

JERÔNIMO ARAÚJO GOMES

RENDIMENTO, CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE DE CULTIVARES DE
TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de "*Doctor Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

À minha querida Raquel e aos amados Daniel e Júlia.
Aos meus pais, Jerônimo e Enóe.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, por dar-me força nos momentos mais difíceis, mesmo quando eu O julgava distante.

Aos meus irmãos pelas palavras de incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Antônio Américo Cardoso pela orientação, pela compreensão e, sobretudo, pela confiança, minha profunda gratidão.

Ao professor Moacil Alves de Souza pela sugestão inicial do trabalho.

Ao professor Fábio Murilo Da Matta pela amizade, pelo incentivo e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos professores Paulo Roberto Cecon e Valterley Soares Rocha e ao Dr Ebenézer de Oliveira Silva, pelas críticas e sugestões.

À minha irmã Maria Regina e meu cunhado Elson, aos quais faltam-me palavras de gratidão.

Aos amigos, Chico, Bené, Daniel e Sandra, pelo carinho e pela amizade, nos momentos alegres e difíceis do entrelaçar de nossas vidas.

Ao amigo Scapim, pelo muito que crescemos juntos, por toda ajuda dispensada e, sobretudo, por me fazer compreender a grandiosidade de uma verdadeira amizade.

Aos amigos de Jataí Admílson, Álvaro, Américo, Helder, Luciana Márcio, Masca e Robson, pelo apoio incondicional, pela convivência e pelo engrandecimento da minha vida profissional.

A todos, que em algum momento, com a mais singela ajuda contribuíram para a conquista deste sonho.

BIOGRAFIA

Jerônimo Araújo Gomes, filho de Jerônimo Gomes Neto e Enóe Araújo Gomes, nasceu a 03 de janeiro de 1968, em Caratinga – MG.

Realizou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em 1990.

Tornou-se mestre em Fitotecnia no ano de 1994, também pela Universidade Federal de Viçosa.

Iniciou, nesta mesma instituição, em 1995, o curso de doutorado em Fitotecnia, defendendo tese em março de 2001.

Em agosto de 1997 tornou-se professor do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Montes Claros. Atualmente é professor do curso de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí.

CONTEÚDO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	5
PRODUÇÃO DE GRÃOS E SEUS COMPONENTES EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA	5
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
CAPÍTULO 2	18
ACÚMULO DA BIOMASSA EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
CAPÍTULO 3	32
ÁREA DE FOLHAS-BANDEIRA E TROCAS GASOSAS EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA	32
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
RESUMO E CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

- BST - Biomassa seca total
- NG - Número de grãos
- NE - Número de espigas
- NGE - Número de grãos por espiga
- MIG - Massa individual de grãos
- MTG - Massa seca total de grãos
- BSF - Biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas
- BSC - Biomassa de colmos
- g_s - Condutância estomática
- C_i - Concentração interna de CO_2
- A_n - Taxa de assimilação líquida de CO_2
- AFB - Área de folhas-bandeira fotossinteticamente ativas

RESUMO

GOMES, Jerônimo Araújo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Rendimento, crescimento e fotossíntese de cultivares de trigo em função de épocas de semeadura.** Professor Orientador: Antônio Américo Cardoso. Professores Conselheiros: Fábio Murilo Da Matta, Paulo Roberto Cecon e Valterley Soares Rocha.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, nos anos de 1996 e 1997, com os objetivos de verificar os efeitos de altas temperaturas sobre o desenvolvimento do trigo. Utilizaram-se quatro épocas de semeadura com a finalidade de submeter a planta a diferentes temperaturas durante o seu desenvolvimento. Foram utilizados os cultivares Anahuac, BH 1146, BR 26 e Embrapa 22, sendo que os dois primeiros foram escolhidos por apresentarem menor sensibilidade ao calor. Em cada época de semeadura foi feito o monitoramento do crescimento dos cultivares por todo o ciclo, realizando-se amostragens a cada 10 dias. Foram avaliadas a biomassa total seca, biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas, biomassa de colmos, condutância estomática, fotossíntese líquida, concentração interna de CO₂, o rendimento de grãos e seus componentes. Constatou-se comportamento diferenciado entre os cultivares estudados, em que 'Anahuac' e 'BH 1146' foram mais tolerantes ao calor do que 'BR 26' e 'Embrapa 22', por apresentaram maior estabilidade nos componentes de

produção, bem como menor diminuição da fotossíntese e maior longevidade da área foliar quando expostas à alta temperatura. Outra diferença marcante foi observada quanto à capacidade de remobilização de assimilados, do colmo para os grãos, sendo maior nos cultivares tolerantes. Essa capacidade parece ter ocorrido mesmo em condições de temperaturas mais amenas, fato não manifestado nos cultivares mais sensíveis.

ABSTRACT

GOMES, Jerônimo Araújo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2001. **Yield, growth and photosynthesis of wheat cultivars as function of the sowing dates.** Adviser: Antônio Américo Cardoso. Committee Members: Fábio Murilo Da Matta, Paulo Roberto Cecon and Valterley Soares Rocha.

The experiment was carried out in a greenhouse in 1996 and 1997 aiming to verify the effect of high temperature in wheat development. Four sowing dates were used with the objective to submit the plant to different temperatures during their development. The cultivars Anahuac, BH 1146, BR 26 and Embrapa 22 were used, and the first two cultivars were chosen because they have shown the least heat sensibility. In each sowing date it was monitored the cultivars growth during the whole cycle and they were sampled every 10 days. It was evaluated the total dry biomass, dry biomass of active photosynthetic leaves, stem biomass, stomatic conductance, net photosynthesis, internal concentration of CO₂, yield of grains and their components. It was verified the differentiated cultivars behavior, and 'Anahuac' and 'BH 1146' were more heat tolerant than 'BR 26' and 'Embrapa 22'. They have shown high stability in components yield, smaller decrease of photosynthesis and longer life of leaves when exposed to high temperatures. Other marked difference was the capacity of mobilization of assimilates, of

the stem for the grains, being higher in the tolerant cultivars. This capacity seems to happen in mild temperatures, fact not manifested in sensitive cultivars.

