$  e a segunda coluna valores de  $y$ , enquanto que na segunda matriz a primeira linha representa valores de  $x$  e a segunda linha valores de  $y$  (GABRIEL, 1971; YAN e KANG, 2003).

Como exemplo, tem-se a matriz  $G$ , denominada de “matriz linha”, e a matriz  $E$  denominada de “matriz coluna”. A matriz  $G$  indica que há quatro genótipos e a matriz  $E$  que há três ambientes.

$$\text{Matriz } G = \begin{bmatrix} 5 & 2 \\ -2 & 3 \\ 2 & 4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ e Matriz } E = \begin{bmatrix} 1 & 4 & -2 \\ 2 & 6 & -1 \end{bmatrix}$$

A matriz  $G$  possui duas colunas e três linhas e a  $E$  possui duas linhas e três colunas, sendo possível multiplicá-las. A matriz produto, denominada de  $Y$ , tem quatro linhas e três colunas. A regra da multiplicação de matrizes é que a matriz  $Y$  seja a soma do produto entre cada elemento da linha na matriz  $G$  e cada elemento da coluna na matriz  $E$ . Assim, os elementos de  $Y$  são calculados da seguinte maneira:

$$Y_{11} = ((G_{11} * E_{11}) + (G_{12} * E_{21})) = ((5 * 1) + (2 * 2)) = 9$$

$$Y_{31} = ((G_{31} * E_{11}) + (G_{32} * E_{21})) = ((2 * 1) + (4 * 2)) = 10$$

A multiplicação das matrizes  $G$  e  $E$  possibilita a obtenção de 12 elementos, os quais podem ser observados na matriz  $Y$ , a qual, segundo Gabriel (1971), pode ser apresentada em um gráfico biplot bi-dimensional.

$$Y = \begin{bmatrix} 9 & 32 & -12 \\ 4 & 10 & 1 \\ 10 & 30 & -8 \\ 1 & 4 & -2 \end{bmatrix}$$

A plotagem dos valores  $x$  e  $y$  das matrizes  $G$  e  $E$  originam o gráfico biplot, que são representados por pontos no gráfico (Figura 1). A distância entre a origem do biplot ( $o$ ) e o ponto, por exemplo,  $E_2$ , é chamado vetor de  $E_2$ . O elemento  $Y_x$  pode ser obtido através do produto do vetor de  $G_x$  pelo cosseno do ângulo entre  $E_x$  e  $G_x$  e pelo vetor de  $E_x$ , através da seguinte fórmula:

$$Y_{12} = \overline{oG_1} \cos \alpha \overline{oE_1}$$

Em que,

$$\overline{oG_1} = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

$$\overline{oE_1} = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$$

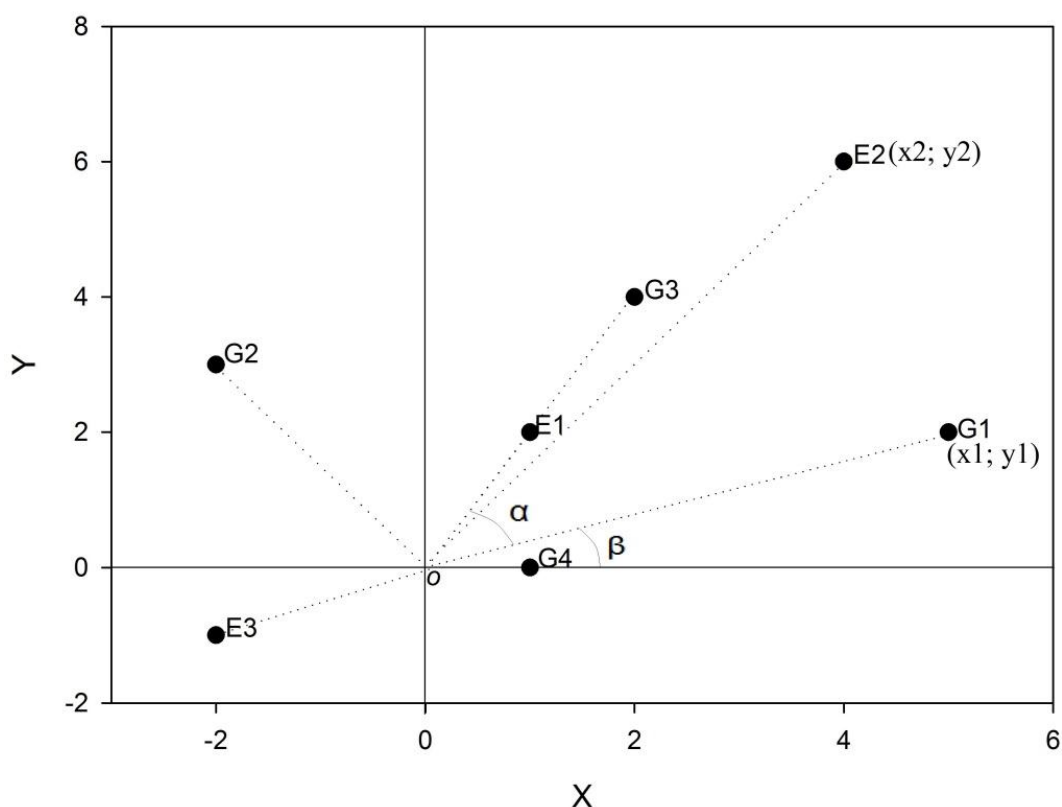


$$\alpha_{12} + \beta = \arctg(y_2/x_2)$$

$$\beta = \arctg(y_1/x_1)$$

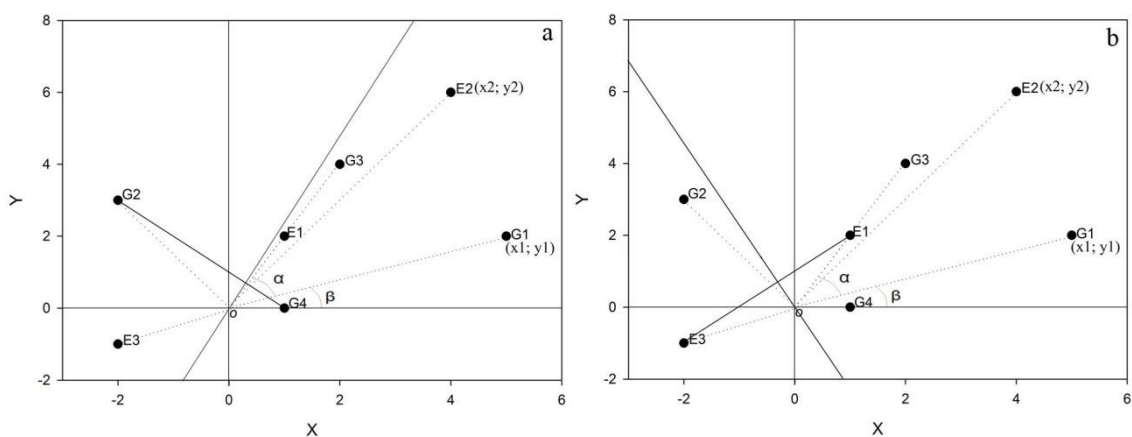
$$\alpha_{12} = ((\alpha + \beta) - \beta)$$

Os valores de  $\overline{\alpha G_i}$  e  $\overline{\alpha E_i}$  nunca podem ser negativos, porém o valor do cosseno do ângulo pode ser positivo ou negativo, a depender do ângulo. O elemento  $Y_{12}$ , por exemplo, pode ser: 0 se o ângulo for  $90^\circ$ , negativo se for maior que  $90^\circ$  e positivo se o ângulo for menor que  $90^\circ$ . Em uma aplicação da multiplicação de matrizes, o elemento  $Y_{ij}$  é a comparação da linha em determinada coluna, ou seja, permite identificar os maiores valores de cada linha nas diferentes colunas.



**Figura 1:** Gráfico biplot das matrizes G e E.

A Figura 2a onde G e E designam genótipos e ambientes, respectivamente, ilustra a comparação entre os pontos G2 e G4, onde para tal, traça-se uma linha conectando ambos os genótipos e uma linha perpendicular partindo da origem do biplot (o) passando pela linha conectora dos genótipos (YAN e TINKER, 2006). A linha entre G2 e G4 possibilita inferir que G2 possui a melhor adaptação a E3 do que G4. A mesma comparação pode ser realizada entre os demais genótipos. O mesmo procedimento é utilizado para comparar ambientes como observado na comparação entre E1 e E3 (Figura 2b), onde apenas G2 mostrou-se melhor adaptado a E3, enquanto os demais genótipos são melhor adaptados a E1.



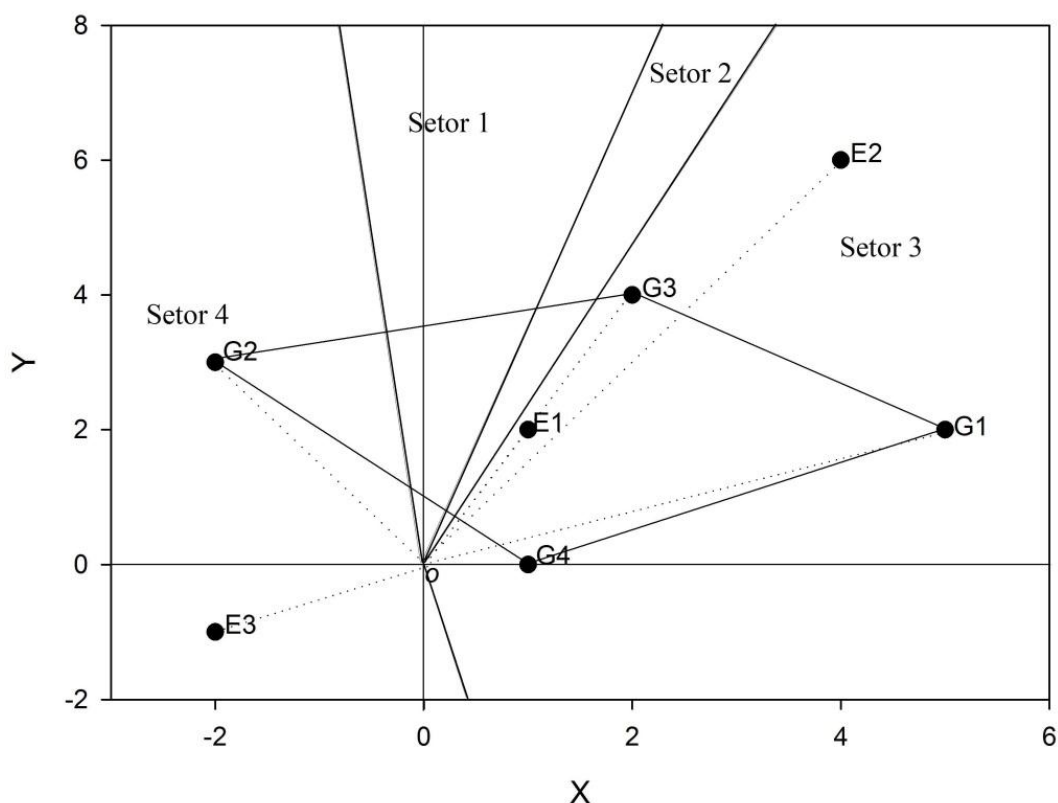
**Figura 2:** Gráfico biplot comparando visualmente dois genótipos (a) e dois ambientes (b).

A visualização do melhor desempenho de determinado genótipo em cada ambiente é observada interligando todos os genótipos que estão nos pontos extremos do gráfico e suas respectivas linhas perpendiculares, passando pelo centro do biplot (o), formando um polígono (YAN e KANG, 2003; YAN e TINKER, 2006). Esse polígono não apenas apresenta a melhor cultivar para cada ambiente como também divide os ambientes em grupos. Quando diferentes cultivares estão adaptadas a diferentes grupos de ambientes e a variação entre grupos é maior do que dentro do grupo tem-se a formação de um megaambiente (YAN e KANG, 2003). Na Figura 3 a linha perpendicular entre G2 e G3 indica que G2 é mais adaptado ao ambiente do Setor 4 (E3) em comparação ao G3. Outra interpretação possível é que os genótipos

localizados dentro de um mesmo setor são os mais adaptados àqueles ambientes. Assim, para o Setor 3 tem-se G3, G1 e G4 e no Setor 4 apenas G2.

Na análise biplot, quando se estuda megaambientes, a média no gráfico não está relacionada à média geral, mas sim à média do megaambiente (YAN e TINKER, 2006). Portanto, a média de cada cultivar é comparada dentro do megaambiente, por exemplo, no setor 3 G1 é mais produtivo, enquanto que G4 é o menos produtivo.

O estudo dos ambientes, a definição de megaambientes e a relação entre os ambientes e o rendimento de grãos, em diversos locais de teste, auxilia os melhoristas de plantas e fitotecnistas na identificação de genótipos que possuam adaptação ampla ou específica a determinados ambientes ou grupos de ambientes (TRETOWAN, et al., 2001).

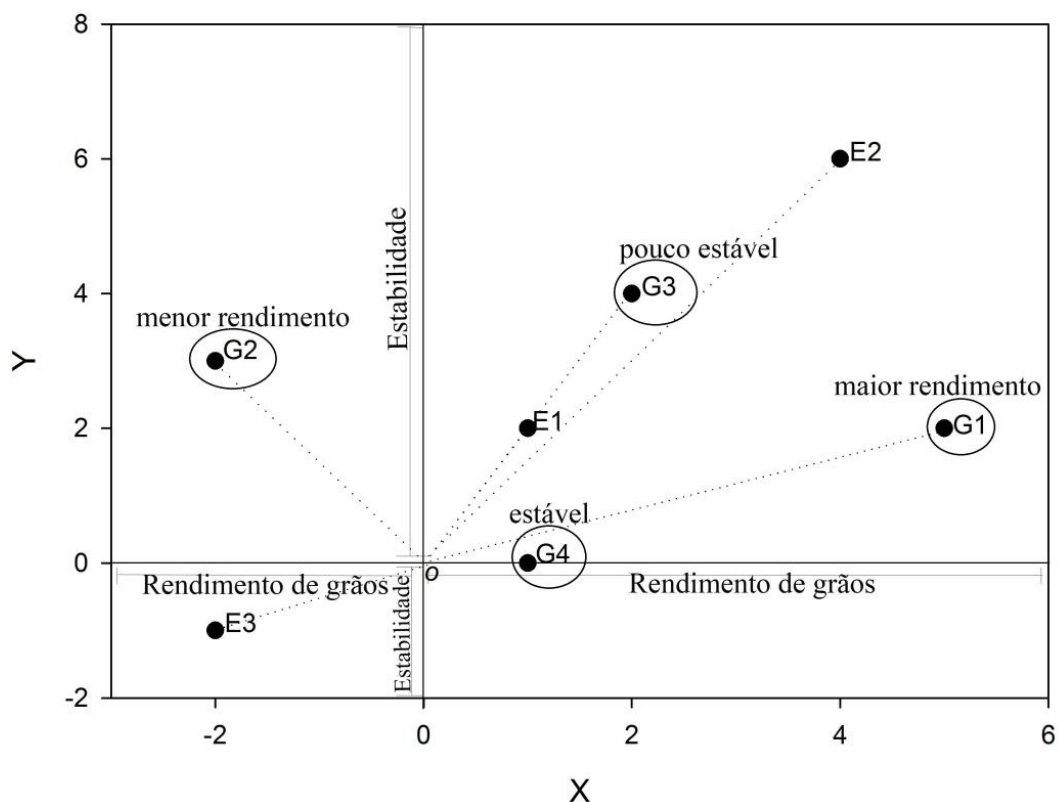


**Figura 3:** Gráfico biplot para identificação visual dos maiores valores dos genótipos nos ambientes.

Em um gráfico biplot a visualização do rendimento é observada no eixo x, em que quanto mais à direita do centro (o) do biplot maior é o rendimento e, quanto mais à esquerda, menor o rendimento. Em relação à estabilidade, essa pode ser visualizada no eixo y, no qual quanto mais distante do centro (o) do biplot menor é a estabilidade (GABRIEL, 1971; YAN e KANG, 2003). Assim, na Figura 4, os genótipos G1 e G2 apresentam o maior e menor rendimento de grãos, respectivamente, enquanto que G4 e G3 foram os de maior e menor estabilidade, respectivamente. Entretanto, tal análise é válida apenas quando a interação é do tipo imprevisível, ou seja, não há formação de megaambientes (YAN e TINKER, 2006).

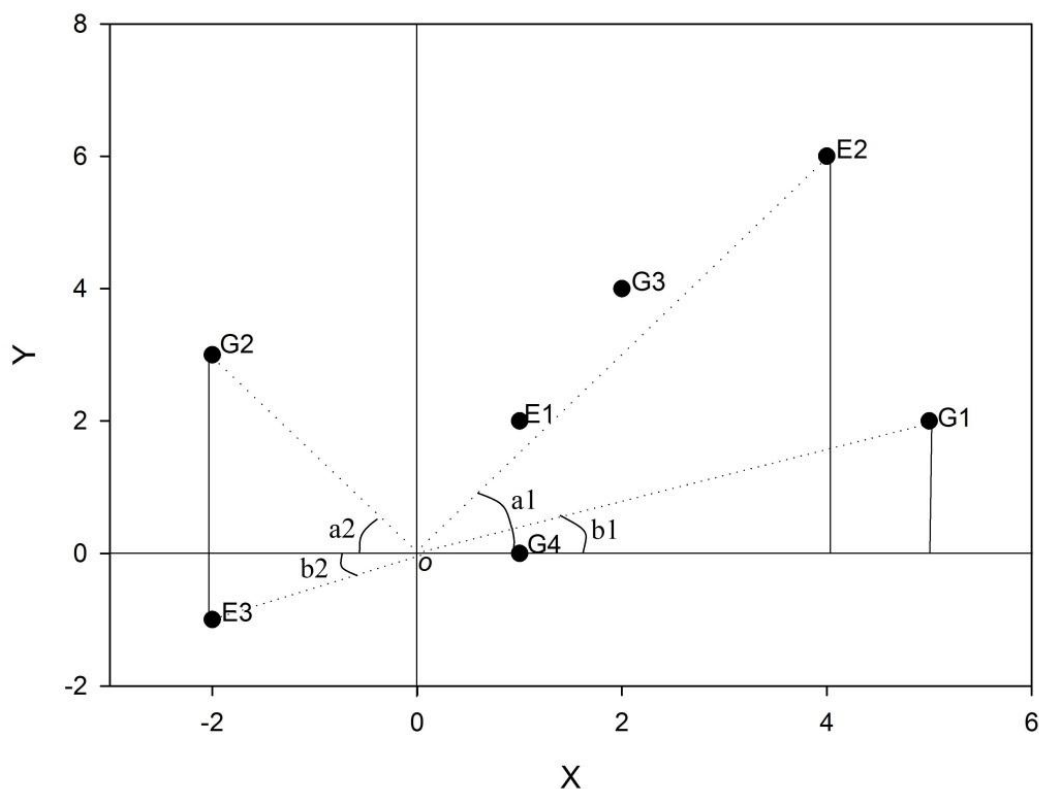
Ainda na Figura 4, é possível identificar as associações de cada genótipo (G) nas diferentes condições ambientais (E), onde os genótipos que se localizam no mesmo quadrante dos ambientes estão positivamente associados àqueles ambientes, assim, G1, G3 e G4 apresentam associação positiva com E1 e E2. Entretanto, também é necessário observar a distância do genótipo ao marcador do ambiente, em que G4 está fortemente associado (adaptado) ao E1, enquanto G3 apresenta adaptação tanto em E2 quanto E1.

Quando se analisa o cosseno do ângulo entre genótipo e ambiente há maior exatidão na identificação das associações positivas. Na Figura 4, é possível fazer as mesmas interpretações de rendimento e estabilidade para os ambientes, pois o gráfico biplot não está centralizado, isto é, não há aplicação do modelo GGE ou AMMI ao mesmo. A partir do momento que o gráfico passa a representar uma ou outra metodologia não é possível fazer inferências sobre o efeito principal de ambiente. Na metodologia GGE biplot há o efeito principal do genótipo somado ao da GxE, enquanto que na AMMI é possível observar o efeito da GxE e do ambiente.