INTRODUÇÃO GERAL

O trigo, por ser uma cultura que originalmente requer baixas temperaturas, é plantado no Brasil no inverno. No entanto, em determinadas regiões o período de temperaturas mais amenas coincide com a escassez de chuvas, o que acarreta a necessidade do uso de irrigação, aumentando, pois, o custo de produção. Mesmo no Sul do país, onde as temperaturas são menores e o inverno é chuvoso, a cultura do trigo sofre dos efeitos de altas temperaturas, gerando perdas de rendimento e qualidade.

A semeadura precoce, no início do outono, resolveria, para muitas regiões, o problema da escassez de chuvas, dispensando o uso da irrigação; porém, as altas temperaturas que ainda ocorrem nessa época inviabilizam a cultura, em função da perda de qualidade e produção ocasionada pelo estresse térmico.

O desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse provocado pelo calor viabilizaria a cultura do trigo em muitas regiões, onde há a necessidade da semeadura mais cedo, bem como promoveria um aumento na qualidade do trigo que é produzido nas regiões mais frias do país, mas que ainda sofrem do efeito das altas temperaturas. No entanto, o desenvolvimento de cultivares tolerantes esbarra na falta de informações confiáveis acerca do comportamento de diferentes genótipos em relação aos efeitos do calor nos diferentes estádios do desenvolvimento.

Altas temperaturas podem afetar a germinação e a emergência de plantas. Altas temperaturas do solo durante a emergência reduzem o comprimento do coleóptilo e, por conseguinte, reduzem o estande na cultura do trigo (BLUM e SINMENA, 1994; RADFORD, 1987).

Existe um consenso de que altas temperaturas promovem um encurtamento do desenvolvimento vegetativo (PORTER et al., 1995; PORTER et al., 1994; RAWSON, 1993a e b; SPHILER e BLUM, 1991; SPHILER e BLUM, 1986; MIDMORE et al., 1985a e b). A linearidade entre tempo térmico e aumento do estágio vegetativo é válida até uma certa temperatura, que pode variar com o cultivar e condições ambientais; a partir dessa temperatura há quebra da linearidade, passando para uma resposta curvilínea (RAWSON, 1993a).

O choque térmico pode levar à paralisação da produção de novos primórdios no ápice vegetativo (RAWSON e RICHARDS, 1992), o que pode levar a um número final menor de folhas e espiguetas do que o esperado (RAWSON, 1993b).

Temperatura alta após a antese pode diminuir a formação celular e o desenvolvimento de tecido do endosperma. O número de células não parece ser alterado por altas temperaturas crônicas (< 30°C), mas as células que se desenvolvem sob essas condições são menores ou não são capazes de encher, devido ao reduzido depósito de amido. Condições de choque térmico (> 36°C), particularmente no início do desenvolvimento, podem resultar em grãos deformados, com o tipo de dano dependendo do tempo e severidade do estresse. Porém, um estágio de desenvolvimento sensível, em termos de resposta da produção à alta temperatura, parece ser de dez a quinze dias após a antese (WARDLAW e WRIGLEY, 1994).

Com o aumento da temperatura há um encurtamento da duração do enchimento de grãos. Aumento brando da temperatura promove um encurtamento no período de enchimento de grãos, o que é compensado por uma maior taxa de enchimento, causando pouca alteração no peso dos grãos. Porém, sob temperaturas mais altas, a menor duração do período de enchimento dos grãos não é totalmente compensada pelo aumento da taxa

de enchimento, reduzindo, assim, o peso dos grãos (WARDLAW e MONCUR, 1995; TASHIRO e WARDLAW, 1989).

WARDLAW e MONCUR (1995) relataram que cultivares de trigo têm respostas diferentes à alta temperatura durante o enchimento do grão. Ao analisarem a divergência genética em relação à tolerância ao calor (NEVO et al., 1992) e a variação geográfica entre cultivares de trigo (KATO e YOKOYAMA, 1992), esses autores concluíram que existem grandes possibilidades de seleção de cultivares de trigo tolerantes ao calor.

BRUCNER e FROHBERG (1987) salientaram que o desenvolvimento de cultivares tolerantes a altas temperaturas é o objetivo de muitos programas de melhoramento, mas o sucesso é limitado. O melhoramento genético para tolerância ao estresse por calor requer identificação de mecanismos fisiológicos relevantes como critérios de seleção e testes para verificar o valor como critério para o melhoramento (MAYER e GOZLAN, 1982). A seleção para tolerância ao estresse por calor em muitos programas de melhoramento é dificultada pela falta de estratégias apropriadas e técnicas de “screening” e poucos genótipos que mostrem diferenças contrastantes em resposta ao estresse por calor.

ZHONG-HU e RAJARAM (1994) estudaram a resposta de 16 genótipos em diferentes estações de crescimento, correlacionando caracteres de produção e seus componentes com condições de alta temperatura. Os autores constataram que a produção de grãos, grãos por espiga, biomassa e altura de planta foram mais termo-sensíveis que número de espigas por planta, peso de 1000 grãos e peso hectolítrico. Análises de correlações indicaram que a produção foi alta e positivamente correlacionada com o número de grãos por espiga, biomassa e índice de colheita, independentemente da estação de crescimento e genótipo. Segundo os mesmos autores, número de grãos por espiga, biomassa, índice de colheita e peso hectolítrico podem ser considerados critérios potenciais para a seleção visando à tolerância à alta temperatura.

Grande parte das informações disponíveis na literatura restringe-se aos efeitos do estresse térmico a que a planta está sujeita apenas em curtos

períodos de exposição e quase sempre na fase de final do desenvolvimento. Pretendeu-se, então, determinar a produtividade de grãos, o crescimento e a fotossíntese das plantas de trigo submetidas a diferentes períodos de estresses de altas temperaturas, em função de épocas de semeaduras, durante o ciclo de desenvolvimento.

CAPÍTULO 1

PRODUÇÃO DE GRÃOS E SEUS COMPONENTES EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA

1. INTRODUÇÃO

Dentre os vários fatores climáticos, a baixa disponibilidade de água e as altas temperaturas são as maiores limitações para a produção de trigo, podendo ocorrer por toda a estação de crescimento em áreas tropicais (ACEVEDO et al., 1991). O estresse provocado por altas temperaturas ao longo do ciclo afeta adversamente o crescimento do trigo, porém os efeitos não são ainda muito bem compreendidos (WARDLAW e WRIGLEY, 1994).

ZHONG-HU e RAJARAM (1994) estudaram a resposta de 16 genótipos em diferentes estações de crescimento, correlacionando caracteres de produção e seus componentes com altas temperaturas. Pelos resultados obtidos, o rendimento, número de grãos por espiga e biomassa foram mais termo-sensíveis que número de espigas por planta e peso de 1000 grãos; concomitantemente, a taxa de enchimento do grão foi uma das características mais sensíveis à temperatura. Análises de correlações indicaram que a produção de grãos foi alta e positivamente correlacionada

com o número de grãos por espiga e biomassa, independentemente da estação de crescimento e do genótipo. Ainda segundo aqueles autores, número de grãos por espiga, biomassa, índice de colheita e peso hectolítrico podem ser considerados critérios potenciais para a seleção visando à tolerância à alta temperatura.

Com o aumento da temperatura, há redução do período de enchimento de grãos. Essa redução, quando o aumento da temperatura é brando, pode ser compensada pela elevação na taxa do enchimento, causando pouca alteração no peso final do grão. Porém, sob temperaturas mais elevadas, a menor duração do enchimento dos grãos não é totalmente compensada pelo aumento da taxa de enchimento, reduzindo, assim, o peso dos grãos (WARDLAW e MONCUR, 1995; TASHIRO e WARDLAW, 1989).

Temperatura alta após a antese pode influenciar a formação celular e o desenvolvimento de tecido do endosperma. O número de células não parece ser alterado quando a temperatura não excede a 30°C, mas as células que se desenvolvem sob tais condições são menores, com redução na deposição de amido. Choque térmico, provocado por temperaturas acima de 36°C,, particularmente no início do desenvolvimento da planta, pode resultar em grãos deformados, com o tipo de dano dependendo da duração e da severidade do estresse. Porém, a maior sensibilidade em termos de resposta da produção à alta temperatura acontece, aproximadamente, de dez a quinze dias após a antese (WARDLAW, 1994).

A exposição tardia às altas temperaturas ocasiona diminuição no rendimento total de grãos, devido ao menor número de flores férteis por espiga e à diminuição do peso individual do grão (TASHIRO e WARDLAW, 1989; AMORES-VERGARA e CARTWRIGHT, 1984).

Este trabalho teve o objetivo de determinar o efeito de altas temperaturas sobre o desenvolvimento, rendimento de grãos e de seus componentes em cultivares de trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados quatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos quais 'Anahuac' e 'BH 1146' foram considerados, presumivelmente, tolerantes ao estresse por calor e 'BR 26' e 'Embrapa 22', suscetíveis. O experimento foi conduzido em abrigo com cobertura de filme plástico transparente e totalmente revestido com tela do tipo clarite, nos anos de 1996 e 1997.

Os quatro cultivares foram semeados em sacos de polietileno preto, com capacidade para 6 kg de solo. A semeadura foi realizada utilizando-se 10 sementes por recipiente. Após a emergência das plantas foi feito desbaste,, deixando-se cinco plantas em cada recipiente. O solo utilizado foi coletado de um horizonte superior, sob mata, sendo corrigido posteriormente para os seguintes níveis de nutrientes (mg do nutriente / kg de solo): N:100; P:400; K:170; B:0,81; Cu:1,33; Zn:0,15; Mo:4. O nitrogênio e o boro foram parcelados, sendo metade aplicada antes da semeadura e metade aplicada 14 dias após a emergência das plantas, para o nitrogênio, e por ocasião da emissão da folha-bandeira, para o boro. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo.

A determinação das épocas de semeadura teve como princípio permitir todas as possibilidades de combinação entre fases do desenvolvimento (fase vegetativa e fase reprodutiva) e estresse térmico. A

primeira semeadura foi efetuada no início do mês de fevereiro; 2^a, 3^a e 4^a, aos 50, 100 e 150 dias após a primeira semeadura, respectivamente. Na Figura 1 estão representadas as épocas de semeaduras e as respectivas temperaturas (máximas e mínimas) ocorridas no período do experimento.

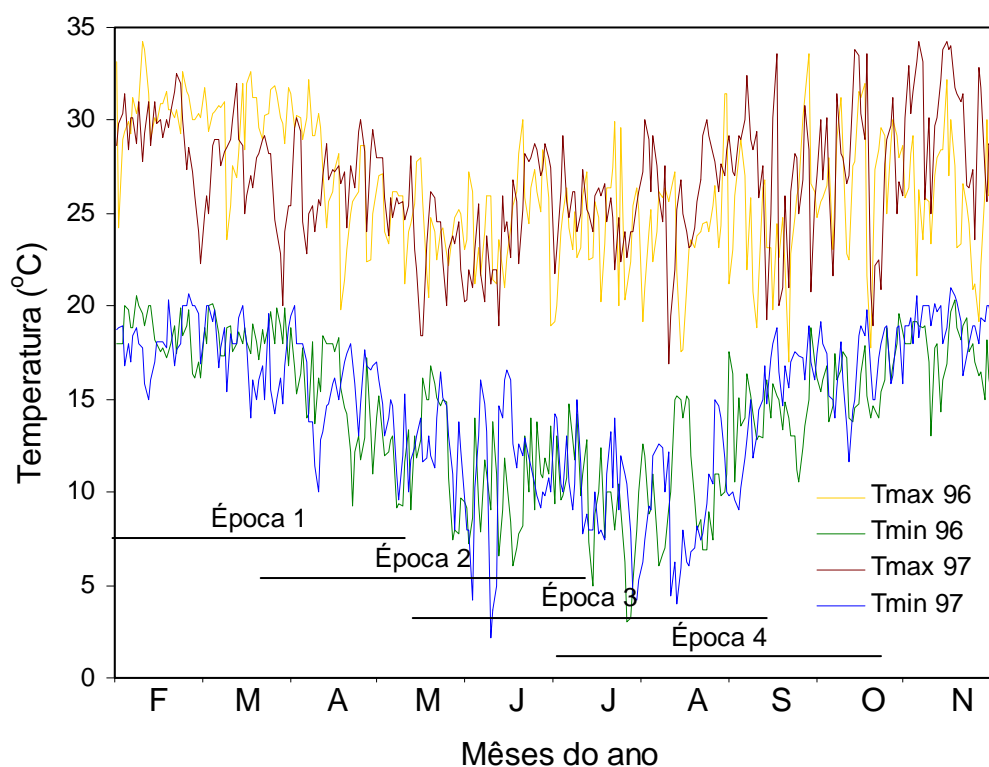


Figura 1 - Representação das épocas de semeaduras e temperaturas máximas e mínimas nos anos de 1996 e 1997.