**Figura 4:** Gráfico biplot expondo a análise visual de adaptabilidade, estabilidade e rendimento de grãos.

Analisando-se as associações através dos ângulos, têm-se os seguintes resultados: a associação entre G2 e E3 é o cosseno da soma dos ângulos  $a_2$  e  $b_2$ , no qual o cosseno é 0.12, ou seja, baixa associação positiva entre G2 e E3; a associação entre G1 e E2 é o cosseno da subtração dos ângulos  $a_1$  e  $b_1$ , no qual o resultado é 0.82, indicando que G1 exibe alta associação positiva com E2 (Figura 5). Para as demais associações, tanto entre genótipos quanto entre ambientes, segue o mesmo raciocínio.



**Figura 5:** Análise da associação entre genótipos e ambientes através dos ângulos.

### 2.3.2 Metodologias GGE biplot e AMMI

#### 2.3.2.1 GGE

O modelo da metodologia GGE biplot é descrito da seguinte maneira:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \Phi_{ij}$$

Em que,

$Y_{ij}$  é o rendimento esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral das observações;  $\alpha_i$  é o efeito principal do genótipo  $i$ ;  $\beta_j$  é o efeito principal do ambiente  $j$ ;  $\Phi_{ij}$  é a interação entre o genótipo  $i$  e o ambiente  $j$ .

Em geral, a variação fenotípica é resultante do efeito genotípico, ambiental e da interação entre genótipo e ambiente, sendo que o efeito principal do ambiente não é relevante para avaliação de cultivares (YAN e

KANG, 2003). Dessa maneira, o importante é apenas o efeito principal de genótipo e da GxE, devendo ser considerados concomitantemente nesse tipo de análise. O modelo GGE biplot não separa G da GxE mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, que pode ser visualizado na seguinte equação.

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

Em que,

$Y_{ij}$  é o rendimento esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral das observações;  $\alpha_i$  é o efeito principal do genótipo  $i$ ;  $\beta_j$  é o efeito principal do ambiente  $j$ ;  $g_{i1}$  e  $e_{1j}$  são denominados escores principais do genótipo  $i$  e ambiente  $j$ , respectivamente;  $g_{i2}$  e  $e_{2j}$  são os escores secundários para o genótipo  $i$  e ambiente  $j$ , respectivamente;  $\varepsilon_{ij}$  é o resíduo não explicado por ambos efeitos;.

Assim sendo, o gráfico biplot no modelo GGE se dá através da dispersão simples de  $g_{i1}$  e  $g_{i2}$  para genótipos, e  $e_{1j}$  e  $e_{2j}$  para ambientes. O escore primário é obtido através da decomposição de valor singular (SVD) dos valores em três matrizes, valores esses oriundos de uma tabela que apresenta genótipos e ambientes em três matrizes. A SVD é importante na análise biplot, pois permite computar os componentes principais e, também, fornece uma medida da variabilidade capturada por cada um dos componentes.

Yan e Tinker (2006) expuseram a decomposição de valor singular (SVD), através da seguinte fórmula:  $P_{mn} = G_{m,r}L_{r,r}E_{n,r}^T$  ( $r \leq \min(m,n)$ ). A matriz G tem  $m$  linhas e  $r$  colunas, caracterizando  $m$  genótipos. A matriz E tem  $r$  linhas e  $n$  colunas, que caracterizam os ambientes. A Matriz L é a matriz diagonal contendo  $r$  valores singulares. Em suma, a SVD decompõe os valores da tabela (P) de dados em  $r$  componentes principais, cada um contendo o vetor genótipo ( $\xi_i$ ), o vetor ambiente ( $\eta_j$ ) e os valores singulares ( $\lambda$ ), que compõem a seguinte equação:

$$P_{ij} = \sum_{l=1}^r \xi_{il}\lambda_l\eta_{lj} \quad (\lambda_l \geq \lambda_{l+1})$$

Em que,  $r$  é a classificação na tabela nos dois sentidos (genótipo e ambiente), ou seja, o número de componentes principais necessários para representar  $P$ , com  $r \leq \min(m, n)$ . Se  $r < m$  é indicativo que há associação entre os genótipos e, se  $r < n$  há associações entre os ambientes.

No entanto, os autovetores PC1 e PC2 não podem ser plotados diretamente antes dos valores singulares serem particionados em genótipos e ambientes. A partição é expressa pela seguinte fórmula:

$$P_{ij} = \sum_{l=1}^r \xi_{il} \eta_{lj} = \sum_{l=1}^r (\xi_{il} \lambda_l^f) (\lambda_l^{1-f} \eta_{lj})$$

Em que,  $f$  é o fator de partição, que, teoricamente, pode ser qualquer valor entre 0 e 1. Entretanto, Yan e Kang (2003) ressaltaram que diferentes valores de  $f_l$  são capazes de alterar a visualização das inter-relações entre genótipos e, também, entre os ambientes.

Portanto, quando  $f_s=1$  os valores singulares são particionados totalmente nos autovetores de genótipo, sendo que os comprimentos dos vetores podem variar e estão associados aos valores singulares que representam a unidade original dos dados. Por outro lado, quando  $f_s=0$  os valores singulares são particionados nos autovetores de ambiente, no qual o tamanho dos vetores é semelhante, ou seja, os ambientes tem peso igual na GxE. Yan e Tinker (2006) explicam que o modelo focado no ambiente é importante, pois a correlação pode ser obtida através do cosseno dos ângulos, indicando a capacidade de discriminação dos ambientes. Quando o interesse for visualizar a similaridade entre os genótipos, o modelo focado no genótipo é a forma apropriada para a visualização dos dados (YAN e TINKER, 2006).

### 2.3.2.2 AMMI

O modelo AMMI (additive main effects and multiplicative interaction analysis) emprega dois métodos na sua análise: análise de variância e a decomposição singular; no modelo se unem os termos aditivos dos efeitos principais e os termos multiplicativos para os efeitos da interação. Na primeira



etapa, a ANOVA é aplicada à matriz de médias composta pelos efeitos principais na parte aditiva (média geral, efeitos genotípicos e ambientais), resultando em um resíduo de não aditividade, ou seja, na interação (GxE), que compõe a parte multiplicativa do modelo. Na segunda fase, é analisada a decomposição dos valores singulares da matriz de interações.

O modelo da metodologia AMMI pode ser demonstrado por:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} a_{jk} + \rho_{ij} \varepsilon_{ij}$$

Em que:  $Y_{ij}$  é a resposta média do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, G$  genótipos) no ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, A$  ambientes);  $\mu$  é a média geral dos ensaios;  $g_i$  é o efeito fixo do genótipo  $i$ ;  $a_j$  é o efeito fixo do ambiente  $j$ ;  $\lambda_k$  é o  $k$ -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interações original (denotada por GA);  $\gamma_{ik}$  é o elemento correspondente ao  $i$ -ésimo genótipo, no  $k$ -ésimo vetor singular coluna da matriz GA;  $a_{jk}$  é o elemento correspondente ao  $j$ -ésimo ambiente, no  $k$ -ésimo vetor singular linha da matriz GA;  $\rho_{ij}$  é o resíduo associado ao termo  $(g a)_{ij}$  da interação clássica do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$ ;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental médio.

Na análise AMMI é indispensável identificar o número de eixos que serão empregados na análise, enquanto que na GGE, são apenas dois eixos. Assim sendo, um dos procedimentos adotados na definição do número de eixos para explicar o padrão relacionado à interação consiste em determinar graus de liberdade associados à parcela da soma de quadrados devido à interação relacionada a cada modelo da análise AMMI (AMMI1, AMMI2, ..., AMMI $n$ ). Obtém-se então o quadrado médio correspondente a cada parcela (ou modelo) e, na sequência é obtido um teste F, avaliando-se a significância de cada componente em relação ao quadrado médio do erro.

A determinação do modelo é o ponto de parada de significância do teste F. Sobre o modelo AMMI selecionado determinam-se os escores dos níveis de cada fator pela decomposição dos valores singulares, que permitem explorar o efeito positivo da interação. Entretanto, como há existência de maior padrão nos dois primeiros eixos (ZOBEL et al., 1988), a utilização da representação gráfica AMMI2 é a mais utilizada, pois a principal finalidade da análise AMMI é

selecionar modelos que expliquem o padrão relacionado à interação, desprezando-se os ruídos (CROSSA, 1990). A presença de maior ruído em modelos após AMMI2 ocorre, pois a cada modelo selecionado, desde o AMMI0, é determinado graus de liberdade associados à soma de quadrados da GxE e o modelo a ser adotado avalia a significância de cada componente em relação ao quadrado médio do erro (LAVORANTI et al., 2004), ou seja, a cada modelo selecionado há um erro associado o que implica em dizer que, por exemplo, o modelo AMMI5 possui menor padrão em relação ao AMMI2.

### 2.3.2.3 GGE BILOT VERSUS AMMI

O modelo GGE biplot apresenta o efeito de genótipo como um efeito multiplicativo em termo da GxE e como, em geral, o PC1 está correlacionado com o efeito do genótipo, é possível alta precisão na visualização gráfica do escore PC1 quanto ao efeito genotípico. Yan et al. (2000) acreditam que esta proporcionalidade da resposta dos genótipos seja mais lógica e biologicamente plausível que o conceito de efeitos aditivos para os efeitos principais, como ocorre na análise AMMI. Neto et al. (2010) e Sinebo et al., (2010) observaram correlação quase perfeita entre o rendimento de grãos e o PC1, confirmando a capacidade do PC1 representar a variável em estudo. Já para a análise AMMI tem-se observado correlação negativa entre IPC1 (AMMI2) e o rendimento (KVITSCHAL et al., 2009). Entretanto, no modelo AMMI1 há correlação quase perfeita com o rendimento de grãos, assim como na GGE biplot, porque é um modelo baseado no IPC1 *versus* rendimento de grãos (GAUCH e ZOBEL, 1988).

Gauch (2006) afirma que o modelo AMMI possui maior acurácia na visualização do padrão em experimentos quando comparado ao GGE biplot. Entretanto, Yan et al. (2007) afirmam que o modelo GGE é mais vantajoso em relação ao modelo AMMI1 (IPC1 x rendimento), pois o modelo GGE é capaz de explicar maior porcentagem do padrão da explicação da GxE em relação ao gráfico AMMI1, e possui maior acurácia na apresentação dos dados. Samonte et al. (2005) observaram que, enquanto a análise GGE captou 77.3% do

padrão o modelo AMMI1 foi capaz de apenas 64.6%, confirmando o relatado por Yan et al. (2007). Gauch et al. (2008) também concordaram que o modelo GGE é capaz de captar maior porcentagem de padrão do que AMMI1. Entretanto, o modelo AMMI2, normalmente, apresenta maior porcentagem de explicação do padrão quando comparado ao GGE biplot, sendo indicado como o melhor modelo da análise AMMI (GAUCH et al., 2008; BALLESTRE et al., 2009). Porém, nem sempre a maior captação de porcentagem de explicação representa maior precisão na seleção de genótipos superiores, isto porque, pode haver ruídos e não apenas padrão nessa explicação.

O modelo AMMI é menos adequado em relação ao GGE para a definição de megaambientes, pois no modelo AMMI1 os ambientes são apresentados apenas na abscissa e os genótipos não são apresentados por pontos, mas por linhas retas (YAN et al., 2007). Por outro lado, Gauch et al. (2008), contestaram tal comparação afirmando que o modelo AMMI1 possui geometria mais simples e informativa e que capta menos ruídos do que o GGE. Nesse sentido, Gauch (2006) critica o modelo GGE biplot, pois esse não separa o efeito do genótipo (G) da interação genótipo ambiente (GxE), tal como a análise AMMI. Entretanto, Yan et al. (2008) discordam, pois melhoristas e fitotecnistas tem interesse em selecionar plantas com base no G e na GxE, simultaneamente. Conforme Yan et al. (2003), o efeito principal do ambiente não tem importância quando se realizam testes de cultivares, pois este efeito é irrelevante na identificação de genótipos superiores. Embora o rendimento de grãos seja o efeito combinado do genótipo, ambiente e da GxE, apenas G e interação GxE são relevantes e devem ser consideradas simultaneamente na avaliação de genótipos, daí o termo GGE.

Além disso, Yan et al. (2008) afirmam que, nesse aspecto, a única diferença entre as metodologias GGE e AMMI, é que a primeira analisa diretamente o efeito de G+GE, enquanto que a AMMI separa G da GxE e depois os junta novamente para formar o gráfico e que, essa separação, não é capaz de conferir superioridade à análise AMMI. Ao contrário, Yan et al. (2007) argumentam que a separação de G da GxE pode acarretar em equívocos na seleção de genótipos, pois a GxE é apenas um dos componentes da adaptação específica, ou seja, um genótipo pode interagir negativamente com



Indica-se que ambas as metodologias podem ser utilizadas, mas em contextos específicos, sendo que o modelo AMMI1 pode ser utilizado com segurança quando se deseja conhecer o efeito principal de ambiente, como em pesquisas na área de solos, adubação ou identificar locais de maior potencial de rendimento. Por outro lado, quando se deseja conhecer o efeito principal do genótipo, o modelo GGE biplot é mais adequado. Resumindo, se o objetivo for identificar ambientes favoráveis ao cultivo de determinada espécie a análise AMMI, como demonstra a literatura, representa melhor os ambientes, todavia se o objetivo é identificar genótipos superiores a metodologia GGE biplot é mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

ASFAW, A.; ALEMAYEHU, F.; GURUM, F.; ATNAF, M. AMMI and GGE Biplot analysis for matching varieties onto soybean production environments in Ethiopia. **Scientific Research and Essay**, v.4, n.11, p.1322-1330, 2009.

BALESTRE, M.; SOUZA, J.C.; PINHO, R.G.V.; OLIVEIRA, R.L.; PAES, M.V. Yield stability and adaptability of maize hybrids based on GGE biplot analysis characteristics. **Crop breeding and applied biotechnology**, v.9, n3, p.219-228, 2009.

CAMPBELL, B.T.; JONES, M.A. Assesment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. **Euphytica**, v.144, n.1, p.69-78, 2005.

CASTILLO, H. L.; SÁNCHEZ, F. R.; VALDÉS, H. R.; GARDUÑO, D. S.; ZAMBRANO, G. M.; CADENA, R. C.; CÁRDENAS, J. D. F. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Revista fitotecnica Mexicana*, v. 28, n. 2, p. 135-143, 2005.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in agronomy**, v.44, n.1, p.55-85, 1990.

FELICIO, J.C.; CAMARGO, C. E. O.; GERMANI, R.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BORTOLETO, N.; JUNIOR, A. P. Influência do ambiente no rendimento e na qualidade de grãos de genótipos de trigo com irrigação por aspersão no Estado de São Paulo. **Bragantia**. v.60, n.2, p. 111-120, 2001.

GABRIEL, K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal componente analysis. **Biometrika**, v.58, n.3, p.453-467, 1971.

GAUCH, H.G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. **Crop Science**, v.46, n.4, p.1488–1500, 2006.

GAUCH, H.G.; PIEPHO, H.P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE: Further Considerations. **Crop science**, v.48, n3, p.866-889, 2008.

KVITSCHAL, M.V.; FILHO, P.S.V.; SCAPIM, C.A.; VIDIGAL, M.C.G.; SAGRILO, E.; PEQUENO, M.G.; RIMOLDI, F. Comparison of methods for phenotypic stability analysis of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes for yield and storage root dry matter content. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, n.1, p.163-175, 2009.

LAVORANTI, O.J.; LINS, A.C.; FERREIRA, C.A. Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos. Comunicado Técnico 124, dezembro, 2004.

MALLA, S.; IBRAHIM, A.M.H.; LITTLE, R.; KALSBECK, S.; GLOVER, K.D.; REN, C. Comparison of shifted multiplicative model, rank correlation, and biplot analysis for clustering winter wheat production environments. **Euphytica**, v.174, p.357-370, 2010.

MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Analysis of genotype x environment interactions for grain yield in durum wheat. **Crop Science**, v.49, n.4, p.1177-1186, 2009.

NETO-FRITSCH, R.; MIRANDA, G.V.; DELIMA, R.O. SOUZA, H.N. Factor analysis and SREG GGE biplot for the genotype x environment interaction stratification in maize. **Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1043-1048, 2010.

SAMONTE, S.O.P.B; WILSON, L.T.; McCLUNG, A.M.; MEDLEY, J.C. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. **Crop Science** 45:2414-2424, 2005.

SINEBO, W.; LAKEW, B.; FEYISSA, A. Biplot analysis of grain yield barley grown under differing management levels in years of contrasting season-end drought. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.2, n.6, p.152-164, 2010.

TRETHOWAN, R.M.; CROSSA, J.; GINKEL, M.V.; RAJARAM, S. Relationships among bread wheat international yield testing locations in dry areas. **Crop Science**, v.41, n.5, p.1461-1469, 2001.

YAN, W.; HOLLAND, J.B. A Heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica** v.171, n.3, p.355-369, 2010.

YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.L.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v.40, n.3, p.597-605, 2000.

YAN, W.; KANG, M.S. **GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Flórida:Boca Raton, 2003.

YAN, W.; KANG, M.S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P.L. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop science**, v.47, n.2, p.643-655, 2007.

YAN, W.; MA, B. L. **Model diagnosis and GGE biplot analysis**. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Agriculture and Agri-food Canada, pp. 39, 2006.

YAN, W.; REID-FRÉGEAU, J.; PAGEAU, D.; MARTIN, R.; FETCH-MITCHELL, J.; ETIENNE, M.; ROWSELL, J.; SCOTT, P.; PRICE, M.; HAAN, de B.; CUMMISKEY, A.; LAJEUNESSE, J.; DURAND, J.; SPARRY, E. Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. **Crop Science**, v.50, n.2, p.504-515, 2010.

YAN, W; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, n.3, p.623-645, 2006.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393, 1988.

## **CAPÍTULO II**

### **3. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA E REGIÕES TRITÍCOLAS**



### 3.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o cereal de maior importância econômica mundial, com mais de 600 milhões de toneladas produzidas anualmente, sendo seis milhões no Brasil. Nesse panorama destaca-se a região Sul do Brasil, pois contribui com 90% da produção nacional (CONAB, 2010), sendo o Estado do Paraná o maior produtor.

O desenvolvimento das plantas é decorrência do efeito do genótipo (G), ambiente (E) e da interação entre ambos (GxE) (YAN e KANG, 2003). O efeito da GxE resulta em expressivas diferenças na performance das cultivares quando são cultivadas em diferentes condições ambientais (GAUCH e ZOBEL, 1997; CAMPBELL e JONES, 2005; YAN e HOLLAND, 2010). Essas alterações ocorrem, pois na presença da GxE há diminuição da correlação entre os valores fenotípicos e genotípico das plantas, alterando o desempenho das cultivares em cada ambiente cultivado. O termo ambiente pode ser definido como o resultado dos componentes biofísicos que influenciam o desenvolvimento e crescimento das plantas (DESCLAUX et al., 2008). O ambiente pode ser considerado como a época de semeadura, o ano de cultivo e práticas culturais que alterem o ambiente de cultivo.

A época de semeadura é uma das mais importantes práticas a se adotar para obtenção de alto rendimento de grãos nos cereais de inverno, pois são alteradas as relações hídricas, temperatura e radiação solar disponíveis à cultura (MASLE et al., 1989; SUBEDI et al., 2007). Neste sentido, a ocorrência de grande variabilidade das condições climáticas no Estado do Paraná, tanto entre regiões tritícolas, quanto entre épocas de semeadura (BASSOI et al., 2005), torna a produção grandemente condicionada aos fatores ambientais e, conseqüentemente, a interação GxE. Segundo os mesmos autores, o manejo da época de semeadura possibilita ganhos de, no mínimo, 10% no rendimento de grãos, sendo, portanto, um dos fatores determinantes na maximização da produtividade.

Quando a GxE interfere na recomendação de cultivares, deve-se abrir mão de critérios objetivos para o lançamento e recomendação de cultivares para ambientes específicos (CAMPBELL e JONES, 2005). Neste sentido,

alguns métodos têm sido propostos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva, sendo exemplos as metodologias de Wricke (1962), Eberhart e Russel (1966), Lin e Binss (1988). Entretanto, uma parte razoável dos genótipos não tem seus desempenhos suficientemente elucidados por esses métodos (OSMANZAI e SHARMA, 2008; NAMORATO et al., 2009).

Dentre as metodologias recentes e que tem explicado adequadamente os efeitos principais (genótipo e ambiente) e a sua interação, destacam-se a análise AMMI (additive main effects and multiplicative interaction analysis), que se mostra superior às baseadas em regressão, pois combina a análise de variância dos efeitos aditivos de genótipos e ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação genótipo versus ambiente (ZOBEL et al., 1988), onde os genótipos e ambientes são considerados de efeito fixo (PIEPHO, 1994) e, também, a análise GGE (genotype and genotype-by-environment) que considera o efeito do genótipo e da interação entre genótipos e ambientes (YAN et al., 2000). Tais metodologias (AMMI e GGE), baseadas em gráfico biplot, são capazes de captar grande parte da variação do conjunto de dados em relação à importância relativa do G e da GxE (ROOZEBOOM et al., 2008). Além disso, uma das vantagens da utilização dos gráficos Biplot é a facilidade de visualização e interpretação do desempenho de genótipos e ambientes, bastando observar os sinais dos escores, onde escores de mesmo sinal interagem positivamente.

Outra metodologia, a REML/BLUP, que permite a estimação dos componentes de variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE, 2002), apresenta vantagens consideráveis sobre as metodologias tradicionais, pois considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica; estima valores genéticos já descontados (penalizados) da instabilidade, além de gerar resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos (RESENDE et al., 2001; CARBONELL et al. 2007; VERARDI et al., 2009).

Desta forma, o objetivo desse estudo foi o identificar as melhores épocas de semeadura em duas localidades, avaliar a adaptabilidade e estabilidade de

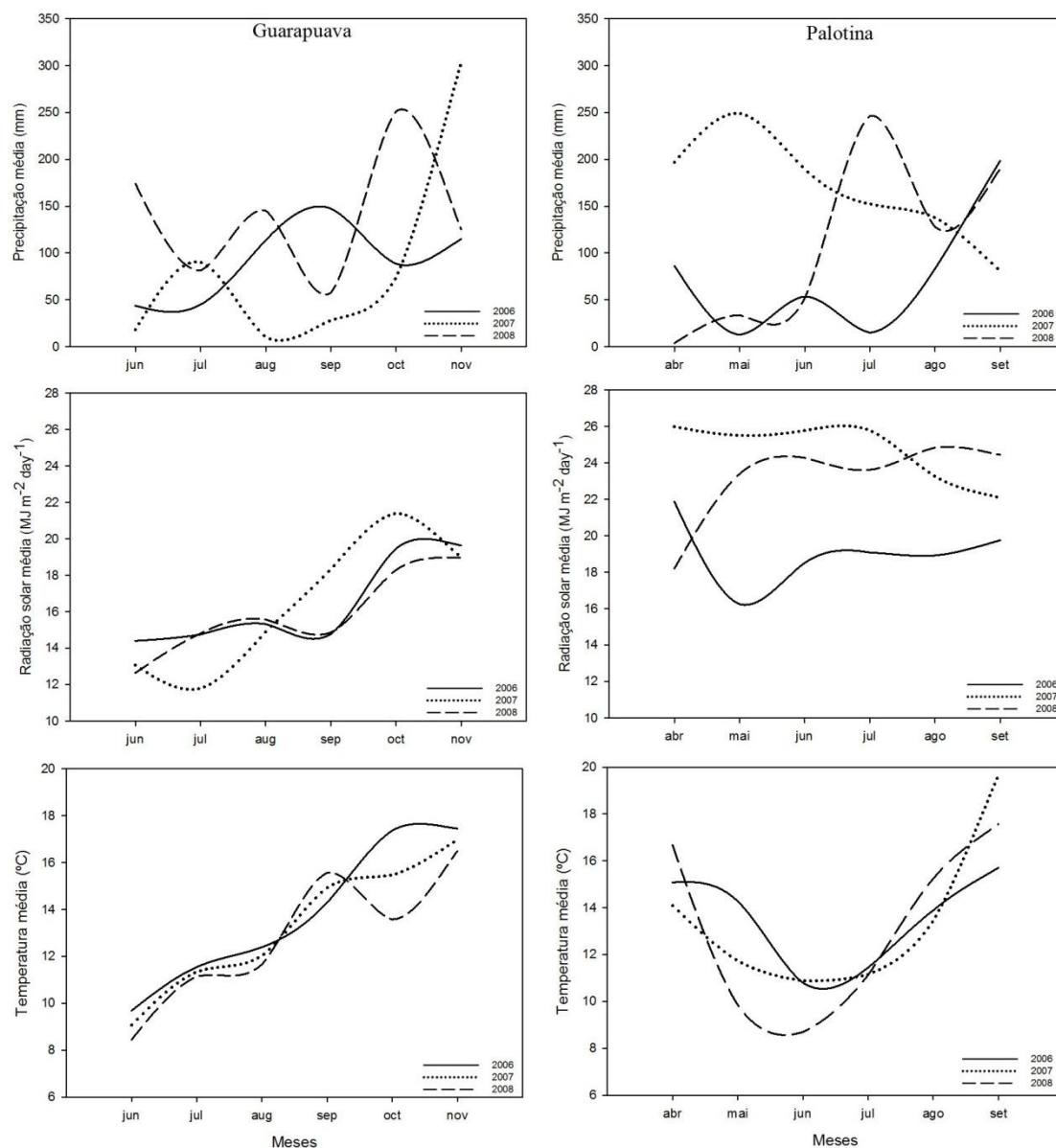
cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura em duas regiões tritícolas, localizadas no Estado do Paraná, Brasil.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Local e delineamento experimental

O estudo foi conduzido em duas regiões tritícolas do Brasil quais são: Região 01: fria, úmida e alta e Região 03: quente, moderadamente seca e baixa, ambas localizadas no Estado do Paraná (REUNIÃO..., 2009). Em Guarapuava (Região 01) o experimento foi conduzido na área experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), localizada na latitude 25° 50' S, longitude 51° 30' W e altitude de 1000 m, em solo classificado como Latossolo Bruno Alumínico típico, de clima predominante do tipo Cfb (Subtropical úmido com verão temperado), segundo a classificação de Köppen (MAAK, 1968). Em Palotina (Região 03) foi conduzido na área experimental da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), localizada na latitude 24° 17' 02", longitude 53° 50' W e altitude 333 m, em solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico, com clima predominante Cfa (Temperado úmido com verão quente), segundo a classificação de Köppen (MAAK, 1968). O comportamento dos fatores de ambiente (radiação, precipitação e temperatura), destas regiões, podem ser observados na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições em Guarapuava e três repetições em Palotina, onde foram avaliadas sete cultivares em Guarapuava (CD 105, CD 115, BRS Guamirim, BRS Guabiju, BRS 179, BRS Umbu e Safira), com sementeiras realizadas nos dias 01 e 15 de junho (E1 e E2) e 01 e 15 de julho (E3 e E4) e, em Palotina, nove cultivares (CD 104, CD 105, CD 108, CD 111, CD 112, CD 113, CD 114, IPR 85 e Ônix), com sementeiras realizadas nos dias 05 e 20 de abril (E1 e E2) e 05 e 20 de maio (E3 e E4).



**Figura 1:** Dados climáticos de médias mensais dos três anos em que foram conduzidos os experimentos nas localidades de Guarapuava e Palotina. Fonte: SIMEPAR.

As parcelas constituíram-se de seis linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,17 m entre si, com área útil das unidades experimentais de 5,1 m<sup>2</sup>. Em Guarapuava a adubação de base foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-30-20 (N-P-K) e, em cobertura, utilizou-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, no início do perfilhamento. Já para Palotina a adubação de base realizada foi na dose de 300 Kg ha<sup>-1</sup> na formulação de 08-28-16 (N-P-K) e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura na forma de uréia, também no início do perfilhamento. Para determinação do rendimento de grãos foi colhida a área útil

da parcela e corrigida a massa dos grãos para 13% de umidade e, posteriormente, estimado o rendimento de grãos por área (kg ha<sup>-1</sup>).

### 3.2.2 Metodologias

A análise REML/BLUP foi utilizada como análise complementar à ANOVA, visando melhor explicação da GxE. O modelo AMMI1 foi utilizado para identificar a melhor época de semeadura em cada região. O modelo GGE biplot foi utilizado para avaliar a adaptabilidade e estabilidade das cultivares em diferentes épocas de semeadura. Para utilização do método AMMI, o modelo empregado foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} \varepsilon_{ij}$$

Em que:  $Y_{ij}$  é a resposta média do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, G$  genótipos) no ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, A$  ambientes);  $\mu$  é a média geral dos ensaios;  $g_i$  é o efeito fixo do genótipo  $i$ ;  $a_j$  é o efeito fixo do ambiente  $j$ ;  $\lambda_k$  é o  $k$ -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interações original (denotada por GA);  $\gamma_{ik}$  é o elemento correspondente ao  $i$ -ésimo genótipo, no  $k$ -ésimo vetor singular coluna da matriz GA;  $\alpha_{jk}$  é o elemento correspondente ao  $j$ -ésimo ambiente, no  $k$ -ésimo vetor singular linha da matriz GA;  $\rho_{ij}$  é o resíduo associado ao termo  $(g\alpha)_{ij}$  da interação clássica do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$ ;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental médio. O teste F de Gollob (1968) foi utilizado para a seleção do modelo AMMI a ser adotado (AMMI1, AMMI2, AMMI3, AMMI $n$ ).

A metodologia GGE Biplot é baseada no seguinte modelo:

$$Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:  $Y_{ij}$  representa o rendimento médio de grãos da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo ambiente;  $\bar{y}_j$  é a média geral das cultivares no ambiente  $j$ ;  $y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1}$  é o primeiro componente principal (IPCA1);  $y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2}$  é o segundo componente

principal (IPCA2);  $y_1, y_2$  são os autovalores associados ao IPCA1 e IPCA2, respectivamente;  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, da  $i$ -ésima cultivar;  $\rho_{j1}$  e  $\rho_{j2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o  $j$ -ésimo ambiente;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro do modelo associado com a  $i$ -ésima cultivar e  $j$ -ésimo ambiente (YAN e KANG, 2003). Para as análises AMMI e GGE biplot foi adotada “Scaling=0” na qual as médias não são transformadas.

Para a análise REML/BLUP foi utilizado o seguinte modelo estatístico para avaliação genética pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos:

$$Y = X_r + Z_g + Wi + e$$

Em que:  $y$  é o vetor de dados,  $r$  é o vetor dos efeitos de repetições (assumidos como fixos) somados à média geral,  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos com aleatórios),  $i$  é o vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios) e  $e$  é o vetor de erros (aleatórios).

O aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2001) foi utilizado para realizar a análise de variância conjunta, o aplicativo GGE Biplot (YAN, 2001) para a análise GGE e AMMI e o Selegen (RESENDE, 2002) para a análise REML/BLUP.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta revelou que os efeitos de cultivares (C), anos (A) e épocas de semeadura (E) apresentaram variações significativas a 1% pelo teste F, tanto para Guarapuava quanto para Palotina. Os coeficientes de variação foram de 6,84% e 9,52% para Guarapuava e Palotina, respectivamente (Tab. 1), aferindo boa precisão ao experimento. O maior valor do quadrado médio para anos em Guarapuava indica que houve superior importância na variação entre anos do que propriamente entre as épocas de semeadura, decorrente de que Guarapuava está localizada em uma região propensa à ocorrência de geadas, fato este observado na safra agrícola de 2006. Já para Palotina, pelo mesmo critério, houve maior importância da época de semeadura. As interações significativas sugerem que as cultivares apresentaram respostas diferenciadas quando submetidas a diferentes épocas de semeadura, indicando que ocorreu alteração no posicionamento dos cultivares ou mudanças na magnitude das diferenças entre cultivares, quando cultivadas em diferentes épocas de semeadura.

**Tabela 1:** Resumo da análise de variância para o caráter rendimento de grãos de cultivares de trigo cultivadas em diferentes épocas de semeadura em duas regiões tritícolas do Paraná (kg ha<sup>-1</sup>).

F.V.	Localidade			
	Guarapuava		Palotina	
	G.L.	Quadrados Médios	G.L.	Quadrados Médios
Blocos	36	400792**	24	200561**
Cultivares (C)	6	2960262,35**	8	2063318**
Anos (A)	2	300594361,4**	2	6748681**
Épocas (E)	3	71058521,83**	3	17140380**
C x A	12	2997361,49**	16	801324**
C x E	18	652350,92*	24	528226**
A x E	6	34223213,35**	6	534832**
C x A x E	36	68127,04**	48	280591**
CV (%)		6,84	-	9,52

\*\* Significativo a 1%, respectivamente, pelo Teste F.

As estimativas dos parâmetros genéticos através da metodologia REML/BLUP encontram-se na Tabela 02. A presença da alta  $\sigma^2_g$  (variância



genotípica) em Guarapuava representa dificuldades na determinação da estabilidade produtiva para a região, pois há a tendência de superestimar a variância da interação GxE ( $\sigma^2_{int}$ ) (ANNICCHIARICO, 2002). Entretanto, em Guarapuava, os maiores valores da herdabilidade dos efeitos genotípicos totais ( $h^2_g$ ) e herdabilidade da média da cultivar ( $h^2_{mg}$ ) indicam que o rendimento e o ganho em rendimento, em relação à Palotina, foram maiores. Tais resultados ( $h^2_g$  e  $h^2_{mg}$ ) conferem maior acurácia ( $Ac_{gen}$ ) na indicação de cultivares para cada época de semeadura em Guarapuava, sendo que o ganho de acurácia preditiva foi maior nos anos em que ocorreu menor instabilidade na produção, confirmando resultados obtidos por Thomason e Phillips (2006).

O coeficiente de determinação dos efeitos da interação GxE ( $c^2_{int}$ ) observado em Guarapuava foi alto apenas no primeiro ano (0,56), isto devido à ocorrência de geada na primeira época de semeadura. Já em Palotina, tal estimativa, em todos os anos, foi considerada de alta magnitude, indicando que o cultivo de trigo em Palotina (região quente, moderadamente seca e baixa), em diferentes anos e épocas de semeadura, está sujeito a maiores interações entre as cultivares e o ambiente. Quando a correlação genotípica entre o desempenho nas diferentes épocas de semeadura ( $rg_{loc}$ ) é alta, tal como observado em Guarapuava, principalmente nas safras agrícolas de 2008 (0,86) e 2009 (0,76), há um indicativo da menor GxE entre as cultivares e as épocas de semeadura nesta condição de ambiente. Os coeficientes de variação residual ( $Co^2_e\%$ ) foram de baixa grandeza e a variação genética ( $Co^2_{gi}\%$ ) foi maior na safra agrícola de 2006, indicando superior efeito das épocas de semeadura sobre o desempenho das cultivares avaliadas, em ambos os locais. O maior valor de  $c^2_{int}$  observado na metodologia REML em todos os anos para Palotina e no ano de 2006 em Guarapuava expõe que a localidade de Palotina está sujeita a maior interação entre genótipo e ambiente. Assim, a significância para a GxE (Tabela 1), tanto em Guarapuava quanto em Palotina, indicam que ocorreram mudanças na classificação das cultivares nas diferentes épocas de semeadura.

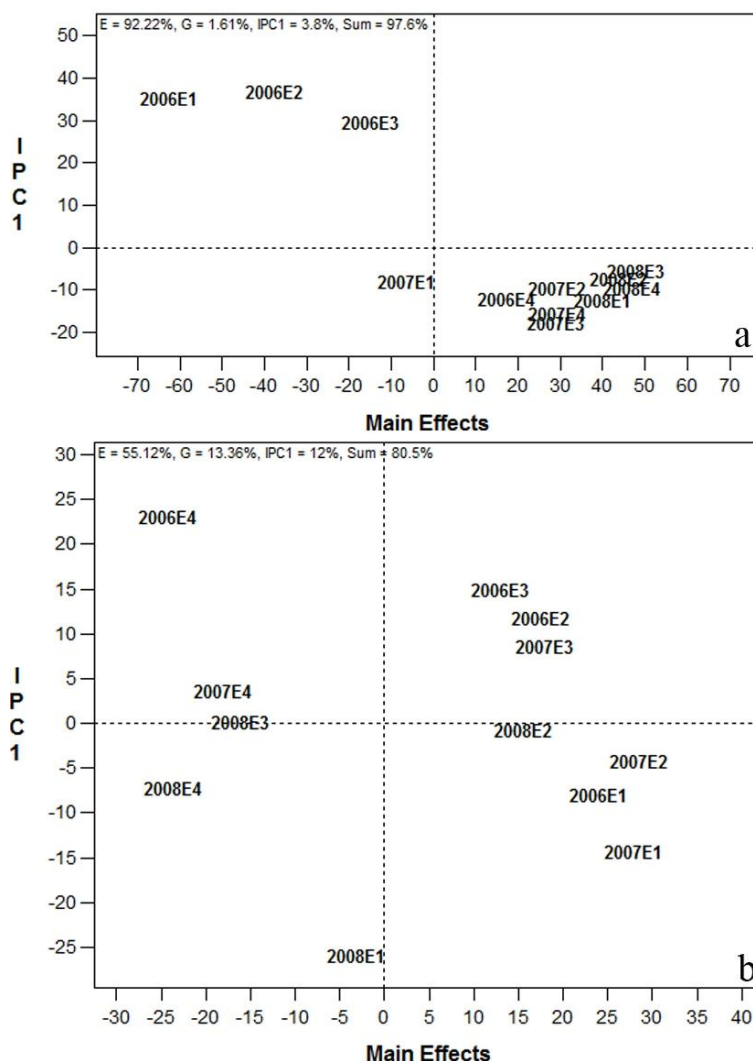
**Tabela 2:** Estimativas de parâmetros genéticos para as cultivares de trigo avaliadas em três anos e quatro épocas de semeadura, obtidas através da metodologia REML.

Parâmetros <sup>1</sup>	Localidade					
	Guarapuava			Palotina		
	Ano 2006	Ano 2007	Ano 2008	Ano 2006	Ano 2007	Ano 2008
$\sigma^2_g$	214736	186054	41744	184320	411	46357
$\sigma^2_{int}$	338148	30079	13504	128414	73145	85037
$h^2_g$	0,36±0,16	0,58±0,20	0,28±0,142	0,53±0,2	0,002±0,013	0,25±0,14
$h^2_{mg}$	0,71	0,92	0,82	0,83	0,015	0,64
Acgen	0,84	0,96	0,90	0,91	0,12	0,8
$c^2_{int}$	0,56	0,09	0,09	0,37	0,4	0,46
rgloc	0,39	0,86	0,76	0,59	0,005	0,35
$Co^2_{gi}\%$	13,7	7,8	3	15	0,65	8
$Co^2_{e}\%$	6,7	5,9	4,6	6,7	10	9
MG	3373	5497	6607	2840	3100	2604

<sup>1</sup>  $\sigma^2_g$ , variância genotípica;  $\sigma^2_{int}$ , variância da interação genótipo x ambiente;  $h^2_g$ , herdabilidade dos efeitos genotípicos totais;  $h^2_{mg}$ , herdabilidade da média da cultivar; Acgen, acurácia da seleção de cultivares;  $c^2_{int}$ , coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; rgloc, correlação genotípica entre o desempenho nas diferentes épocas de semeadura;  $Co^2_{gi}\%$ , coeficiente de variação genotípica;  $Co^2_{e}\%$ , coeficiente de variação residual; MG, média geral do experimento em kg ha<sup>-1</sup>.