Foram avaliadas as seguintes características: biomassa seca total da parte aérea (BST), número de grãos (NG) por vaso, número de espigas (NE) por vaso, número de grãos por espiga (NGE), massa individual de grãos (MIG) e massa seca total de grãos (MTG). As coletas ocorreram ao final do ciclo de cada cultivar, em cada uma das quatro épocas de semeadura.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado para cada época de semeadura, com quatro repetições. Primeiramente procederam-se as análises individuais por ano agrícola. Quando da não discrepância dos quadrados médios do resíduo (relação 7:1), foram efetuadas as análises

conjuntas (PIMENTEL GOMES, 1985). O esquema de tratamento é descrito conforme o modelo abaixo:

$$Y_{ijkl} = m + a_i + c_j + e_k + ac_{ij} + ae_{ik} + ce_{jk} + ace_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Em que,

Y_{ijkl} = valor observado no i-ésimo ano, no j-ésimo cultivar, na k-ésima época de semeadura e l-ésima repetição

m = média geral

a_i = efeito do i-ésimo ano, $i=1$ e 2

c_j = efeito do j-ésimo cultivar, $j=1, \dots, 4$

e_k = efeito da k-ésima época de semeadura, $k=1, \dots, 4$

ac_{ij} = efeito da interação do i-ésimo ano com o j-ésimo cultivar

ae_{ik} = efeito da interação do i-ésimo ano com a k-ésima época de semeadura

ce_{jk} = efeito da interação do j-ésimo cultivar com a k-ésima época de semeadura

ace_{ijk} = efeito da interação do i-ésimo ano com o j-ésimo cultivar na k-ésima época de semeadura

ε_{ijkl} = erro experimental

Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste de t, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, na falta de ajuste, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, evidencia-se a diferença de temperatura durante as fases do desenvolvimento nas quatro épocas de semeadura. A época 1 é marcada por temperaturas altas em todo o ciclo, sendo que a época 2 tem o efeito de temperaturas altas na fase vegetativa e temperaturas mais amenas na fase reprodutiva; a ocorrência de temperaturas amenas por todo o ciclo configura a época 3, e, finalmente a época 4 tem a fase vegetativa marcada por temperaturas mais baixas e a fase reprodutiva ocorrendo sob temperaturas mais elevadas.

De modo geral, o comportamento das características dos cultivares estudados, em resposta às épocas de semeadura, foi quadrático (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

Os cultivares Anahuac e BH 1146 apresentaram maior estabilidade da biomassa seca total da parte aérea (BST) em relação às épocas, enquanto 'Embrapa 22' apresentou a maior alteração da BST em função das épocas de semeadura. Os pontos de máxima BST situam-se por volta de 86 dias,, praticamente não diferindo entre os cultivares. Esse comportamento mostra que a fase pós-antese é mais suscetível às temperaturas mais elevadas, uma vez que estes pontos encontram-se deslocados para regiões em que o estresse térmico ocorrerá preferencialmente nas fases iniciais e não por volta da diferenciação floral. Segundo AMORES-VERGARA e CARTWRIGHT (1984), o

principal efeito de altas temperaturas sobre o desenvolvimento do trigo é o encurtamento do ciclo fenológico, o que contribui para uma sensível diminuição do número de fitômeros, e que essa diminuição é tão maior quanto mais se prolonga o estresse térmico. O excesso térmico, imediatamente, no período que antecede e/ou precede a antese, além de resultar em menor tamanho das espigas, compromete também a formação do grão, bem como o seu desenvolvimento. Sob altas temperaturas ocorreu efeito muito mais pronunciado sobre a diminuição do número de grãos (Figura 3) e tamanho de grãos (Figura 6) do que sobre o número de espigas (Figura 4). Essa redução na magnitude dos componentes de produção, assim como da BST, é resultado muito mais da diminuição do tempo de crescimento a que o cultivar está submetido do que da queda na taxa de crescimento.

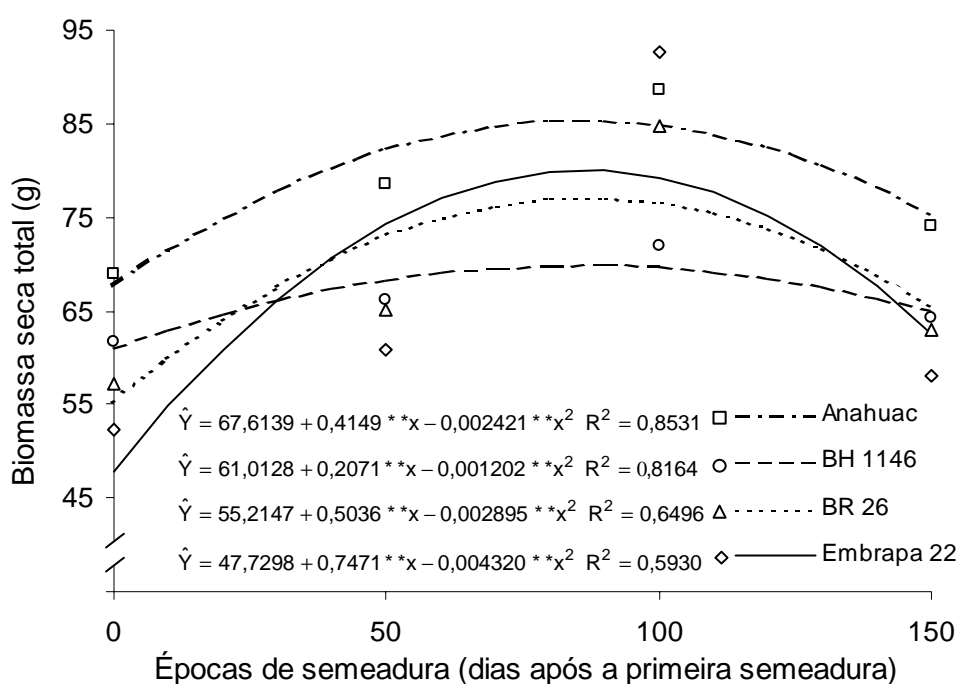


Figura 2 - Estimativa da biomassa seca total (BST) em função das épocas de semeadura para os respectivos cultivares.