No modelo AMMI1, o eixo x representa os efeitos principais de genótipos e ambientes, enquanto que no eixo y tem-se o primeiro deixo de interação (IPCA1). Na seleção do modelo AMMI, para Guarapuava e para Palotina foi selecionado o modelo AMMI3, ambos a 1% pelo teste de Gollob, cujos resíduos foram não significativos (Tab. 1). Tendo em vista que a análise AMMI foi utilizada para identificação das melhores épocas de semeadura optou-se pela utilização da representação gráfica AMMI1.

Segundo o modelo AMMI1, observa-se que a GxE foi do tipo imprevisível, tanto em Guarapuava (Figura 2a) quanto em Palotina (Figura 2b), pois não ocorreu agrupamento entre épocas de semeaduras semelhantes, mas sim agrupamento de épocas do mesmo ano. Isso é devido ao fato de que o fator ano, que não é repetível, exerceu maior efeito sobre o desempenho das cultivares, em relação às épocas de semeadura. Sendo assim, a análise foi procedida ano a ano. Entretanto, em Palotina a imprevisibilidade da GxE foi em menor grau, pois observa-se um maior agrupamento das épocas de semeadura (Figura 2b). Tal resultado confirma o observado na ANOVA (Tabela 1), que indica superioridade dos quadrados médios de épocas em relação aos anos de avaliação, em Palotina.



**Figura 2:** Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à interação entre genótipo e ambiente segundo o modelo AMMI1 conjunta (2006, 2007 e 2008) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo avaliadas em quatro épocas de semeadura em Guarapuava. Pato Branco, 2010.

Em Guarapuava o modelo AMMI1 indicou que a terceira e quarta épocas de semeadura (E3 e E4, respectivamente) proporcionaram a maior média produtiva durante os três anos de avaliação (Figuras 3a, 3b e 3c). Por outro lado, em Palotina o cultivo em épocas antecipadas (E1 e E2) proporcionou maior média de rendimento de grãos durante os três anos de experimentação (Figuras 3d, 3e e 3f).



Na análise GGE biplot o tamanho do vetor dos ambientes mensura a capacidade discriminante dos ambientes (YAN e TINKER, 2006). Em Guarapuava as épocas de semeadura que apresentaram maior poder discriminante foram E1, E2 e E3 nos anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente (Figuras 4a, 4b e 4c). Todas as épocas de semeadura, nos três anos de avaliação, em Palotina, foram altamente discriminantes, exceto a E2 no ano de 2006 (Figuras 4d, 4e e 4f), confirmando os resultados expostos na Tabela 2, no qual o valor de  $c^2_{int}$  observado foi de alta magnitude, indicando que o cultivo de trigo está sujeito a maiores interações entre as cultivares e o ambiente. Em Guarapuava as cultivares que apresentaram maior contribuição à GxE foram a BRS Umbu, CD 115 e BRS Guabiju nos anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente (Figuras 4a, 4b, e 4c). Portanto, essas cultivares apresentaram significativa variabilidade no rendimento nas diferentes épocas de semeadura.

No gráfico biplot uma cultivar é adaptada a determinado ambiente quando está situada no mesmo quadrante do ambiente, ou quando apresenta ângulo inferior a  $90^\circ$  com tal ambiente (YAN e KANG, 2003). A cultivar BRS Umbu apresentou adaptação específica a E1 no anos de 2006 (Figura 4a), entretanto, apresentou correlação negativa perfeita com E1 no último ano de cultivo (Figura 4e). Com exceção de BRS Umbu, que apresenta ciclo tardio, no ano de 2006, as demais cultivares semeadas em E1 sofreram danos por geada. A cultivar Safira apresentou adaptabilidade a E1 (2008), E2 (2006, 2007 e 2008), E3 (2006, 2007) e E4 (2007 e 2008), demonstrando ser amplamente adaptada e menos sujeita a variações no rendimento em relação à BRS Umbu (Figuras 4a, 4b e 4c). A cultivar CD 105 apresentou adaptabilidade semelhante à Safira.

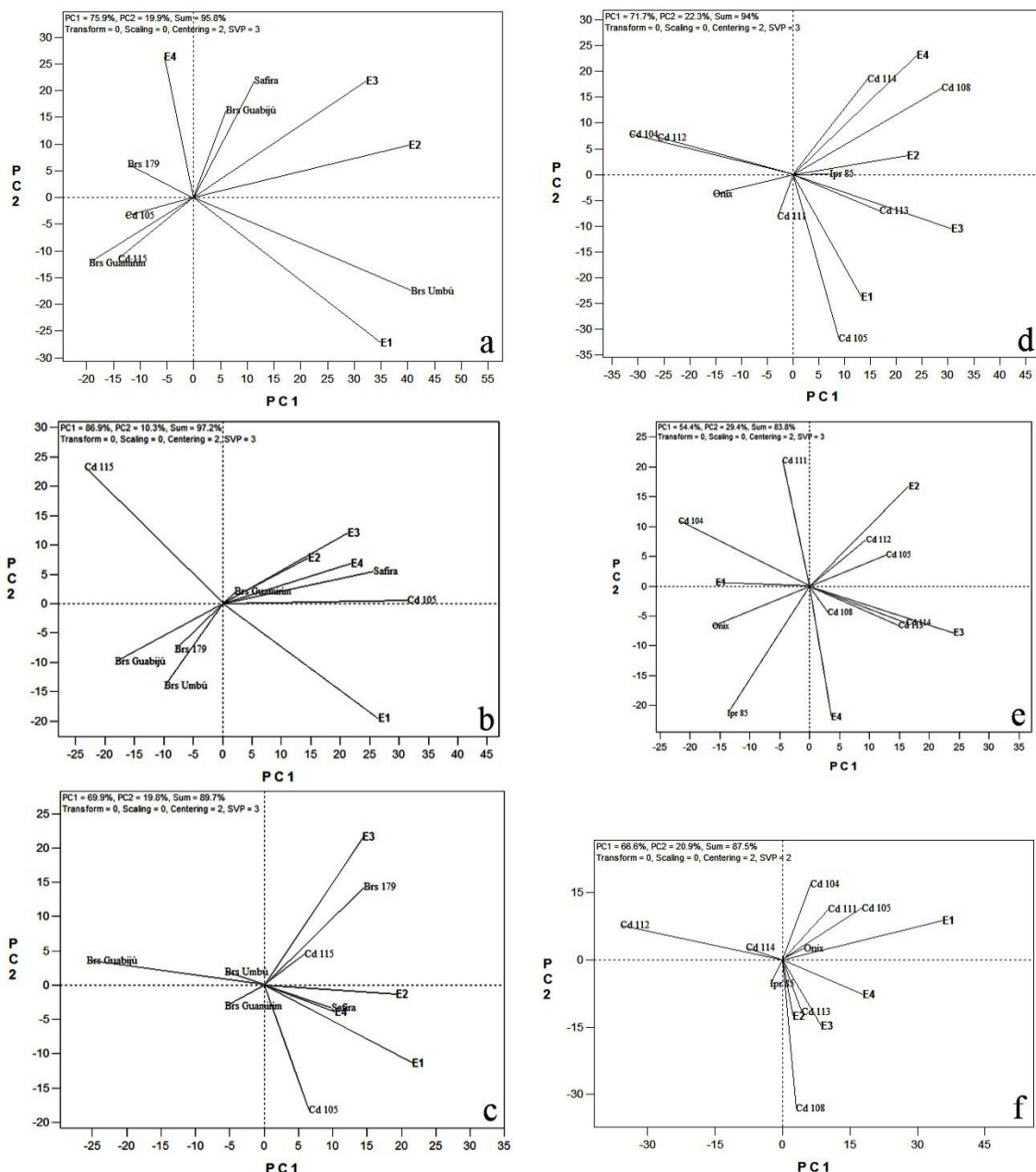
Em Palotina as cultivares CD 105 (2006), IPR 85 (2007), CD 104 (2007) e CD 112 (2008) apresentaram a maior contribuição à GxE, indicando maiores respostas ao efeito das épocas de semeadura avaliadas (Figuras 4d, 4e e 4f). As cultivares CD 105 (2006), Onix (2007 e 2008), CD 104 (2007 e 2008) foram adaptadas a primeira época de semeadura (E1). Enquanto que as cultivares IPR 85 (2006), CD 112 e CD 113 (2007 e 2008) apresentaram o melhor desempenho produtivo para E2. Em relação às últimas épocas de semeadura (E3 e E4) poucas foram as cultivares adaptadas, pois em tais condições há

fatores de ambiente limitantes como a deficiência hídrica e alta temperatura, prejudicando o desempenho das cultivares.

Com base nesses resultados, a recomendação de épocas de semeadura a partir de julho em Guarapuava e semeaduras no mês de abril em Palotina (Figura 3), ratificam resultados obtidos no Estado do Paraná por Gonçalves et al. (1998), que observaram que o risco de geadas aumenta de forma proporcional à altitude e latitude maiores, assegurando que, as épocas de semeaduras do Sul do Estado, em relação ao Norte, devem ser tardias para escapar de geadas no espigamento. Conforme Scheeren (1982) e Silva et al. (2008), baixas temperaturas tem efeito benéfico à cultura do trigo, porém podem ser prejudiciais na ocorrência de geadas por impedir a formação de grãos.

Entretanto, a semeadura tardia pode submeter a cultura à ocorrência de deficiência hídrica no espigamento, sendo que no Norte do Estado o risco é maior (CUNHA et al., 2001; FIETZ et al., 2005). A ocorrência de altas temperaturas (Figura 1) em semeaduras tardias para Palotina é extremamente prejudicial ao rendimento de grãos da cultura do trigo por aumentar o abortamento floral, reduzir período de enchimento de grãos provocando perdas no rendimento final (GIBSON e PAULSEN, 1999; MORAL et al., 2003; SIAL et al., 2005). Além disso, semeaduras tardias em Palotina estão sujeitas a deficiência hídrica no espigamento (GONÇALVES et al., 1998).

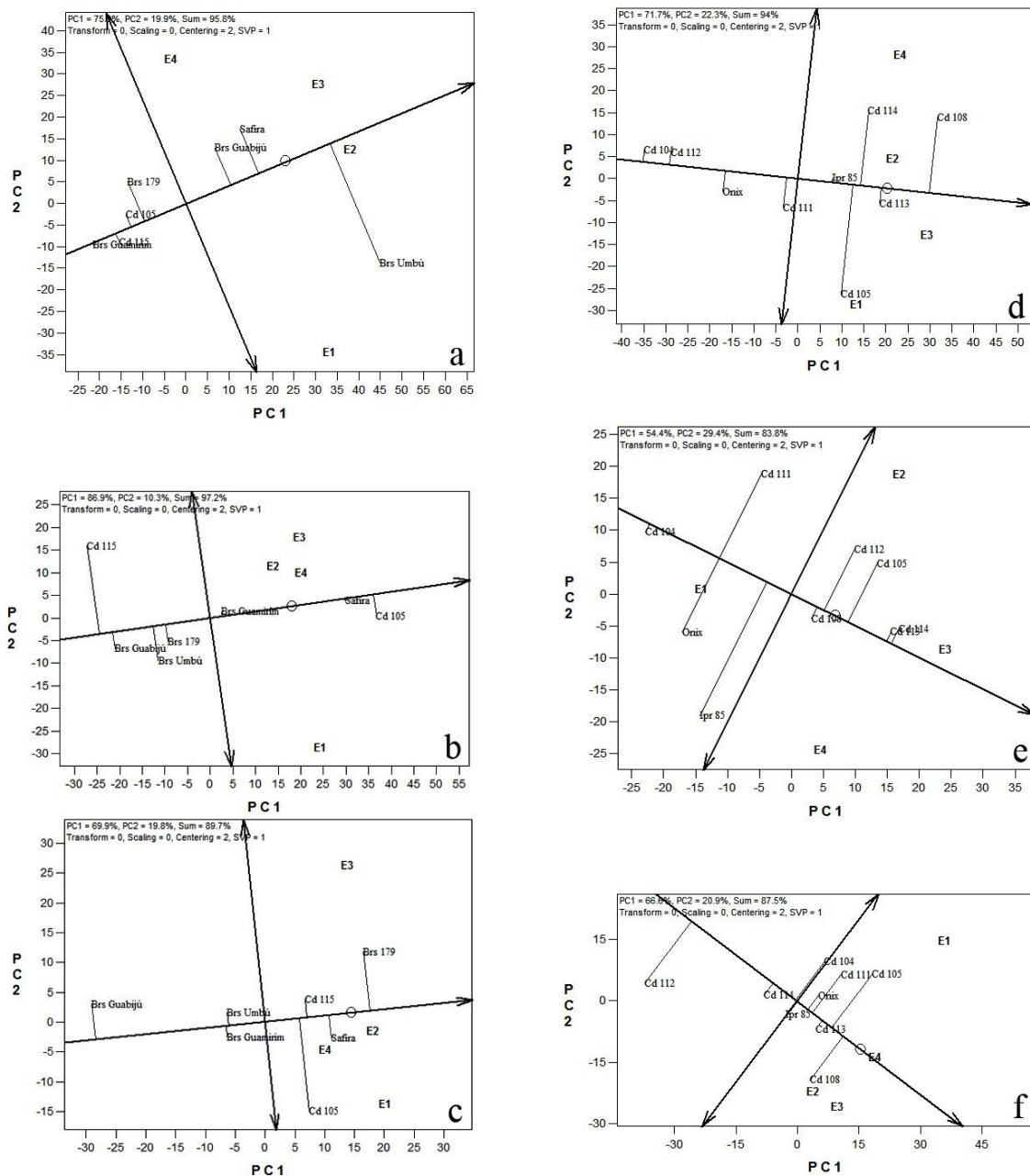
O desempenho relativo das cultivares em Guarapuava e Palotina, em ambos os anos, pode ser visualizada na Figura 5. As cultivares foram classificadas ao longo de dois eixos, em que o eixo com seta única indica a maior media produtiva. Já a estabilidade é observada no eixo com duas setas, sendo que quanto a maior a projeção menor será a estabilidade das cultivares (YAN e KANG, 2003).



**Figura 4:** Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à indicação de épocas de semeadura, segundo o modelo GGE biplot em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b), 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos (kg·ha<sup>-1</sup>), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010.

Na localidade de Guarapuava as cultivares BRS Umbu (2006), CD 105 (2007) e BRS 279 (2008) foram as mais produtivas, enquanto que a cultivar Safira apresentou maior estabilidade e produtividade nos três anos de experimentação (Figuras 5a, 5b e 5c). Em Palotina as cultivares CD 108 (2006 e 2008) e CD 114 (2007) apresentaram a maior média produtiva, entretanto, com a cultivar CD 113 sendo a mais estável e produtiva durante os três anos

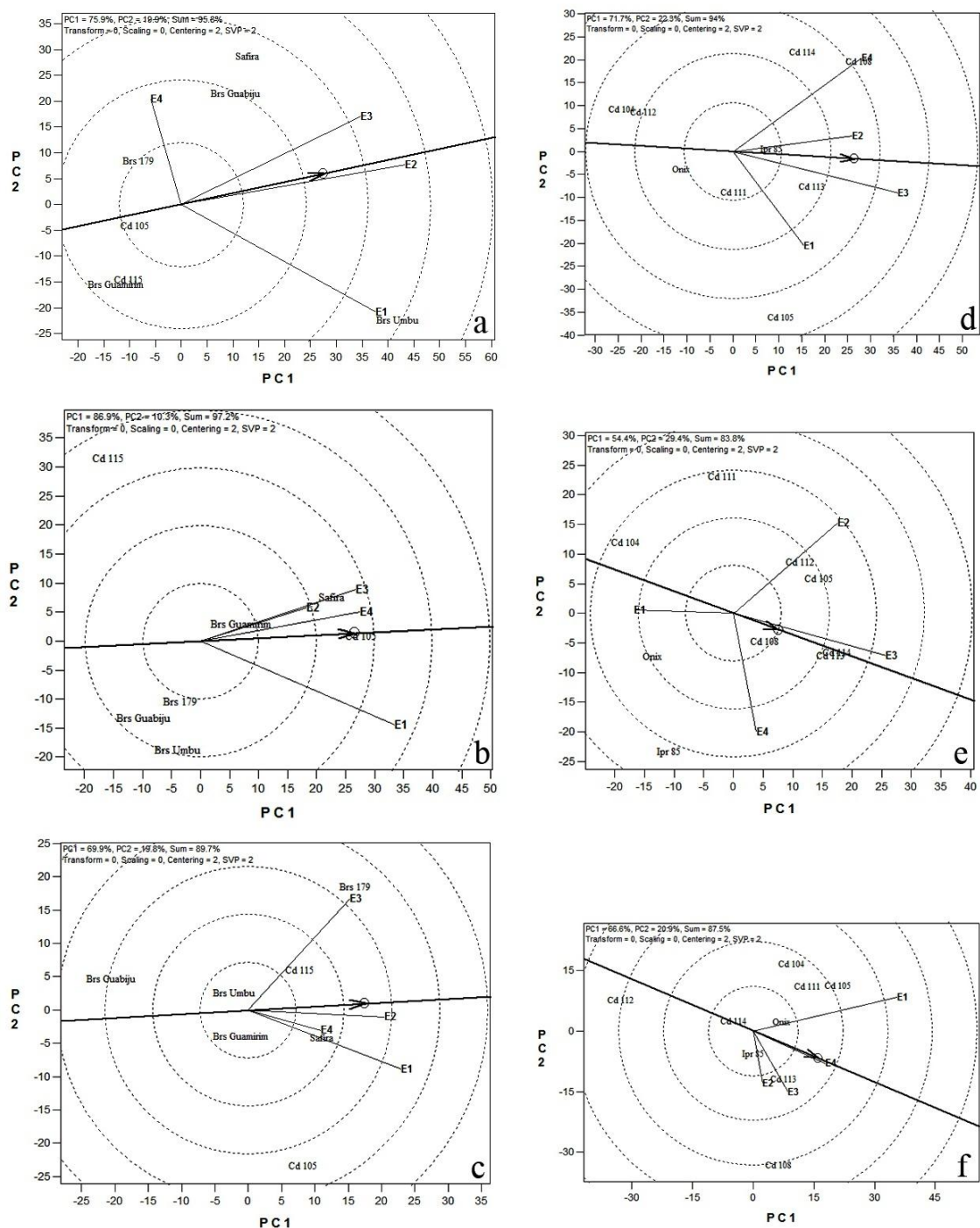
(Figuras 5d, 5e e 5f). A cultivar ideal é definida com base em dois critérios: apresenta alto rendimento e é altamente ou absolutamente estável (YAN e KANG, 2003). Sendo assim, as cultivares Safira, em Guarapuava, e a CD 113 em Palotina são consideradas como ideais, pois apresentaram elevado rendimento de grãos aliada a alta estabilidade.



**Figura 5:** Plotagem dos escores dos componentes principais, quanto à indicação da média e estabilidade produtiva, segundo o modelo GGE biplot em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b), 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010.



Na Figura 6 é apresentada a capacidade de discriminação e representatividade das épocas de semeadura, em que o círculo indicado pela seta indica a média dos ambientes. Se o ângulo formado entre o ambiente e a linha que passa pela média dos ambientes for pequeno, significa que tal ambiente é representativo e, quanto maior o vetor de cada ambiente maior a capacidade de discriminação (YAN e TINKER, 2006). Assim sendo, em Guarapuava, a primeira época de semeadura (E1) foi a que apresentou maior discriminância nos três anos de avaliação (Figuras 6a, 6b e 6c). Já as épocas mais representativas foram E2 (2006 e 2008) e E4 (2007), podendo ser consideradas as mais discriminantes e representativas, simultaneamente. Já para Palotina as épocas E3 (2006 e 2007) e E1 (2008) foram as mais discriminantes e as épocas com maior representatividade foram E3 (2006 e 2007) e E4 (2008), sendo, também, as que apresentaram maior capacidade de discriminância e representativas, simultaneamente.



**Figura 6:** Visualização gráfica segundo o modelo GGE biplot da discriminação e representatividade das épocas de semeadura em Guarapuava nos anos de 2006 (a), 2007 (b) e 2008 (c) e Palotina nos anos de 2006 (d), 2007 (e) e 2008 (f) para o caráter rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), de cultivares de trigo cultivadas em quatro épocas de semeadura. Pato Branco, 2010.

Na Tabela 3, constam os ganhos das cultivares em cada época de semeadura, estimados através da metodologia BLUP. Em Guarapuava, no ano de 2006, por exemplo, o cultivo na primeira época foi viável apenas com a cultivar BRS Umbu, que apresentou a maior média produtiva predita ( $2259 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e, também apresentou a maior média produtiva quando cultivada em qualquer das épocas. As mesmas interpretações são realizadas para a localidade de Palotina em que, por exemplo, as cultivares CD 108 e CD 113, que apresentaram a maior média produtiva pela metodologia GGE biplot, foram as que apresentaram o maior ganho predito em épocas específicas, principalmente em E3 e E4, ou em qualquer das épocas (Tabela 3).

As análises gráficas dos métodos AMMI e GGE permitiram a apresentação e interpretação dos dados de forma simples e de fácil entendimento sendo possível concluir sobre adaptabilidade, estabilidade e os ambientes que tornam ótimo o desempenho das cultivares. A metodologia GGE aliada à REML/BLUP revelou-se de grande importância em análises de adaptabilidade e estabilidade, já que nessa última os resultados são em função de valores genotípicos (CARBONELL et al., 2007). Ainda, a REML/BLUP apresenta de forma bastante objetiva os ganhos preditos para as cultivares em cada condição ambiental. O ganho predito facilitou a tomada de decisão, pois forneceu resultados na unidade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da variável analisada.

Por fim, a ocorrência de variabilidade em uma mesma região e entre regiões demonstrou a importância do planejamento quanto à época de semeadura e a cultivar a ser semeada. A escolha adequada da cultivar para cada época de semeadura possibilitou obter ganhos no rendimento de grãos.

**Tabela 3:** Valores genotípicos (g+ge) e ganhos genéticos preditos (Ganho) e nova média do rendimento de grãos de cultivares de trigo, estimados pela metodologia BLUP em três anos, dois locais e quatro épocas de semeadura.

<b>Guarapuava</b>															
Épocas de semeadura - Ano 2006															
Cultivares	01/jun (E1)			15/jun (E2)			01/jul (E3)			15/jul (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
BRS Umbu	1886	1886	2259	1391	1391	4585	810	819	5498	-547	0	5246	635	635	4008
BRS 179	-319	259	632	-694	166	3360	-117	528	5207	526	526	5772	-108	257	3630
BRS Guamirim	-342	138	512	-997	0	3194	-723	0	4679	-258	192	5438	-416	0	3373
BRS Guabiju	-296	451	825	433	846	4040	590	743	5422	294	429	5675	183	379	3752
CD 105	-346	58	431	-304	558	3752	-712	120	4800	-70	304	5550	-257	154	3527
CD 115	-347	0	373	-542	338	3532	-677	287	4966	-412	91	5337	-355	69	3442
Safira	-236	825	1199	714	1052	4246	828	828	5507	467	496	5742	318	476	3850
Épocas de semeadura - Ano 2007															
Cultivares	01/jun (E1)			15/jun (E2)			01/jul (E3)			15/jul (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
BRS Umbu	-143	221	5242	-329	0	5649	-336	70	5720	-289	176	5844	-263	155	5652
BRS 179	-11	311	5333	-194	213	5861	-218	264	5914	-115	292	5961	-129	260	5757
BRS Guamirim	6	419	5440	-37	348	5997	83	425	6075	95	428	6096	35	389	5886
BRS Guabiju	-328	129	5150	-279	55	5703	-417	0	5650	-480	0	5668	-362	69	5566
CD 105	729	729	5751	577	577	6226	704	704	6354	582	595	6263	623	623	6120
CD 115	-775	0	5021	-279	55	5703	-303	151	5801	-400	80	5748	-414	0	5496
Safira	522	626	5647	504	541	6190	487	595	6245	607	607	6275	509	566	6063
Épocas de semeadura - Ano 2008															
Cultivares	01/jun (E1)			15/jun (E2)			01/jul (E3)			15/jul (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
BRS Umbu	-173	69	6321	-44	107	6638	-92	52	6914	-119	53	6837	-99	57	6664
BRS 179	209	218	6470	209	209	6740	338	338	7200	197	197	6981	220	220	6828
BRS Guamirim	-62	117	6369	-113	70	6601	-84	81	6943	-10	87	6871	-62	88	6695
BRS Guabiju	-411	0	6253	-421	0	6531	-314	0	6862	-318	0	6784	-339	0	6607
CD 105	167	201	6453	116	161	6693	-66	123	6985	102	134	6918	74	125	6733
CD 115	45	162	6414	159	184	6715	93	186	7048	46	87	6871	79	142	6750
Safira	226	226	6479	94	144	6676	127	232	7094	102	149	6934	127	174	6781

**Tabela 03** continua na próxima página

## Continuação da tabela 03

Palotina															
Cultivares	Épocas de semeadura - Ano 2006														
	05/abr (E1)			20/abr (E2)			05/mai (E3)			20/mai (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
CD 104	1010	1010	4279	-759	0	3051	-1035	0	2943	-509	68	2164	-617	0	2840
CD 105	-593	0	3269	75	397	3449	419	566	3509	-335	253	2349	249	337	3177
CD 108	60	330	3599	701	701	3753	663	713	3656	1040	1040	3136	525	525	3365
CD 111	73	420	3690	19	322	3373	5	387	3330	-323	370	2466	-48	235	3075
CD 112	-545	74	3343	-607	95	3146	-793	129	3073	-465	150	2246	-513	77	2917
CD 113	179	594	3864	326	505	3556	762	762	3705	127	544	2639	297	411	3251
CD 114	-30	215	3484	487	594	3646	53	464	3407	798	919	3015	279	367	3207
IPR 85	0	264	3533	-126	195	3247	421	616	3559	209	682	2778	107	291	3131
ÔNIX	-153	163	3432	-116	249	3300	-496	261	3204	-543	0	2096	-278	161	3001
Épocas de semeadura - Ano 2007															
Cultivares	Épocas de semeadura - Ano 2007														
	05/abr (E1)			20/abr (E2)			05/mai (E3)			20/mai (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
CD 104	141	155	3608	-173	58	3547	-408	0	3065	-259	41	2434	-4	0	3100
CD 105	-19	102	3554	135	194	3683	315	315	3380	-144	84	2477	2	2	3102
CD 108	131	149	3601	-31	128	3617	198	246	3311	20	151	2544	2	2	3102
CD 111	33	126	3578	179	213	3703	-198	108	3173	-326	0	2393	-2	0	3100
CD 112	-70	77	3529	262	262	3751	71	199	3264	-24	122	2515	1	2	3102
CD 113	-379	0	3452	23	160	3649	185	231	3296	108	183	2577	0	1	3101
CD 114	-163	47	3499	199	230	3720	226	271	3336	222	222	2615	3	3	3103
IPR 85	160	163	3615	-463	0	3489	-43	159	3224	205	214	2607	-1	1	3101
ÔNIX	166	166	3618	-130	91	3580	-347	51	3116	198	209	2602	-1	1	3101
Épocas de semeadura - Ano 2008															
Cultivares	Épocas de semeadura - Ano 2008														
	05/abr (E1)			20/abr (E2)			05/mai (E3)			20/mai (E4)			Todas as épocas		
	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média	g+ge	Ganho	Nova média
CD 104	336	449	3264	-40	225	3223	-343	54	2530	109	255	2381	11	83	2688
CD 105	597	597	3413	-65	152	3151	-31	141	2617	272	327	2453	132	158	2762
CD 108	-95	239	3054	498	498	3496	413	413	2889	256	303	2430	184	158	2788
CD 111	414	506	3321	-79	106	3104	-2	220	2696	7	205	2332	58	114	2718
CD 112	-1099	0	2816	-224	0	2998	-436	0	2476	-622	0	2126	-408	0	2604
CD 113	-49	306	3121	-80	75	3073	213	295	2771	382	382	2509	80	132	2736
CD 114	-230	137	2953	-126	28	3026	-5	175	2651	-215	78	2204	-99	51	2655
IPR 85	-104	190	3005	216	357	3355	-67	111	2587	-10	169	2296	6	72	2677
ÔNIX	231	394	3210	-99	50	3049	259	336	2812	-180	120	2246	36	98	2702

## CONCLUSÕES

Semeaduras realizadas no mês de julho e abril em Guarapuava e Palotina, respectivamente, proporcionam alto rendimento de grãos.

Semeaduras no mês de maio em Palotina devem ser realizadas com cultivares de ciclo precoce, como a CD 108.

Em Guarapuava semeaduras no mês de junho apresentam elevado rendimento com adoção de cultivares com ciclo tardio, como a BRS Umbu.

As cultivares Safira (Guarapuava) e CD 113 (Palotina) apresentam alta estabilidade, ampla adaptabilidade e alto rendimento de grãos quando cultivadas em diferentes épocas de semeadura.

## REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. **Genotype x environment interactions – challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations** (2002) FAO Plant Production and Protection Paper – 174. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

BASSOI, M.C.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; SCHEEREN, P.L.; CAETANO, V.R.; TAVARES, L.C.; MIRANDA, L.C. Característica e desempenho agrônômico no Paraná da cultivar de trigo BRS 220. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.193-196, 2005.

CAMPBELL, B.T.; JONES, M.A. Assesment of genotype x environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. **Euphytica**, v.144, n.1, p.69-78, 2005.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; RESENDE, M.D.; DIAS, L.A.S.; BERALDO, A.L.A.; PERINA, E.F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.1, p.193-201, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2010). Acompanhamento da safra brasileira. 45p.

CRUZ, C.D. (2001) **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 648p.

CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T.; CARAMORI, P.H.; ASSAD, E.D.; BRAGA, H.J.; ZULLO Jr., J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para o trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.400-414, 2001.

DESCLAUX, D.; NOLOT, J.M.; CHIFFOLEAU, Y.; GOZÉ, E.; LECLERC, C. Changes in the concept of genotype x environment interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding: pluridisciplinary point of view. **Euphytica**, v.163, n.2, p.533-546, 2008.

FIETZ, C.R.; SOUSA, P.G.; URCHER, M.A. Análise da época de semeadura para trigo na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.59-63, 2005.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Identifying mega-environments and targeting genotypes. **Crop Science**, v.37, n.2, p.311–326, 1997.

GIBSON, L. R.; PAULSEN, G. M. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1841-1846, 1999.

GOLLOB, H. F. (1968) A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, v.33, n.1, p.73-115.

GONÇALVES, S. L.; CARAMORI, P. H.; WREGE, M. S.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. Regionalização para épocas de semeadura de trigo no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.239-248, 1998.

MAAK, R. (1968) Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: **Banco do Desenvolvimento do Paraná**. 350p.

MASLE, J.; DOUSSINAULT, G.; SUN, B. Response of wheat genotypes to temperature and photoperiod in natural conditions. **Crop Science**, v.29, n.3, p.712-721, 1989.

MORAL, L. F. G.; RHARRABTI, Y. D. V.; ROYO, C. Evaluation of Grain Yield and Its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. **Agronomy Journal**, v.95, n.2, p.266–274, 2003.

NAMORATO, H.; MIRANDA, G.V.; SOUZA, L.V.; OLIVEIRA, L.R.; DELIMA, R.O.; MANTOVANI, E.E. Comparing biplot multivariate analyses with Eberhart and Russel' method for genotype x environment interaction. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, n.4, 299-307, 2009.

OSMANZAI, M.; SHARMA, R.C. (2009) High yielding stable wheat genotypes for the diverse environments in Afghanistan. **International Journal of Agricultural Research**, v.3, n.5, p.340-348, 2008.

PIEPHO, H. P. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, v.89, n.5, p.647-654, 1994.

RESENDE, M.D.V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 975p, 2002.

RESENDE, M.D.V.; FURLANI-JUNIOR, E.; MORAES, M.L.T.; FAZUOLI, L.C. Estimção de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, 60, n.3, p.185-193, 2001.

Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (RXBPTT). Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2010. (3 ed.: 2009).

ROOZEBOOM, K.L.; SCHAPAUGH, W.T.; TUINSTRA, M.R.; VANDERLIP, R.L.; MILLIKEN, G.A. Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. **Crop Science**, v.48, n.1, p.317-330, 2008.

SCHEEREN, P.L. Danos de geada em trigo: avaliação preliminar de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.813-818, 1982.

SIAL, M. A.; Arain, M. A.; Naqvi, S. K. M. H; Dahot, M. U.; Nizamani, N. A. Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress. **Pakistan Journal of Botany**, v.37, n.3, p.575-584, 2005.

SILVA, P. S.; CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A. Fatores abióticos envolvidos na tolerância do trigo à geada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p.1257-1265, 2008.



SUBEDI, K.D.; MA, B.L.; XUE, A.G. Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. **Crop Science**, v.47, n.1, p.36-47, 2007.

THOMASON, W.E.; PHILIPS, S.B. Methods to evaluate wheat cultivar testing environments and improve cultivar selection protocols. **Field Crops Research**, v.99, n.2-3, p.87-95, 2006.

VERARDI, C.K.; RESENDE, M.D.V.; COSTA, R.B.; GONÇALVES, P.S. Adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha e seleção em progênies de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.10, p.1277-1282, 2009.

YAN, W. GGEbiplot – A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v.93, n.5, p.1111-1118, 2001.

YAN, W.; HOLLAND, J.B. A Heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica** v.171, n.3, p.355-369, 2010.

YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.L.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v.40, n.3, p.597-605, 2000.

YAN, W.; KANG, M.S. **GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Flórida: Boca Raton, 2003.

YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, n.3, p.623-645, 2006.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393, 1988.

### **CAPÍTULO III**

#### **4. IMPACTO DA VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DO QUOCIENTE FOTOTERMAL SOBRE O POTENCIAL DE RENDIMENTO DA CULTURA DO TRIGO NO ESTADO DO PARANÁ**

## 4.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a principal cultura a nível econômico mundial, sendo produzidas em torno de 650 milhões de toneladas do cereal em todo o mundo e, aproximadamente, seis milhões no Brasil. A região Sul do Brasil se destaca, pois é responsável por cerca de 90% da produção nacional. O Estado do Paraná é o maior produtor, contribuindo com, aproximadamente, 50% da produção nacional (COMPANHIA..., 2010).

O conhecimento das condições climáticas que afetam a cultura do trigo é de extrema relevância tanto para aspectos produtivos quanto de viabilidade econômica, sendo estratégia utilizada no planejamento agrícola visando recomendar áreas de plantio e direcionar políticas públicas para minimização dos riscos climáticos. Nesse sentido, o zoneamento agrícola da cultura do trigo no Brasil foi desenvolvido considerando aspectos edafoclimáticos.

O Estado apresenta as classes climáticas Cfa (Clima subtropical) e Cfb (Clima temperado), sendo predominante o clima do tipo Cfa, em que se observa variação de altitude desde o nível do mar até próximo de 1300 metros (CARAMORI et al., 2001) e latitude desde 22°S até 26°S. Para fins de regionalização e manejo, o Estado é dividido em regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo, estabelecidas pela Instrução Normativa nº 3 e 58 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 20008a, b), sendo três regiões de VCU (Valor de Cultivo e Uso): I: fria, úmida e alta, II: moderadamente quente, úmida e baixa e III: quente, moderadamente seca, baixa (REUNIÃO..., 2010). Essa diversidade climática afeta o rendimento de grãos do trigo nas diferentes regiões do Estado onde há o cultivo da cultura.

No Paraná, geadas tardias frequentemente causam reduções de rendimento de grãos em trigo. A sensibilidade do trigo à geada começa a aumentar depois do início do emborrachamento e atinge o máximo na floração, diminuindo após os estádios de grão em massa mole e dura (SILVA et al., 2008). Os resultados descritos por Cunha et al. (2001) mostram que o risco de ocorrência de geadas no Estado do Paraná, no espigamento, é inferior a 30% nas regiões localizadas ao Norte de 24°S e, ao contrário, as semeaduras ao Sul devem ser realizadas tardiamente visando evitar riscos de geadas no

espigamento. Neste sentido, é importante adequar a época de semeadura, pois quando há ocorrência de geadas a planta de trigo é afetada negativamente, causando redução no rendimento de grãos, dependendo do estágio fenológico da cultura.

Mesmo na ausência de ocorrência de geadas, temperaturas muito baixas são indesejáveis à cultura do trigo, pois temperaturas abaixo de 5°C retardam o desenvolvimento da planta (Fischer, 1985). Com mais detalhes, Rodrigues et al. (2001) indicou temperaturas basais de 2.1, 4.8, 8.4 e 8°C, para as fenofases emergência-duplo anel (EM-DA), duplo anel-espigueta terminal (DA-ET), espigueta terminal-antese (ET-AN) e antese-maturação fisiológica (AN-MF), respectivamente.

Ao contrário, temperatura elevada, acelera o metabolismo, encurtam o ciclo (SLAFER e RAWSON, 1994) e causam distúrbios fisiológicos à cultura do trigo, que podem resultar em redução no peso de grãos e no número de grãos por área (WHEELER et al., 1996; GIBSON e PAULSEN, 1999) e no rendimento de grãos (GAJU et al., 2009).

A temperatura desempenha papel fundamental na determinação da época de semeadura e, conseqüentemente, na duração das fenofases que afetam a produtividade da cultura (TEWARI e SINGH, 1993; RODRIGUES et al., 2001). Assim, o conhecimento da duração de cada fase do desenvolvimento e sua associação com o rendimento é essencial para maximizar o rendimento de grãos. A inclusão da temperatura na contabilização do tempo vegetal é imprescindível, sendo realizada pelo uso da soma térmica, cuja unidade é o grau dia (GILMORE JUNIOR e ROGERS, 1958), definido como a soma diária de unidades térmicas acima de uma temperatura base inferior, abaixo da qual a planta não se desenvolve ou seu desenvolvimento é extremamente lento (MCMASTER e WILHELM, 1997).

O rendimento potencial de uma lavoura de trigo pode ser obtido, matematicamente, pelo produto entre o número de grãos por área e a massa do grão, sendo, portanto, fundamentais na formação do rendimento de grãos em trigo. O primeiro componente é definido no subperíodo ET-AN e o segundo no subperíodo AN-MF (CUNHA et al., 2005). Assim, a obtenção de melhorias no rendimento de grãos deve levar em consideração a possibilidade do aumento do número de grãos por área e da duração de enchimento do grão

(DAYNARD e KANNENBERG, 1976; GEBEYEHOU et al., 1982; GAJU et al., 2009).

Tendo em vista a importância do conhecimento do efeito da temperatura e radiação solar na formação do rendimento de grãos em trigo, é essencial o conhecimento da variabilidade do quociente fototermal (QF), originado da relação entre radiação solar e temperatura. Os fundamentos teórico-experimentais discutidos por Fischer (1985) definiu a existência de estreita relação entre o QF e o número de grãos por área, tem sido usado como ferramenta de avaliação das disponibilidades de ambiente em termos de potencial de rendimento para trigo.

Em trigo primavera, Fischer (1985) e Magrin et al. (1993) observaram que há relação linear positiva para o número de grãos por área quando há aumento do QF nos 25 a 30 dias que antecedem à antese. Em ambos os estudos, observou-se um aumento de, aproximadamente, 50% no número total de grãos por unidade de área quando o QF passou de 1.0 para 2.0 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>, confirmando a importância desta relação na formação do rendimento para a cultura do trigo. Desta forma, para o alongamento da duração do período anterior a antese, mais especificamente do subperíodo ET-AN, faz-se necessário escolher regiões de cultivo e épocas de semeadura mais adequadas, ou seja, com maior QF, visando à maior diferenciação de órgãos florais e, conseqüentemente, rendimento de grãos.