Os cultivares Anahuac e BH 1146 apresentaram menor variação no número de grãos (NG) em relação às épocas de semeadura (Figura 3). Nesses cultivares, a maior alteração em NG foi verificada na primeira semeadura, em que as plantas desenvolveram-se praticamente sob altas

temperaturas ao longo de todo o ciclo. Os cultivares BR 26 e Embrapa 22 apresentaram, na primeira semeadura, acentuada redução do número de grãos, 30% e 39%, respectivamente, em relação ao NG máximo verificado aos 104 e 107 dias após a primeira semeadura. A grande sensibilidade dessa característica a altas temperaturas por ocasião da pré-antese fica evidenciada quando se verifica que o ponto de máximo ocorreu por volta dos 105 dias após a primeira semeadura (Figura 3). Para características como a BST e massa seca total de grãos (MTG), mais sensíveis às temperaturas altas por volta da antese, o ponto de máximo ocorreu por volta de 86 dias após a primeira semeadura (Figuras 2 e 7).

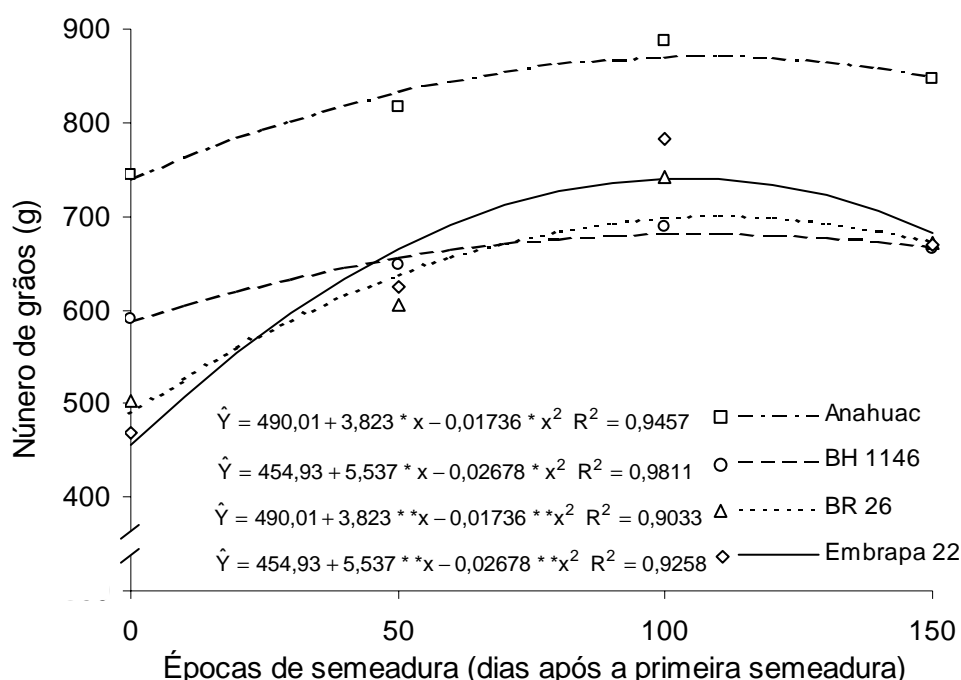


Figura 3 - Estimativa do número de grãos (NG) em função das épocas de semeadura para os respectivos cultivares.

A associação da redução do número de grãos à fase de pré-antese é suportada pela constatação de que o número de espigas (NE) foi sensivelmente menor em épocas associadas a temperaturas altas na fase de pré-antese (Figura 4). AMORES-VERGARA e CARTWRIGHT (1984), estudando os efeitos de altas temperaturas sobre o desenvolvimento da planta de trigo, verificaram diminuição de NG quando a mesma era exposta a

temperaturas elevadas, tanto nas fases anterior como posterior à antese. Quando o estresse térmico acontece antes da antese o desenvolvimento do ápice fica comprometido, o que acarreta formação de espigas menores. Na fase seguinte à antese, ocorre uma redução do percentual de espiguetas férteis, o que pode ser devido ao não desenvolvimento do óvulo fecundado ou à inviabilidade do grão de pólen (SAINI et al., 1983).

Os cultivares apresentaram comportamento similar quanto à característica número de espigas (NE), com ponto de máximo observado aos 116 dias após a primeira sementeira (Figura 4). No período inicial de 0 a 50 dias, marcado por temperaturas altas durante quase todo o ciclo, verificou-se aumento de NE 50% maior do que dos 50 aos 116 dias, 8 e 4% de aumento em NE, respectivamente.

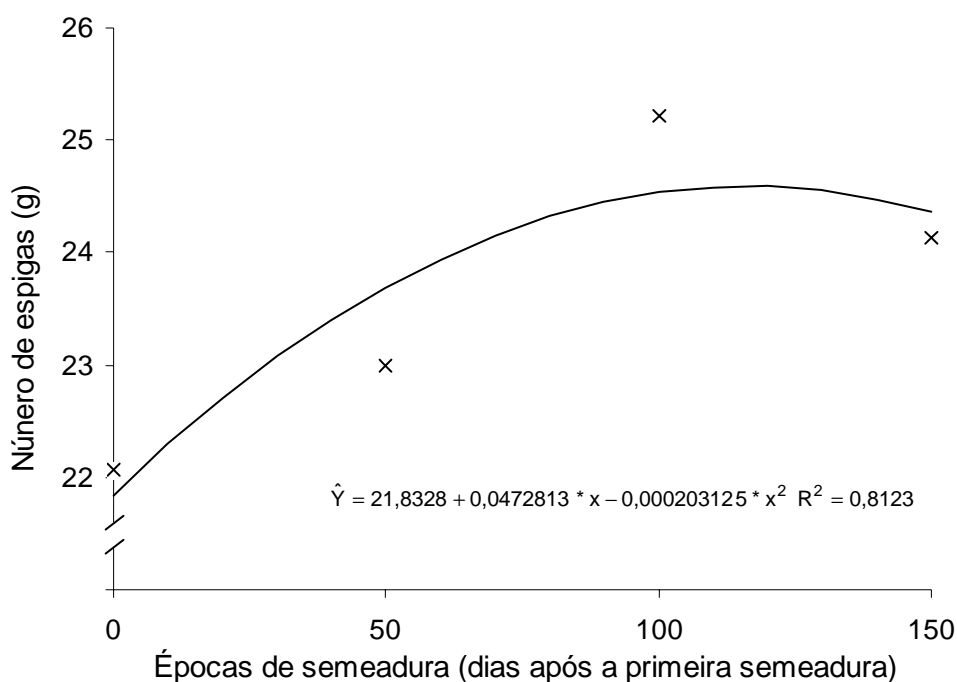


Figura 4 - Estimativa do número de espigas (NE) em função das épocas de sementeira para os respectivos cultivares.