Estudando a variabilidade temporal e espacial do QF nas condições do Rio Grande do Sul, Cunha et al. (2005) identificaram as regiões localizadas a Nordeste e Sudoeste do Estado como as de maior potencial de rendimento para trigo, em que as épocas de semeadura tardias apresentaram maior valor de QF (1,7 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>), especialmente na região de Vacaria com a antese ocorrendo em 30 de outubro, e os menores valores foram observados na região de Santa Rosa (0,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) com a possível antese ocorrendo em 5 de julho. Entretanto, a ocorrência de temperatura elevada em semeadura tardia poderia acelerar o crescimento da espiga, diminuindo o efeito da maior disponibilidade de energia, além de diminuir o período de enchimento de grãos, formando grãos menores (CUNHA et al., 2005). Na Argentina, Magrín et al. (1993), observaram que o maior valor do QF (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) ocorreu em Balcarce (2.18), Pergamino (1,74) e Paraná (1.5), indicando a variabilidade

espacial desse parâmetro avaliado, mas não observaram significância na variabilidade temporal do QF.

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal para a cultura do trigo no Estado do Paraná, com ênfase à expressão do rendimento de grãos e na escolha de épocas de semeadura mais adequadas, ou seja, que contemplem elevado quociente fototermal e menores probabilidades de risco climático por geada.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para definição e mapeamento da aptidão das regiões de cultivo para as diferentes épocas de semeadura no Estado do Paraná, foram utilizadas séries históricas de dados climáticos referentes à temperatura (mínima e média) e radiação solar de 22 estações meteorológicas (Tabela 1) do Instituto Tecnológico SIMEPAR.

**Tabela 1:** Latitude, longitude, altitude e ano de início da série histórica de dados das 22 estações do SIMEPAR no estado do Paraná. Pato Branco, 2010.

Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Ano de início da série de dados
Região de VCU 1 <sup>1</sup>				
Curitiba	25°25'	49°16'	945	1997
Guarapuava	25°21'	51°30'	1058	1997
Lapa	25°47'	49°46'	910	1997
Palmas	26°29'	51°59'	1100	1998
Pinhão	25°41'	51°39'	1041	2003
Ponta Grossa	25°13'	50°10'	880	1997
Região de VCU 2 <sup>2</sup>				
Campo Mourão	24°02'	52°22'	630	1997
Cândido de Abreu	24°28'	51°15'	645	1997
Cascavel	24°53'	53°33'	660	1997
Foz do Iguaçu	25°32'	54°35'	164	1998
Jaguariaíva	24°15'	49°42'	850	2000
Nova Prata do Iguaçu	25°37'	53°20'	438	1998
Palmital	24°53'	52°12'	840	1997
Pato Branco	26°70'	52°21'	700	1997
Toledo	24°42'	53°44'	550	1997
Região de VCU 3 <sup>3</sup>				
Cambará	23°02'	50°04'	545	1997
Cianorte	23°40'	52°35'	530	2002
Londrina	23°22'	51°10'	585	1997
Maringá	23°25'	51°57'	596	1998
Palotina	24°18'	53°55'	310	1997
Paranavaí	23°50'	52°26'	480	1997
Umuarama	23°44'	53°17'	480	1997

<sup>1</sup>Fria, úmida e alta; <sup>2</sup> moderadamente quente, úmida e baixa; <sup>3</sup> quente, moderadamente seca e baixa

#### 4.2.1 Soma térmica

As datas dos estádios de emergência (EM), duplo anel (DA), espiguetas terminal (ET), antese (AN) e maturação fisiológica (MF), do cultivar de trigo BRS Guamirim (Tabela 2), foram obtidas de experimentos conduzidos por Civiero (2010). A cultivar BRS Guamirim, desenvolvida pela Embrapa Trigo em parceria com a Fundação Pró-Sementes, apresenta ciclo precoce, baixa estatura de planta, intenso afilamento e apresenta adaptabilidade a diferentes regiões tritícolas do país, com estabilidade de produção. O potencial de rendimento desta cultivar é superior a  $5 \text{ t ha}^{-1}$  (SCHEEREN et al., 2007).

**Tabela 2:** Datas das fenofases da cultivar de trigo BRS Guamirim cultivada em diferentes épocas de semeadura em Pato Branco-PR. Pato Branco, 2010.

SM <sup>1</sup>	EM	DA	ET	AN	MF
Ano 2008					
17/mai	26/mai	24/jun	08/jul	17/ago	11/out
31/mai	08/jun	02/jul	20/jul	24/ago	29/set
14/jun	24/jun	16/jul	01/ago	05/set	26/out
30/jun	08/jul	30/jul	07/ago	10/set	26/out
Ano 2009					
16/mai	25/mai	18/jun	07/jul	19/ago	06/out
02/jun	14/jun	06/jul	21/jul	03/set	17/out
13/jun	24/jun	14/jul	31/jul	15/set	22/out
30/jun	11/jul	31/jul	13/ago	26/set	02/nov

<sup>1</sup>SM=semeadura; EM=emergência; DA=duplo anel; ET= espiguetas terminal; AN= antese; MF= maturação fisiológica.

Fonte: Civiero, 2010.

A soma térmica diária (STd, °C dia) foi determinada através da modificação da equação:  $STd = N \cdot (T_m - T_b)$ , na qual N indica a duração do subperíodo em estudo, Tm a temperatura média do ar determinada a partir da temperatura máxima e temperatura mínima diárias e Tb a temperatura-base do subperíodo em estudo (GILMORE e ROGERS, 1958). A soma térmica acumulada (STa, °C dia) foi obtida pelo somatório das STd. Com a modificação a equação passou a ser:  $STa = (\sum T_{md} - T_{b1}) + (\sum T_{md} - T_{b2}) + (\sum T_{md} - T_{b3}) + (\sum T_{md} - T_{b4})$ , na qual Tmd=temperatura média diária; Tb1, Tb2, Tb3 e Tb4 referem-se



à temperatura basal nas fenofases EM-DA, DA-ET, ET-AN, AN-MF. A temperatura basal utilizada para cada fenofase foram as descritas por Rodrigues et al. (2001): EM-DA (2.1°C), DA-ET (4.8°C), ET-AN (8.4°C) e AN-MF (8°C).

Os valores de soma térmica calculados foram utilizados para prever o ciclo e datas das fenofases da cultivar BRS Guamirim para 22 localidades do Estado do Paraná, simulando 14 épocas de semeadura, a cada 10 dias, com início em 10/3 e término em 20/7, que correspondem a primeira e última época de semeadura, respectivamente, recomendadas para o Estado do Paraná pelo Instituto Agrônômico do (INSTITUTO..., 2010).

#### 4.2.2 Quociente fototermal

O QF foi determinado segundo modelo proposto por Fischer (1985), sendo:  $QF = R_s / (T_{med} - T_b)$ , em que, QF é o quociente fototermal diário ( $MJ m^{-2} dia^{-1} °C^{-1}$ ),  $R_s$  a radiação solar global ( $MJ m^{-2} dia^{-1}$ ),  $T_{med}$  a temperatura média diária (°C) e  $T_b$  a temperatura basal. Foi realizado o cálculo do QF para cada dia compreendido entre ET-AN, utilizando-se a temperatura basal de 8.4°C. Após, foi obtido o quociente fototermal médio para o período ET-AN, para cada uma das 22 localidades em todas as épocas de semeadura simuladas.

#### 4.2.3 Geadas

Foi calculada a ocorrência de prováveis geadas nos 10 dias anteriores e 05 dias posteriores às prováveis datas de antese (CUNHA et al., 2001) estimadas através da soma térmica. A ocorrência de geadas foi considerada quando houve ocorrência de temperaturas abaixo de 3°C em abrigo meteorológico, pois a temperatura na relva, geralmente, é de 3 a 5°C menor que a temperatura do ar no abrigo meteorológico (GRODZKI et al., 1996).

Para tal estimativa foi utilizada a seguinte fórmula:  $P = (m / (n + 1)) * 100$ , onde P indica a ocorrência de geadas, em porcentagem de ocorrência de valor

extremo ( $3^{\circ}\text{C}$ ),  $m$  indica o número de anos da série histórica de dados em que ocorreu temperatura abaixo de  $3^{\circ}\text{C}$  e  $n$  o número de anos da série histórica utilizada (PEREIRA et al., 2002). Portanto, quanto menor o valor de  $P(\%)$  menor é a recorrência de geadas, ou seja, se o valor de  $P$  for 10% indica que, em um conjunto de 10 anos, ocorrerá geada em apenas um ano.

#### 4.2.4 Krigagem

Foi utilizada a técnica de krigagem para espacializar os valores do quociente fototermal, probabilidade de geadas e ciclo da cultivar de trigo BRS Guamirim para todo o Estado do Paraná, nas respectivas épocas de semeadura. A técnica de krigagem foi executada através da interpolação dos dados com base nos valores de latitude e longitude, sendo realizada através do aplicativo R (R Development Core Team, 2010).

A época de semeadura adequada para cada região levou em consideração os seguintes critérios: maior valor de QF aliado ao limite máximo de 30% de ocorrência de geadas (CUNHA et al., 2001). Após essa análise, foram gerados mapas das 14 possíveis épocas de semeadura, com base nos critérios anteriormente descritos. Esses mapas classificaram as regiões em aptas (cor verde) e inaptas (cor vermelha) à semeadura de trigo em cada uma das épocas simuladas.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Soma térmica e ciclo da cultivar BRS Guamirim

Os valores de soma térmica (ST) calculados a partir dos dados da Tabela 1 estão expostos na Tabela 3. Tais resultados evidenciaram que mais de 60% do ciclo da cultivar BRS Guamirim esteve compreendido entre ET-MF, se tornando indicativo da importância da duração desse período no potencial de rendimento da cultura. Rodrigues et al. (2001), descreveram resultados semelhantes para as cultivares de trigo BR 23 e BR 35 nos quais a ST entre EM-MF foi de 1007.4 °Cd.

**Tabela 3:** Valores de soma térmica (°Cd) estimados para a cultivar BRS Guamirim.

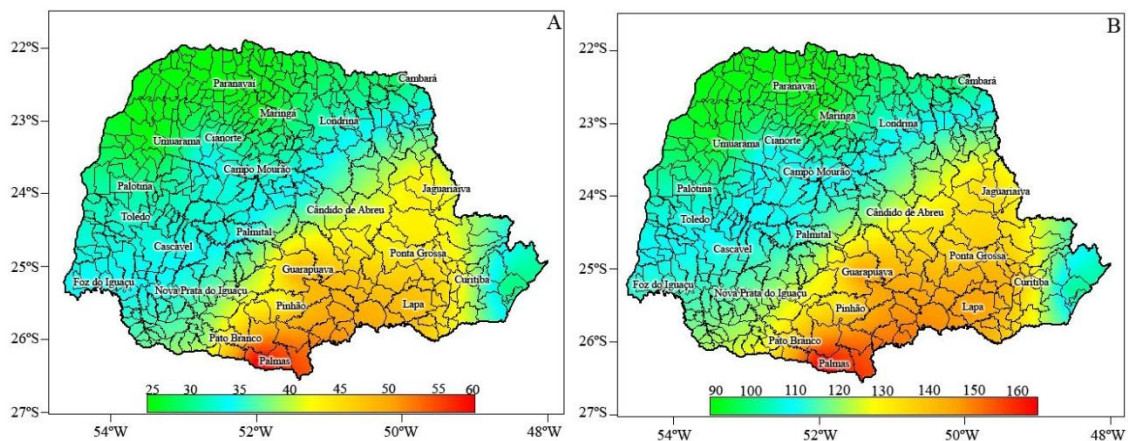
Ano	<sup>1</sup> EM-DA	DA-ET	ET-AN	AN-MF	Total
2008	245	213	289	488	1235
2009	254	148	317	400	1119
Média	250	181	303	444	1178

<sup>1</sup> EM=emergência; DA=duplo anel; ET= espiguetas terminal; AN= antese; MF= maturação fisiológica.

Conforme observado na Tabela 3, ocorreu diferenças na ST entre cada fase de desenvolvimento da planta. Segundo Klepper et al (1998), quando quando ocorrem estresses nas diferentes subfases da planta como, por exemplo, deficiência hídrica, estresse térmico entre outros, há alteração do intervalo entre as fenosases, mesmo em °Cd.

O número de dias simulado nas diferentes regiões e épocas de semeadura variou entre 25 e 60 dias até período ET-AN (Figura 1A) e 90 e 160 dias entre a SM-MF (Figura 1B), revelando que os maiores valores observados tanto para o período ET-AN quanto para o ciclo total foram localizados em latitude maior que 25°S e longitude entre 49 e 53°W. Entretanto, não foi considerado que as baixas temperaturas, quando coincidissem com estágio críticos da cultura, seriam letais às plantas, o que ocorreria em Palmas onde o ciclo foi de Na média geral do Estado, o número de dias simulado entre a ET-

AN foi de 40 a 45 dias e o ciclo total entre 120 a 130 dias, corroborando com Scheeren et al. (2007), que descrevem a cultivar BRS Guamirim com ciclo médio de 125 dias.



**Figura 1:** Número de dias médio entre a ET-AN (A) e ciclo total (EM-MF) em dias, da cultivar BRS Guamirim em diferentes regiões no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.

#### 4.3.2 Quociente fototermal

A variabilidade temporal e espacial do QF, nas sete primeiras épocas de semeadura simuladas, observadas nas Figuras 2 e 3, indicam que os maiores valores de QF ocorreram em regiões de latitude maior que 25°S e longitudes entre 53 e 49°W (VCU 1). Entretanto, à medida que se retardou as semeaduras (simuladas), as localidades situadas em latitude menor que 25°S (VCU 2 e 3) apresentaram pequeno acréscimo nos valores de QF. O município de Cianorte (VCU 3), mesmo estando em latitude de 23°S, apresentou valores de QF semelhantes a algumas regiões localizadas em latitude maior que 25°S (VCU 1).

Magrín et al. (1993) e Cunha et al. (2005) afirmaram que elevado valor de QF é indicativo de que existe maior potencial de rendimento. Assim, através do QF como parâmetro indicador de potencial de rendimento, Cianorte apresentou-se como uma região que pode apresentar maior potencial de rendimento em relação às demais localidades em seu entorno já que apresentou valor de QF ligeiramente superior. Essa estreita relação entre

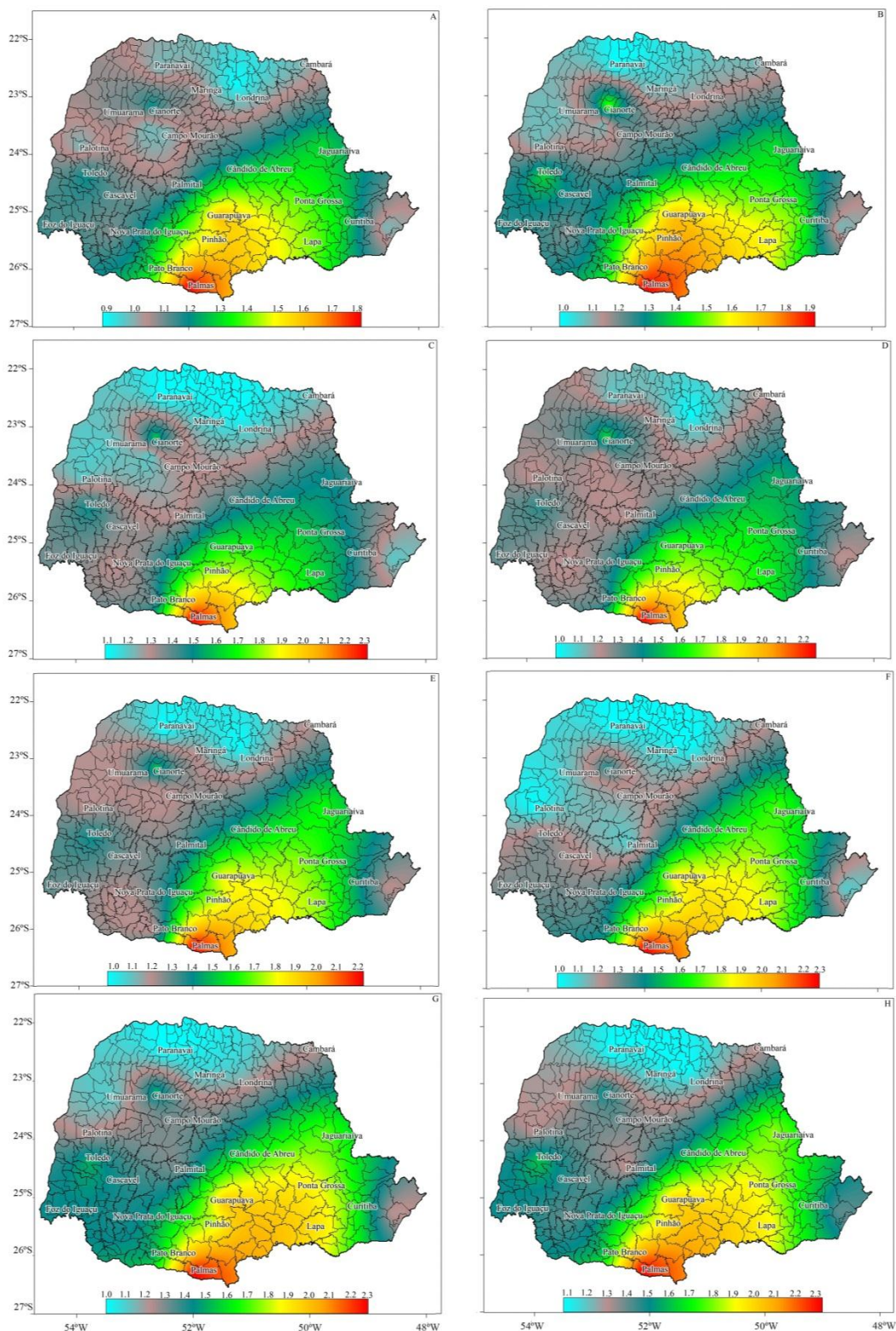
potencial de rendimento e o QF ocorre porque com o aumento do valor desse parâmetro há aumento nos principais componentes do rendimento. Bassu et al. (2010), observaram que o aumento do QF (0,14 para 1,7 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) elevou o peso da espiga de 83 para 270 g m<sup>-2</sup> e o número de grãos por área de 2638 para 13993 grãos m<sup>-2</sup> e, observaram que o aumento número de grãos por área foi positivamente maximizado com o manejo da época de semeadura. Também, avaliando o efeito de níveis de radiação solar, utilizando sombrite, Abbate et al. (1997) observaram que o incremento da radiação solar durante o período entre duplo anel e espiguetas terminal incrementou o número de grãos por área, peso da espiga e número de grãos por espiga, com reflexos positivos no rendimento de grãos.

Da mesma forma, Rodrigues et al. (2007) relataram que o período compreendido entre ET-AN foi de extrema importância, pois define os componentes do rendimento, principalmente, o número de grãos por espiga. Nesse sentido, observaram tendência linear ( $r=0,83$ ) de incremento no rendimento de grãos com o alongamento do período entre ET-AN. Além disso, constataram que o rendimento de grãos esteve pouco associado com a massa de grãos (-0,39), mas fortemente associado com o número de espigas por área (0,54) e número de grãos por espiga (0,8)..

Independente do manejo da época de semeadura as regiões localizadas ao Norte e Noroeste do Estado (VCU 3) apresentaram menores valores de QF, indicando serem regiões de menor potencial de rendimento de grãos. A região compreendida por Palmas, Guarapuava, Pinhão e Ponta Grossa (VCU 1) apresentaram elevado QF e este se manteve estável em todas as épocas de semeadura simuladas. Na região de Palmas (VCU 1) foi observado o maior QF (1,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>) de todo o Estado e, ainda, pouca variabilidade temporal do valor do QF nessa região. No entanto, com a escolha de cultivares adaptadas, manejo adequado da época de semeadura e tratamentos culturais, Bassoi et al. (2005) e Brunetta et al., (2006) observaram, na região de VCU 3, rendimentos de 4315 e 4633 kg ha<sup>-1</sup> com as cultivares BRS 220 e BRS 229, respectivamente, indicando elevado potencial de rendimento de grãos, mesmo em regiões de menor QF. Entretanto, Franceschi et al. (2010), observaram rendimento de grãos médio de 4581, 4206 e 3552 kg ha<sup>-1</sup> nas regiões de VCU 1, 2 e 3, respectivamente, através da avaliação de 17 cultivares de trigo, em

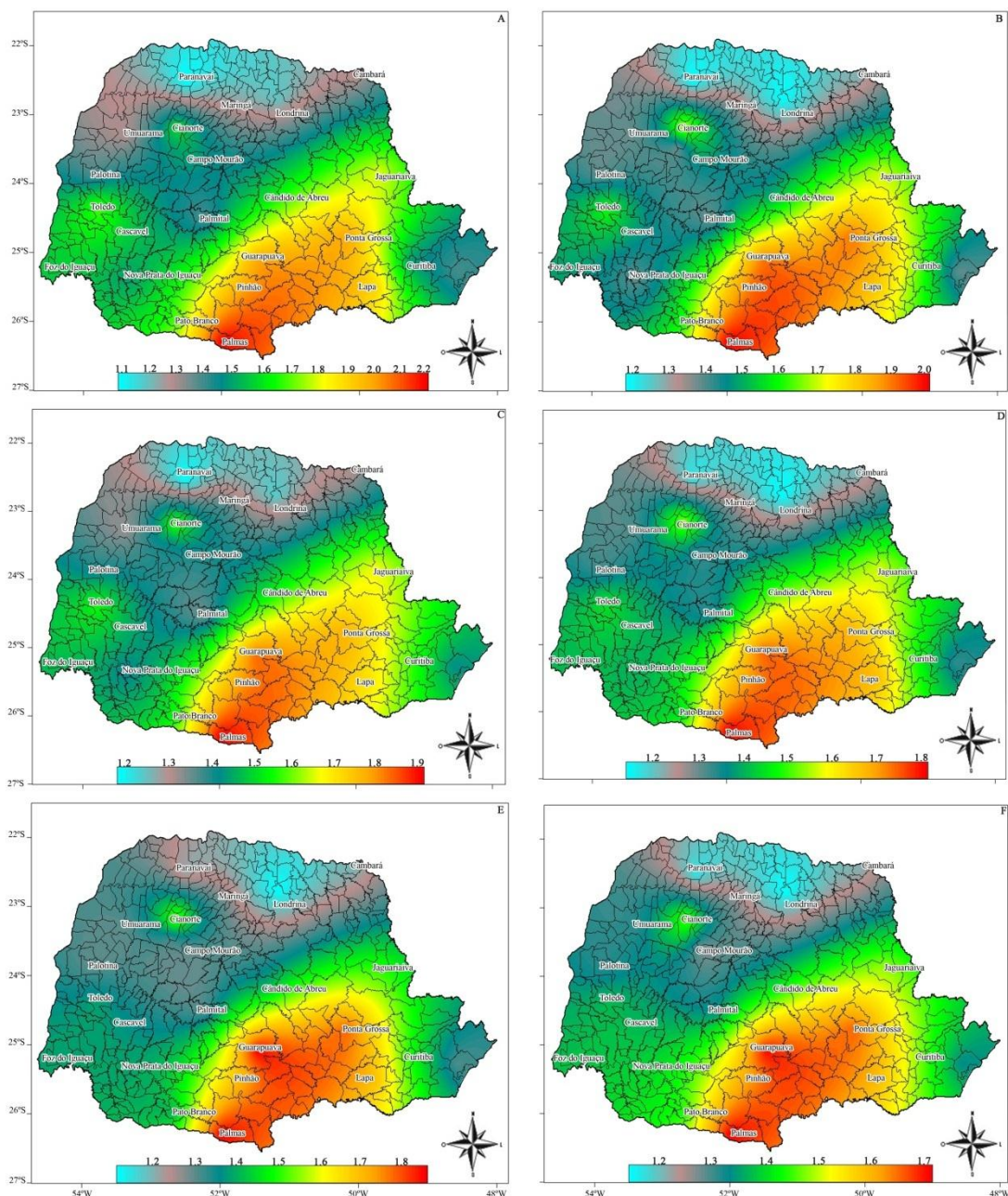
seis regiões do estado do Paraná, confirmando o maior potencial de rendimento nas regiões identificadas, neste trabalho, como as de maior QF

Os resultados observados quanto à variabilidade espacial confirmam com os obtidos por Cunha et al. (2005) no qual estudaram a variabilidade temporal e espacial do QF no Estado do Rio Grande do Sul e relataram que os maiores valores foram nas regiões Nordeste e Sudoeste do território rio-grandense, ambas região de VCU 1. Assim, é possível afirmar que em ambos Estados a região de VCU 1 é a que possui maior potencial de rendimento de trigo, com base no QF. De forma semelhante, Magrín et al. (1993) observaram que, nas regiões de Balcarce, Pergamino, Marcos Juarez e Paraná, na Argentina, o rendimento de grãos apresentou relação com o QF. Observaram que a região de Balcarce com QF de  $2,18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  apresentou o maior rendimento de grãos ( $5212 \text{ kg ha}^{-1}$ ), enquanto que a região do Paraná (Argentina) com QF de  $1,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  apresentou rendimento de grãos de  $2725 \text{ kg ha}^{-1}$ , indicando, mais uma vez, que o QF é bom parâmetro para determinar o potencial de rendimento de grãos de trigo.



**Figura 2:** Quociente fototermal ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) médio no subperíodo ET-AN para trigo, considerando épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.





**Figura 3:** Quociente fototermal ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) médio no subperíodo ET-AN para trigo, considerando épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/6 (B), 20/6 (C), 30/6 (D), 10/7 (E), 20/7 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.

#### 4.3.3 Temperaturas abaixo de $3^{\circ}\text{C}$

Quanto à probabilidade de ocorrência de temperaturas abaixo de  $3^{\circ}\text{C}$ , que pode ser entendida como risco de geadas, considerando-se uma cultivar de ciclo precoce, tal qual BRS Guamirim, observou-se que há alto risco de



ocorrência de geadas (superior a 30%) nos 10 dias anteriores e cinco dias posteriores a antese, nas regiões de elevado QF (VCU 1). Entretanto, as regiões de menor QF apresentaram valores de probabilidade de ocorrência geadas abaixo de 30%, tidas como seguras (Cunha et al., 2001), em todas as semeaduras simuladas entre 10/03 a 20/05 (Figura 4A a 4F). Entretanto, a partir de 10/05 o risco tornou-se superior a nas semeaduras tardias, em especial, no Oeste do Estado (Fig 4G e Figura 5A a 5D).

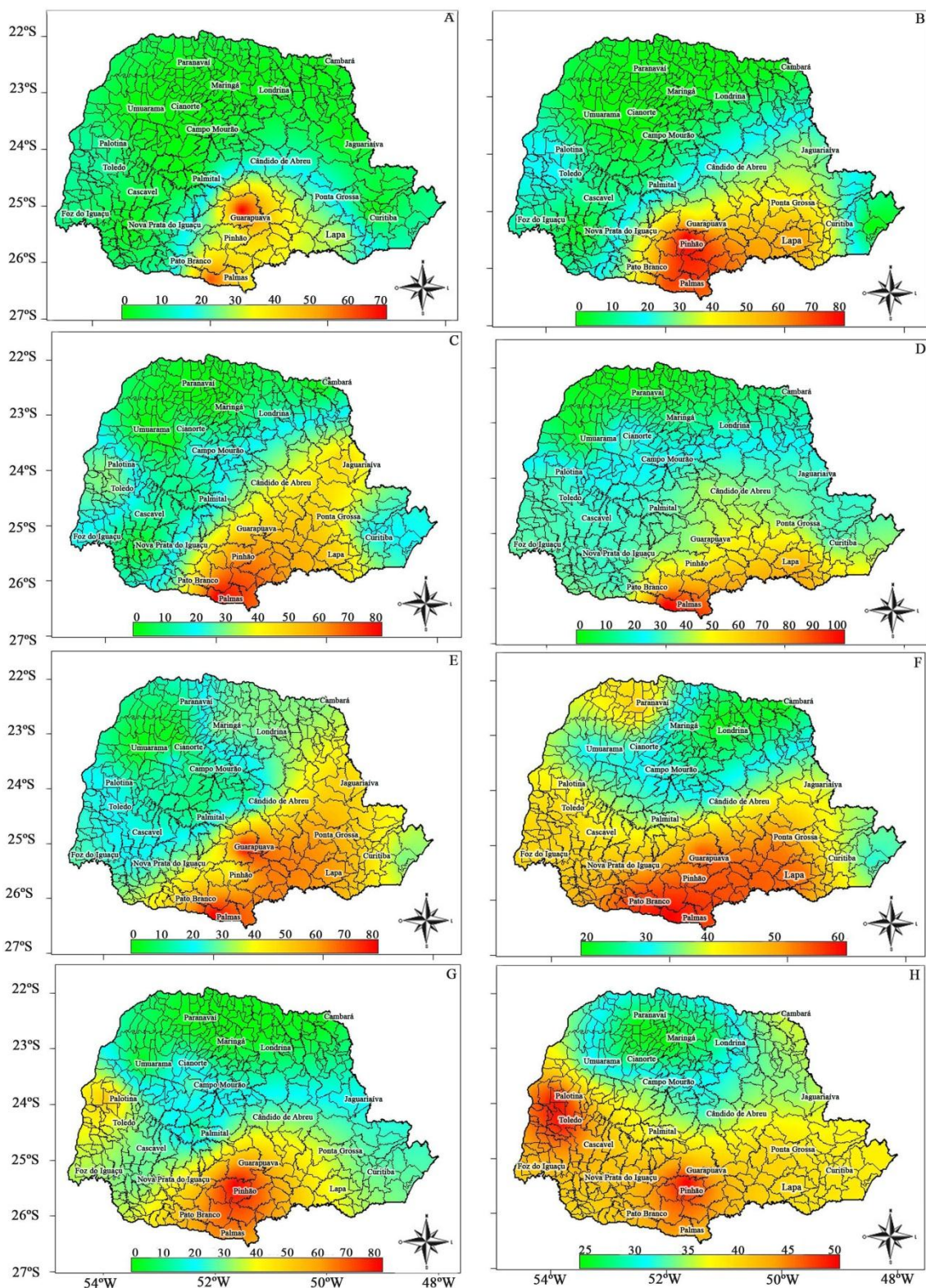
A tolerância ao frio é mais pronunciada nas fases iniciais de desenvolvimento da planta, principalmente, enquanto a planta mantiver o ponto de crescimento abaixo do nível do solo (MUNDSTOCK, 1998). Em geral, há redução média de 0,6°C na temperatura a cada 100 metros de elevação na altitude, enquanto que em alta latitude, além da redução na temperatura, existe variação na radiação solar (WREGE et al., 2005). Nesse sentido, a ocorrência de temperaturas abaixo de -2°C na fase de florescimento é relatada como letal e irreversível para planta (SCHEEREN et al., 2000).

O risco de geadas nas regiões de VCU 3 (Cambará, Londrina, Maringá, Cianorte e Umuarama) e VCU 2 (Campo Mourão), foi extremamente baixo, enquanto que na região Oeste (Foz do Iguaçu, Cascavel, Toledo e Palotina) ocorreu probabilidade de maiores riscos de geadas em semeaduras a partir de 30/04 (Figura 4F). A baixa probabilidade de geadas para a região Norte (VCU 3) está de acordo com o descrito por Cunha et al. (2001), no qual verificaram que as regiões localizadas ao Norte de 24°S apresentaram riscos de geadas menores que 30%, para todas as épocas analisadas. Para a região Sudoeste (VCU 1) (Pato Branco e Palmas) o risco de geadas foi menor nas semeaduras realizadas a partir de 30/06 (Figura 5D) e para as regiões Centro-Sul (Pinhão e Guarapuava) e Sudeste (Ponta Grossa e Lapa) as semeaduras realizadas a partir de 10/06 apresentaram menores riscos de geadas (Figura 5B).

Na região de VCU 1 do Estado, onde se localizam as áreas de maior altitude, a probabilidade de ocorrência de geadas nas primeiras épocas de semeadura simuladas indica a inviabilidade de cultivo de trigo de ciclo precoce, tal qual a cultivar BRS Guamirim, em semeaduras antecipadas, o que não ocorreu na região Norte do Estado (VCU 3) (Figura 6 e 7). Tais resultados corroboram o descrito por Cunha et al. (2001), pois afirmaram que as regiões localizadas ao norte de 24°S apresentaram riscos de geadas menores que

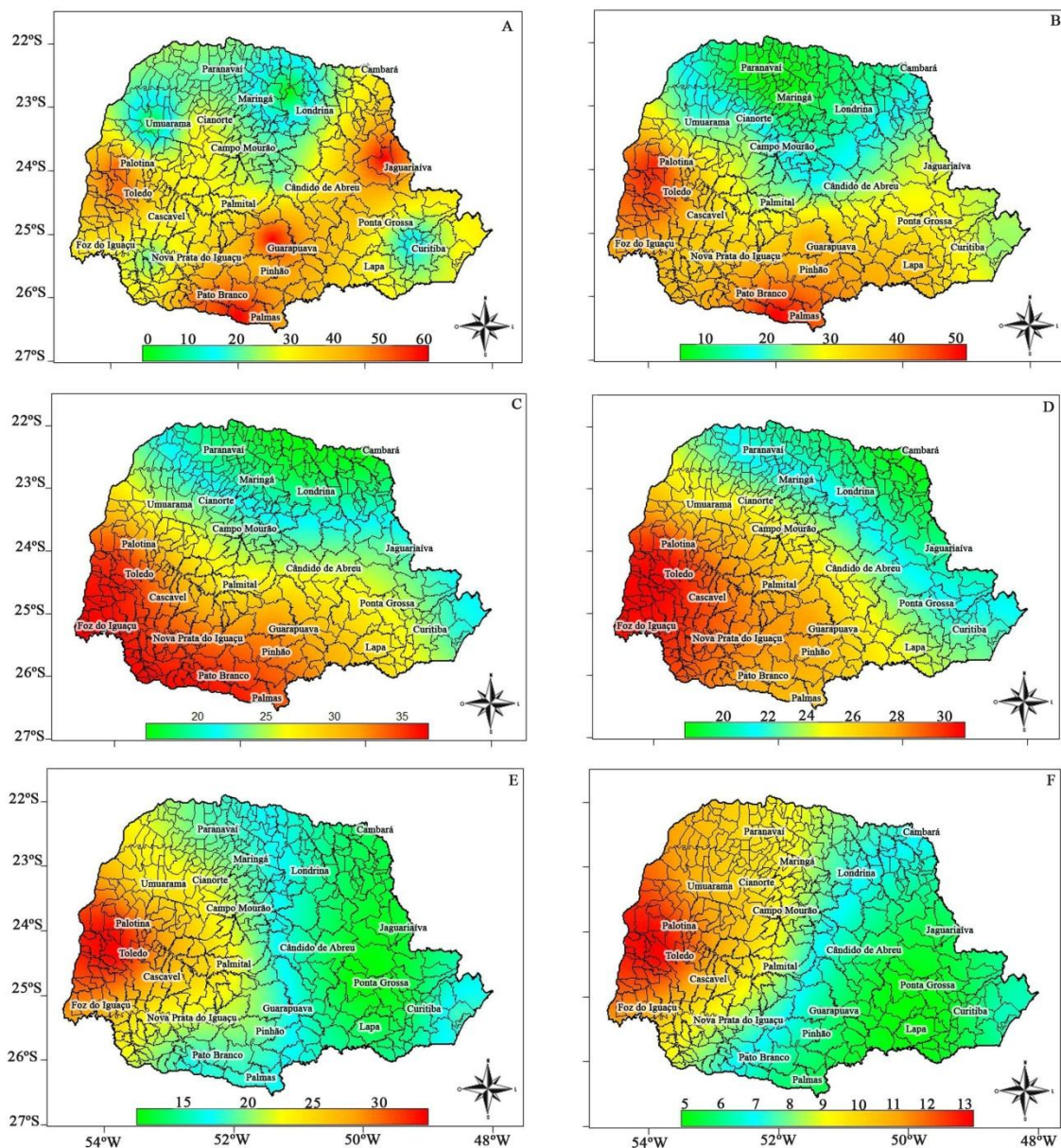
30%, e que as semeaduras no Sul do Estado devem ser tardias para evitar a ocorrência de geadas.

A combinação entre latitude e altitude provocou alterações no regime de geadas, pois regiões situadas na mesma latitude apresentaram probabilidade de geadas diferentes como, por exemplo, o observado entre Foz do Iguaçu (VCU 2) e Guarapuava (VCU 1) (Figura 4A), em que Foz do Iguaçu apresentou baixo risco de geada nas primeiras épocas enquanto que Guarapuava apresentou alto risco (Figura 4A a 4E), tal fato também foi relatado por Caramori et al. (2001). Cunha et al. (2001), também relatam que dentro da mesma faixa de latitude, as regiões de maior altitude requereram épocas de semeadura tardias, pois possuem riscos mais elevados e períodos mais prolongados sujeitos às geadas.



**Figura 4:** Probabilidade de ocorrência de temperatura inferior a 3°C (%) nos 10 dias anteriores e 05 posteriores a antese, considerando um cultivar de ciclo precoce e épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.





**Figura 5:** Probabilidade de ocorrência de temperatura inferior a 3°C (%) nos 10 dias anteriores e 5 posteriores a antese, considerando um cultivar de ciclo precoce e épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/6 (B), 20/6 (C), 30/6 (D), 10/7 (E), 20/07 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.

#### 4.3.4 Aptidão das regiões em relação às épocas de semeadura

A aptidão das regiões do Estado para cada uma das épocas de semeadura simuladas, com base na ocorrência de maiores valores de QF no período ET-AN e ocorrência de, no máximo, 30% dos anos com temperatura abaixo de 3°C nos 10 dias anteriores e 05 posteriores à antese, pode ser

visualizada nas Figuras 6 e 7. Constatou-se que as semeaduras realizadas entre 10/03 e 10/05 (Figura 6A a 6G) foram aptas (cor verde) para a região de VCU 3 e VCU 2 (apenas Campo Mourão e Toledo), exceto a semeadura em 10/03 para Campo Mourão e em 30/04 e 10/05 em Toledo e Palotina. Já semeaduras realizadas entre 20/05 (Figura 6H) e 30/05 (Figura 7A) foram adequadas apenas à parte da região VCU 3 e Noroeste, excetuando-se Cambará em 20/05 (Figura 6H), que foi considerada época.

Brunetta et al. (1997) observaram que semeaduras realizadas em Londrina (VCU 3) no mês de abril possibilitaram rendimento superior de grãos com desempenho 10% superior em relação à semeadura realizada em maio. Já para a região de Palotina (VCU 3) identificaram as semeaduras realizadas até maio como o melhor período para evitar danos por geadas, e semeaduras em junho apresentam redução significativa em relação a maio.