Ressalta-se que dos 50 aos 116 dias ocorreu uma diminuição gradual da temperatura durante o desenvolvimento da planta. Do ponto de máximo verificado aos 116 dias até os 150 dias, a redução de NE foi de apenas 1%, período este marcado por aumento de temperaturas na fase de pós-antese. A

diminuição de NE ocorre, principalmente, quando a planta é exposta a altas temperaturas na fase pré-antese, diminuindo o número de perfilhos férteis ou produtivos. Há menor sensibilidade de NE na fase pós-antese, uma vez que a abscisão completa das flores seria determinante para o não desenvolvimento da espiga, o que, nessa fase, acontece em menor proporção.

O comportamento do número de grãos por espigas (NGE) foi bastante diferente quando se compararam os cultivares Anahuac e BH 11 46 contra BR 26 e Embrapa 22 (Figura 5). Os dois primeiros não apresentaram diferenças significativas de NGE ao longo das épocas de semeadura, ao passo que 'BR 26' e 'Embrapa 22' foram sensivelmente afetados. Para esses cultivares, a ocorrência de altas temperaturas, tanto nas fases de pré e pós-antese, parecem afetar o NGE semelhantemente (Figura 5).

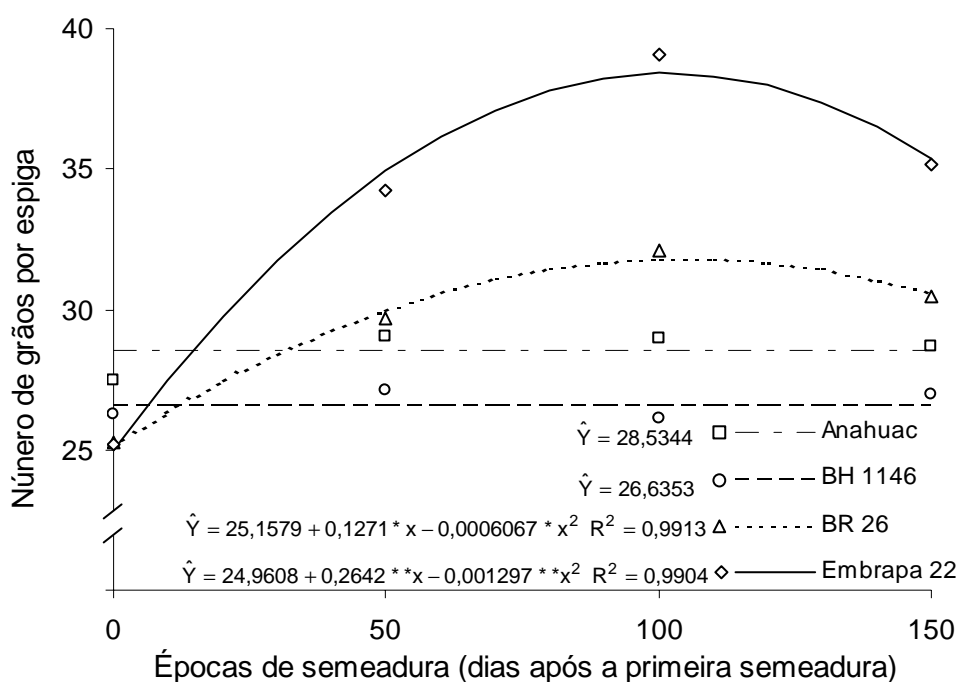


Figura 5 - Estimativa do número de grãos por espiga (NGE) em função das épocas de semeadura para os respectivos cultivares.

A diminuição de NGE pode ser conseqüência tanto do encurtamento do intervalo entre a emissão de primórdios, o que pode acarretar um menor número de grãos por espiguetas, quanto da não-fecundação ou abscisão de flores e/ou o não enchimento do grão (RAWSON, 1993a; RAWSON E ZAJAC,

1993; KUROYANAGI e PAULSEN, 1985; SAINI et al., 1983). ZHONG-HU e RAJARAM (1994), estudando a resposta diferencial de algumas características do trigo em resposta à alta temperatura, constataram que NGE, em alguns genótipos, pode ser menos termo-sensível ao incremento da temperatura do que outras características avaliadas.

Em relação à massa individual de grãos (MIG), 'BH 1146' apresentou comportamento diferente dos demais cultivares, não sofrendo influência das épocas de semeadura (Figura 6). 'Anahuac', 'BR 26' e 'Embrapa 22' apresentaram resposta quadrática com MIG máxima aos 71, 80 e 82 dias, respectivamente. Os resultados evidenciam a resposta diferenciada entre os cultivares estudados, em que 'BH 1146', independentemente da existência do estresse térmico, não sofreu alteração na MIG. Este fato pode ser devido à maior manutenção da taxa fotossintética e área foliar, bem como maior taxa de translocação.

Ressalta-se que, para as características estudadas, em MIG atingiu-se o ponto de máximo mais precocemente, o que confirma a grande sensibilidade desta característica ao calor na fase pós-antese. Estes resultados diferem, em parte, dos obtidos por SANKARAN et al. (2000), ROSENZWEIG e TUBIELLO (1996) e WANG e CONNOR (1996), que mostraram que a MIG é uma das características mais afetadas por altas temperaturas, independentemente do genótipo estudado. Essa aparente discrepância pode ser entendida sob dois aspectos: 1) o aspecto genético que, segundo ISHAG e MOHAMED (1996), ao verificarem o efeito da alta temperatura sobre os componentes de produção em trigo, observaram estabilidade da MIG entre os cultivares estudados, e; 2) a quase totalidade dos trabalhos que investigaram os efeitos da alta temperatura sobre a cultura do trigo basearam-se em curtos períodos de exposição da planta ao calor. Nesse sentido, outras características, como NG, são afetadas em menor intensidade, sendo que a menor variação da MIG pode ser atribuída, também, à redução de NG. A diminuição da quantidade de grãos por planta pode mudar a relação fonte/dreno, ocorrendo, assim, maior disponibilidade de assimilados para os grãos restantes.

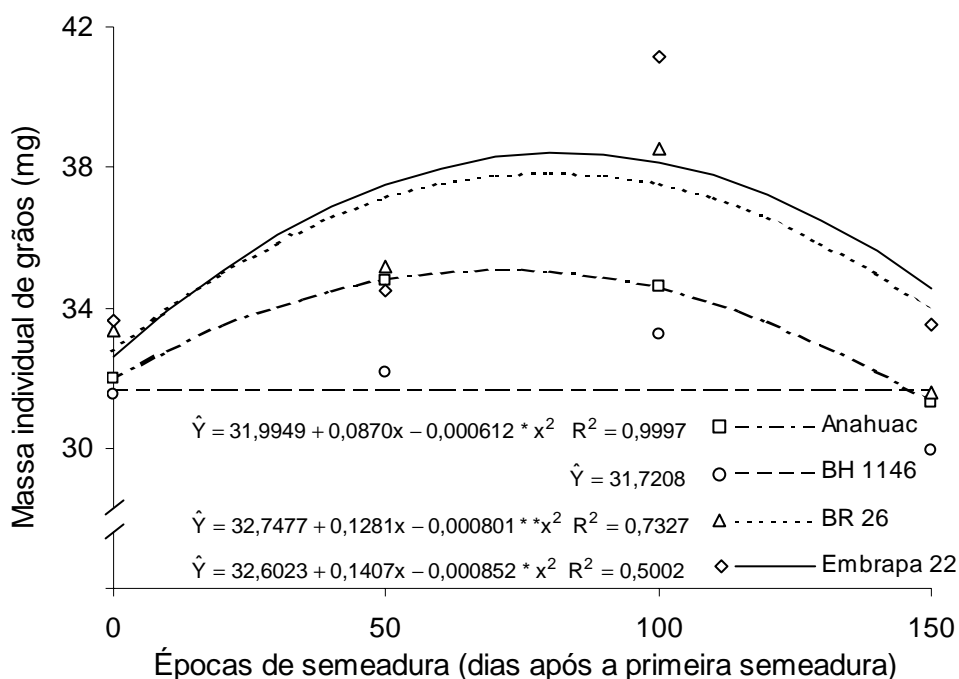


Figura 6 - Estimativa da massa individual de grãos (MIG) em função das épocas de semeadura para os respectivos cultivares.

Para a massa seca total de grãos (MTG), a resposta dos cultivares em relação às épocas de semeadura apresentou dois padrões bem definidos: o primeiro representado pelos cultivares Anahuac e BH 1146, em que se verifica maior estabilidade em relação à produção de grãos; o segundo, no qual a produção de grãos apresenta considerável alteração, foi observado em 'BR 26' e 'Embrapa 22' (Figura 7). Ao se comparar a produção de grãos nas épocas 1, 2 e 4 em relação a MTG máxima alcançada aos 88 e 86 dias após a primeira semeadura, respectivamente para 'Anahuac' e 'BH 1146', verificou-se redução de, aproximadamente, 20% na época 1, 4% na época 2, e 10% na época 4. Por outro lado, 'BR 26' e 'Embrapa 22' tiveram a produção de grãos reduzida na primeira época em 39% e 49%, respectivamente, na época 2, ao redor de 10% e cerca de 15%, na época 4, em relação a MTG máxima alcançada aos 92 e 95 dias após a primeira semeadura. Constatou-se que, de maneira geral, temperaturas altas exercem efeito mais prejudicial quando ocorrem na fase reprodutiva, e que os genótipos Anahuac e BH 1146 respondem diferentemente, mostrando

certo grau de tolerância ao estresse térmico. A maior redução da produção de grãos, quando a planta é submetida às temperaturas elevadas durante a fase reprodutiva, resulta do somatório de vários fatores, como os discutidos anteriormente, e de outros, como a diminuição da taxa fotossintética e redução na área de folhas-bandeira (Figuras 2 e 4, capítulo 3).

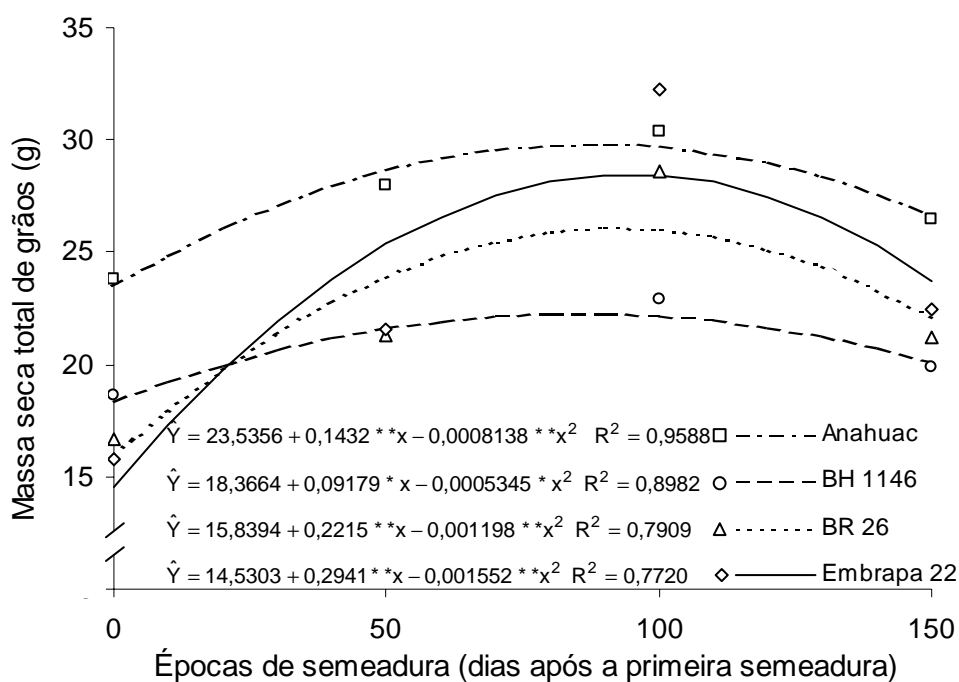


Figura 7 - Estimativa da massa seca total de grãos (MTG) em função das épocas de semeadura para os respectivos cultivares.