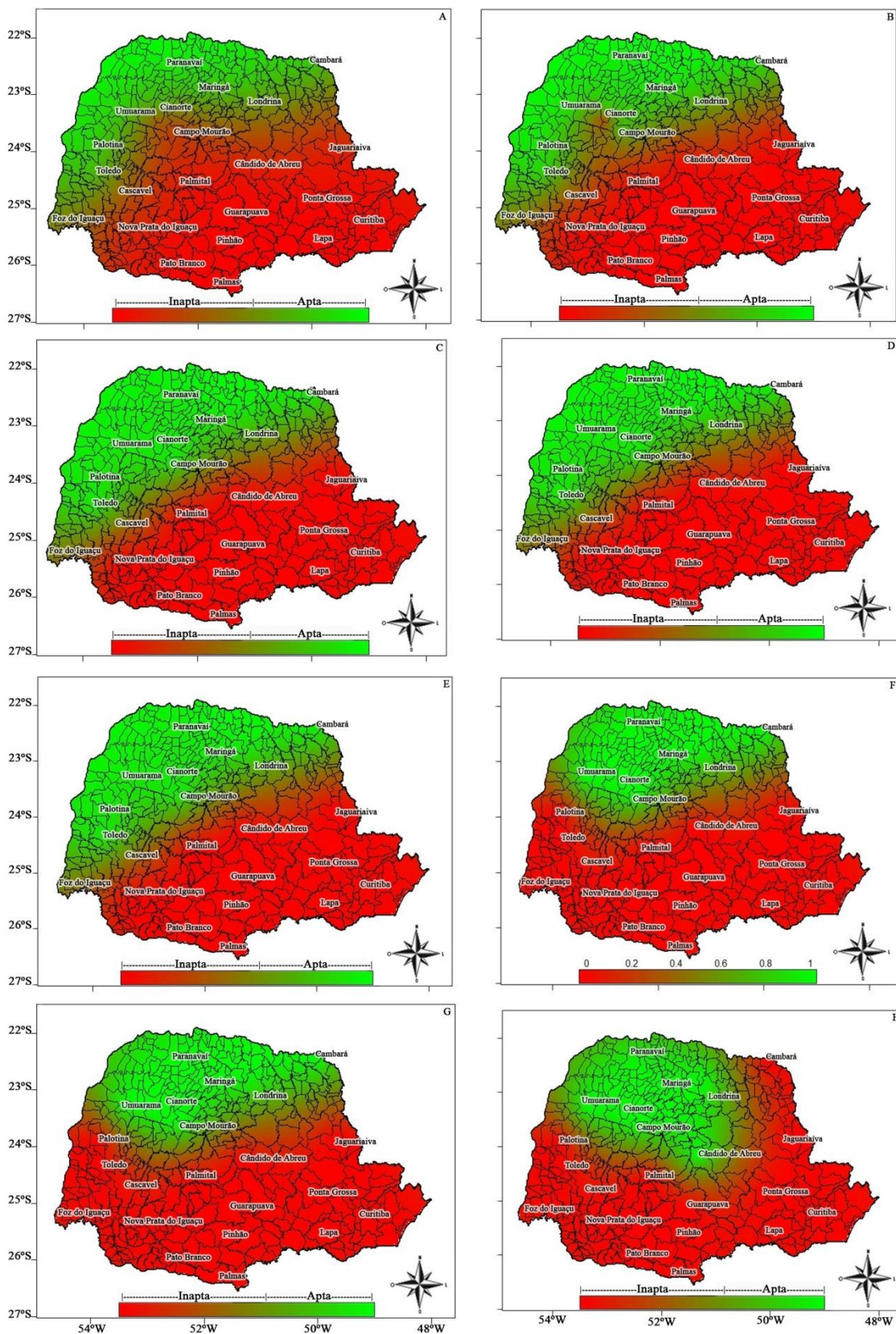
A semeadura simulada em 10/06 (Figura 7B) mostrou-se predominantemente apta às regiões localizadas no Centro do Estado, sendo que Campo Mourão, Cascavel, Nova Prata do Iguaçu (VCU 2) e Curitiba (VCU 1) enquadram nessa época de semeadura. As últimas épocas de semeadura, situadas entre 20/06 a 20/07 (Figura 7C a 7F), foram aptas para a maior parte da região Centro, Sudoeste, Sudeste e Leste, exceto para cultivo em: 20/06 (Figura 6C) para Pato Branco (Sudoeste) e Guarapuava (Centro-Sul), e a partir de 30/06 (Figura 6D) em Nova Prata do Iguaçu. Tais resultados estão de acordo com o indicado pela RCBPT (2010), que enfatizam que a semeadura de cultivares de trigo de ciclo precoce deve ser realizada em épocas nas quais o espigamento não ocorrerá no mês de julho para evitar danos por geadas. Wrege et al. (2005) relataram que todas as regiões do Estado estão sujeitas à ocorrência de geada em julho, portanto, devendo-se evitar o espigamento nessa época do ano.

Os maiores valores de QF nas primeiras épocas de semeaduras foram associadas a alto risco de geadas. Tal resultado é confirmado por Del Luca et al. (2004), que afirmaram que semeaduras antecipadas são as que apresentam o maior rendimento de grãos. Entretanto, para cultivares de ciclo curto tal qual a cultivar BRS Guamirim, é necessário atrasar a época de semeadura, principalmente na região de VCU 1, devido ao elevado risco de geadas no espigamento (Figuras 4 e 5). Da mesma forma, Cunha et al. (2005) relatou que

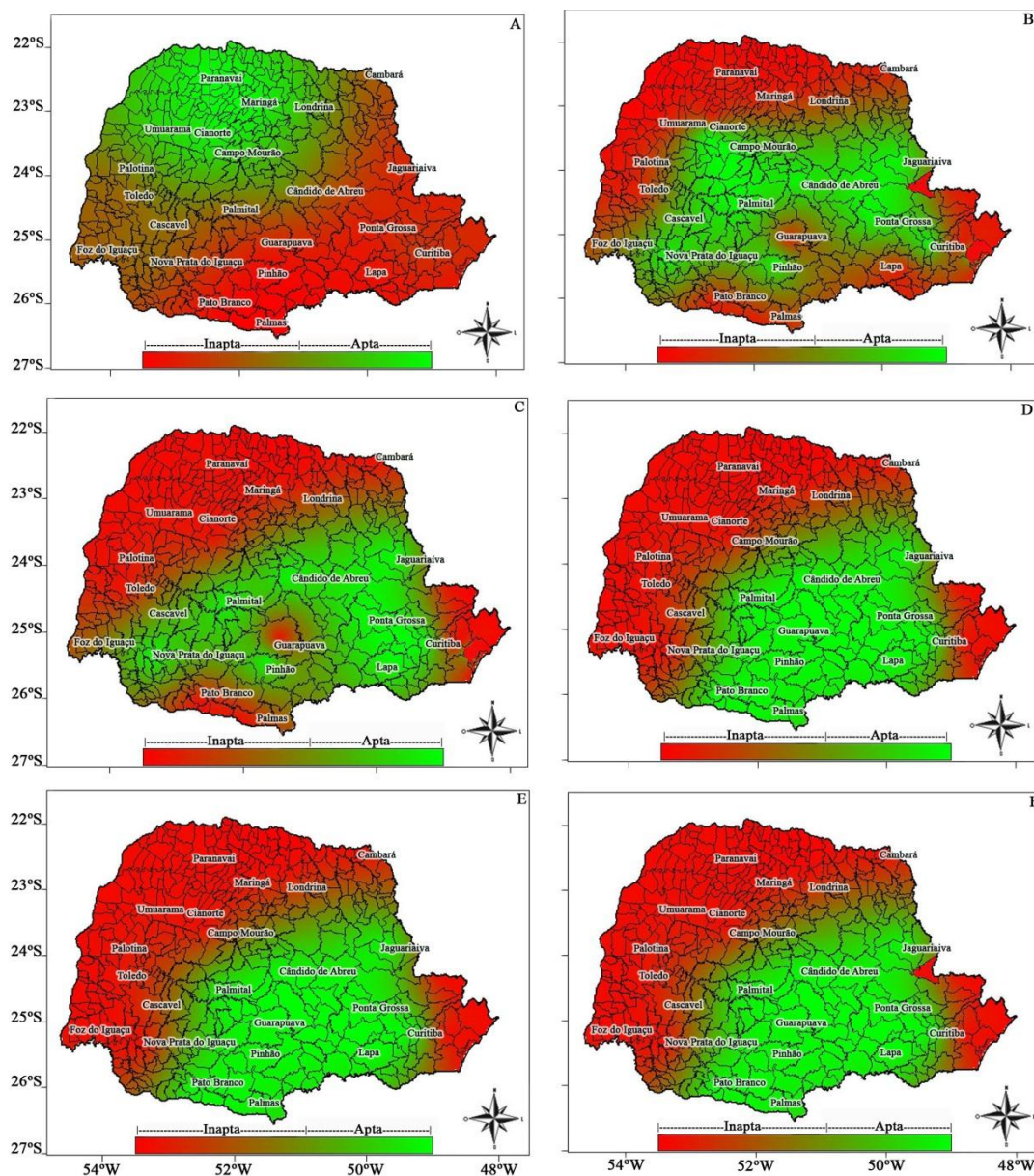
no Estado do Rio Grande do Sul as regiões e épocas com maiores valores do QF também estão sujeitas à ocorrência de geadas, requerendo semeaduras tardias.

A variação temporal e espacial do QF e a probabilidade de ocorrência de geadas, no estado do Paraná, possibilitaram subsídios para a escolha de regiões e épocas de semeadura mais indicadas para cada região, com inferências na expressão do potencial de rendimento de grãos da cultura do trigo e riscos quanto a frustrações de safras. Entretanto, para a escolha da região e épocas de semeaduras adequadas, outros fatores, tais como, tipo de solo, cultivares e pluviosidade, devem ser levados em consideração.





**Figura 6:** Aptidão das regiões do Estado para realização de semeadura, considerando épocas de semeadura em 10/03 (A), 20/03 (B), 30/03 (C), 10/04 (D), 20/04 (E), 30/04 (F), 10/05 (G) e 20/05 (H), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.



**Figura 7:** Aptidão das regiões do Estado para realização de semeadura, considerando épocas de semeadura em 30/5 (A), 10/06 (B), 20/06 (C), 30/06 (D), 10/07 (E), 20/07 (F), no Estado do Paraná. Pato Branco, 2010.

Os resultados apresentados evidenciaram a grande importância do conhecimento da variabilidade do quociente fototermal e da probabilidade de ocorrência de geadas, para a escolha de regiões e épocas de semeadura mais indicadas para cada região. Dessa forma, destacou-se a necessidade de identificar regiões e épocas de semeadura de maior QF e menor risco de geadas. Entretanto, para a escolha da região e épocas de semeadura adequadas, outros fatores, tais como, tipo de solo, cultivares e pluviosidade devem ser levados em consideração. De maneira geral, os resultados da



aptidão das regiões às diferentes épocas de semeadura estão dentro do intervalo recomendado pelo IAPAR (2010), mas, na maior parte das vezes, com janelas de épocas de semeadura mais estreitas. Assim, pode-se inferir que com base no QF e ocorrência de geadas foi possível identificar de forma adequada épocas de semeadura com maior efeito sobre o estágio relacionado à diferenciação de primórdios florais e, ao mesmo tempo, com menor risco de geadas.

#### **4.4 CONCLUSÕES**

Esse estudo revelou que nas três regiões de VCU há variação espacial, mas pouca variação temporal dentro de uma mesma região do quociente fototermal. A região de VCU 1 apresentou os maiores valores do quociente fototermal, seguida das regiões 2 e 3. A região de VCU 1 e 3 apresentaram a maior e menor ocorrência de geadas, respectivamente, sendo este fator limitante na região de VCU 1 no aproveitamento do maior quociente fototermal. As semeaduras devem ser realizadas em ordem cronológica na região de VCU 3, 2 e 1, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

ABBATE, P.E.; ANDRADE, F.H.; CULOT, J.P. BINDRABAN, P.S. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. **Field Crops Research**, v. 54, n.2-3, p.245-257, 1997.

ARECHE, M.M. e SLAFER, G.A. Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. **Field Crops Research**, v.98, n.1, p. 52-59, 2006.

BASSOI, M.C.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; SCHEEREN, P.L.; CAETANO, V. da R.; TAVARES, L.C.V.; MIRANDA, L.C. Características e desempenho agrônomo no Paraná da cultivar de trigo BRS 220. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p. 193-196, 2005.

BASSU, S.; GIUNTA, F.; MOTZO, R. Effects of sowing date and cultivar on spike and kernel number in durum wheat. **Crop and Pasture Science**, v.61, n.4, p.287-295, 2010.

**BRASIL**. Instrução Normativa nº 3, de 14 de outubro de 2008. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 out. 2008a. Seção 1, p. 31.

**BRASIL**. Instrução Normativa nº 58 de 19 de novembro de 2008. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 nov. 2008b. Seção 1, p. 3.

BRUNETTA, D.; BASSOI, M.C.; DOTTO, S.R.; SCHEEREN, P.L.; MIRANDA, M.Z. de; TAVARES, L.C.V.; MIRANDA, L.C. Características e desempenho agrônomo da cultivar de trigo BRS 229 no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 889-892, 2006.

BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; FRANCO, F. de A.; BASSOI, M. C. **Cultivares de trigo do Paraná: rendimento, características agrônomicas e qualidade industrial**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. 48 p. (Embrapa-CNPSo. Circular Técnica, 18).

CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p. 486-494, 2001.

CIVIERO, J.C. **Efeito de épocas de semeadura no desenvolvimento e produtividade do trigo (*Triticum aestivum* L.) na região de Pato Branco – PR**. Pato Branco, 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2010). Acompanhamento da safra brasileira. 45p.

CUNHA G.R. et al. **Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 14 p.html. 4 ilustr. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa Online, 2).

CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F.; PASINATO, A.; DALMAGO, G.A. Variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal no Rio Grande do Sul e suas implicações para a expressão do potencial de rendimento de grãos de trigo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.91-101,2005.

DAYNARD, T.B.; KANNENBERG, L.W. Relationships between length of the actual effective grain filling periods and the grains yield of corn. **Canadian Journal of Plant Science**, vol. 56, n.2, p.237-242, 1976.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, v.105, p.447-461, 1985.

FRANCESCHI, L. de; BENIN, G.; MARCHIORO, V.S.; MARTIN, T.N.; SILVA, R.R.; SILVA, C.L. da. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no Estado do Paraná. **Bragantia**, v. 69, n.4, p.797-805, 2010.

GAJU, O.; REYNOLDS, M.P.; SPARKES, D.L.; FOULKES, M.J. Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potencial in spring wheat. **Crop Science**, v.49, n.3, p.961-973, 2009.

GEBEYEHOU, G.; KNOTT, D.R.; BAKER, R.J. Relationships among durations of vegetative and grain filling phases, yield components, and grain yield in durum wheat cultivars. **Crop science**, v.22, n.2, p.287-290, 1982.

GIBSON, L.R. e PAULSEN, G.M. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1841-1846, 1999.

GILMORE, E.C. Jr.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, n.10, p.611-615, 1958.

GRODZKI, L., CARAMORI, P.H., BOOTSMA, A. Riscos de ocorrência de geadas no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 93-99, 1996.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n.2, p. 352–356, 2006.

IAPAR, 2010. Zoneamento Agrícola da cultura do trigo. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1088>, acessado em 30/11/2010.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

MAGRIN, G.O. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 67, p. 29-41, 1993.

MCMMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.87, p.291-300, 1997.

PEREIRA, R.P.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.

POGGIO, S.L.; SATORRE, E.H.; GONZALO, G.M. Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea. **European Journal Agronomy**, v. 22, n.1, p.55-69, 2005.

R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (RCBPTT). Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2011. (4 ed.: 2010).

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; ROMAN, E. S. **Modelo para previsão de estádios de desenvolvimento em trigo**. Passo Fundo: Embrapa

Trigo, 2001. 11p. html, 2 ilustr. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online; 5). Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_ci05.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci05.htm)

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.817-825, 2007.

ROSENZWEIG, C., and LIVERMAN, D. Predicted effects of climate change on agriculture: A comparison of temperate and tropical regions. *In: Global climate change: Implications, challenges, and mitigation measures*. Editora. S. K. Majumdar, 342-61. PA: The Pennsylvania Academy of Sciences.

ROWSON, H. M. e MACPHERSON, H. G. **Trigo regado**. Organizacion de las Naciones Unidas y la Alimentacion. Roma, 2001.

SCHEEREN, P.L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M.S. e; DEL LUCA, L. de J.A.; JUNIOR, A.N.; LINHARES, A.; EICHEBERGER, L. BRS Guamirim: cultivar de trigo da classe pão, precoce e de baixa estatura. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.42, n.2, p.293-296, 2007.

SCHEEREN, P; CUNHA, G.R.; QUADROS, F.J.S.; MARTINS, L.F. **Efeito do frio em trigo**. 2000. Disponível em: <[http://w.w.w.embrapa.br/biblio/p\\_co57.htm](http://w.w.w.embrapa.br/biblio/p_co57.htm)>. Acesso em: 04 outubro de 2010.

SILVA, E.P.; CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F.; DALMAGO, F.A.; PASINATO, A. Fatores abióticos envolvidos na tolerância de trigo à geadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.10, p. 1257-1265, 2008.

SINCLAIR, T.R. e JAMIESON, P.D. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. **Field Crops Research**, v.98, n.1, p. 60-67, 2006.

SLAFER. G.A.; RAWSON, H.M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a reexamination of some assumptions made by physiologists and modellers. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, 393-426, 1994.

TEWARI, S. K. AND SINGH, M. Yielding ability of wheat at different dates of sowing: a temperature development performance. **Indian Journal of Agronomy**, v.38, p.204-209, 1993.

WHEELER, T.R.; HONG, T.D.; ELLIS, R.H.; BATTS, G.R.; MORISON, J.I.L.; HADLEY, P. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO<sub>2</sub>. **Journal of experimental botany**, v.47, n. 298, p.623-630, 1996.

WREGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, A.C.A.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R.C.; CAVIGLIONE, J.H. FARIA, R.T. de; FREITAS, P.S.L. de; GONÇALVES, S.L. Regiões potenciais para cultivo da cana de açúcar no Paraná, como base na análise do risco de geadas. **Revista brasileira de agrometeorologia**, v.13, n.1, p.113-122, 2005.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo indicaram que há influência da variabilidade climática entre regiões de cultivo e, também, em uma mesma região. As metodologias utilizadas para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura mostraram-se eficientes para tal propósito.

É importante ressaltar que quando o foco do pesquisador é o estudo do ambiente como, por exemplo, identificar qual época de semeadura proporciona maior rendimento à cultura a análise AMMI é eficaz para esse objetivo, mas leva a conclusões equivocadas na adaptabilidade. Por outro lado, se o objetivo é selecionar genótipos superiores associados a megaambientes, deve-se dar preferência ao modelo GGE Biplot.

Cabe discutir que o estudo de épocas de semeadura baseados na ocorrência de geadas e quociente fototermal apresentou relativa eficiência, pois as épocas identificadas no estudo estão de acordo com o relatado na literatura e o recomendados pelo IAPAR. Também, é importante ressaltar que a escolha da época de semeadura com alto quociente fototermal é dificultada devido à ocorrência de geadas pode ser um fator limitante. Concluiu-se que cada cultivar possui exigências de ordem climáticas diferenciadas, pois há adaptabilidade específica para as diferentes épocas de semeadura.

## REFERÊNCIAS – INTRODUÇÃO GERAL

ACEVEDO, E.; SILVA, P.; SILVA, H. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MARCPHERSON, H. G. **Bread Wheat**. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, p. 567, 2002.

BOTREL, M. A.; EVANGELISTA, A. R.; VIANA, M. C. M.; PEREIRA, A. V.; SOBRINHO, F. S.; OLIVEIRA, J. S.; XAVIER, D. F.; HEINEMANN, A. B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa avaliadas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 409-414, 2005.

Companhia Nacional de Abastecimento Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, abril/2009. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2009.

CRUZ, C. D. e CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa. editora UFV. 2 ed. v.2, 2006.

FELICIO, J.C.; CAMARGO, C. E. O.; GERMANI, R.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BORTOLETO, N.; JUNIOR, A. P. Influência do ambiente no rendimento e na qualidade de grãos de genótipos de trigo com irrigação por aspersão no Estado de São Paulo. **Bragantia**. v.60, n.2, p. 111-120, 2001.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agriculture Science**. London. v.105, p. 447-461, 1985.

Fischer, R.A. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. **Field Crops and Research**, v.105, n.1, p.15–21, 2008.

MAGRIN, G.O. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam. v.67, p. 29-41, 1993.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Editora Evangraf. Porto Alegre, 1999.

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

RITCHIE, J.T. Wheat phasic development. In: Índice de sensibilidade à vernalização em trigos sul-brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria. v. 6, n.1, p. 29-33, 1998.

SCHEEREN, P.L. Danos de geada em trigo: avaliação preliminar de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 17, n. 6, p. 813-818, 1982.

SIAL, M. A.; Arain, M. A.; Naqvi, S. K. M. H; Dahot, M. U.; Nizamani, N. A. Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 37, n.3, p. 575-584, 2005.

SILVA, P. S.; CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A. Fatores abióticos envolvidos na tolerância do trigo à geada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.10, p.1257-1265, 2008.

WIEGAND, C. L. e CUELLAR, J. A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. **Crop Science**. v.21, 1981.