Pelo exposto, os cultivares estudados apresentaram dois padrões de comportamento quando foram submetidos a altas temperaturas, sendo que os cultivares BR 26 e Embrapa 22 mostraram maior sensibilidade ao calor. Por outro lado, 'Anahuac' e 'BH 1146' mostraram-se mais tolerantes, apresentando maior estabilidade nos componentes de produção. O que sugere a existência de variação genética, que pode ser explorada em relação à tolerância ao calor. O estresse térmico afetou diferentemente os cultivares, dependendo da fase do desenvolvimento em que ocorrem, sendo que o rendimento foi mais comprometido, principalmente, quando o calor ocorreu na fase reprodutiva.

CAPÍTULO 2

ACÚMULO DA BIOMASSA EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA

1. INTRODUÇÃO

Um dos efeitos mais marcantes do calor sobre o desenvolvimento do trigo é a redução no acúmulo de biomassa. Diversos estudos sugeriram que essa diminuição pode ser devida à menor taxa de crescimento e encurtamento do tempo de crescimento (ISHAG e MOHAMED, 1996; ROSENZWEIG e TUBIELLO, 1996; WANG e CONNOR, 1996), reduzindo, desse modo, o tempo em que a radiação pode ser interceptada e convertida em matéria seca (REYNOLDS, et al., 2000; RAWSON, 1993).

Alguns estudos mostraram que, durante alguns períodos, principalmente os mais quentes, a biomassa acumulada nos colmos pode ser remobilizada para os grãos, compensando assim parte das perdas ocasionadas pela redução da taxa fotossintética, quando a planta está submetida a altas temperaturas (STONE et al., 1995; HAWKER e JENNER, 1993; JENNER, 1991a, 1991b; CALEY et al., 1990; BHULLAR e JENNER, 1983, 1986a, 1986b; BHULLAR e JENNER, 1983).

Mesmo sendo consenso o efeito da diminuição da biomassa em função do aumento da temperatura, algumas dúvidas persistem em relação ao efeito exato da influência do calor ao longo do desenvolvimento do trigo. WARDLAW e WRIGLEY (1994) destacaram que a resposta da planta resulta, além de fatores genéticos, do tempo de exposição ao calor, bem como da sua interação com a fase do desenvolvimento em que ocorre o estresse.

Diante desses fatos, objetivou-se avaliar o comportamento da biomassa total, de folhas e de colmos do trigo, quando submetido a altas temperaturas nas diversas fases do desenvolvimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados quatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos quais 'Anahuac' e 'BH 1146' foram considerados, presumivelmente, tolerantes ao estresse por calor e 'BR 26' e 'Embrapa 22', suscetíveis. O experimento foi conduzido em abrigo com cobertura de filme plástico transparente e totalmente revestido com tela do tipo clarite, nos anos de 1996 e 1997.

Os quatro cultivares foram semeados em sacos de polietileno preto, com capacidade para 6 kg de solo. A semeadura foi realizada utilizando-se 10 sementes por recipiente. Após a emergência das plantas foi feito desbaste,, deixando-se cinco plantas em cada recipiente. O solo utilizado foi coletado de um horizonte superior, sob mata, sendo corrigido posteriormente para os seguintes níveis de nutrientes (mg do nutriente / kg de solo): N:100; P:400; K:170; B:0,81; Cu:1,33; Zn:0,15; Mo:4. O nitrogênio e o boro foram parcelados, sendo metade aplicada antes da semeadura e metade aplicada 14 dias após a emergência das plantas, para o nitrogênio, e por ocasião da emissão da folha-bandeira, para o boro. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo.

A determinação das épocas de semeadura teve como princípio permitir todas as possibilidades de combinação entre fases do desenvolvimento (fase vegetativa e fase reprodutiva) e estresse térmico. A

primeira sementeira foi efetuada no início do mês de fevereiro; 2^a, 3^a e 4^a, aos 50, 100 e 150 dias a primeira sementeira, respectivamente. Na Figura 1 estão representadas as épocas de sementeiras e as respectivas temperaturas (máximas e mínimas) ocorridas no período do experimento.

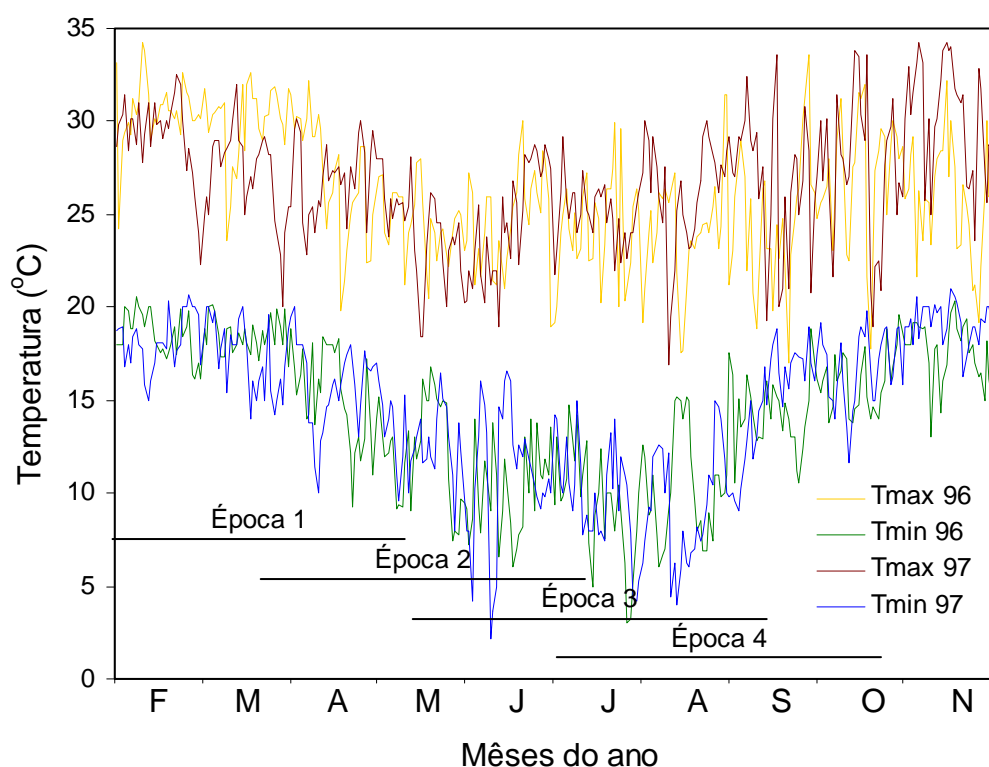


Figura 1 - Representação das épocas de sementeiras e temperaturas máximas e mínimas nos anos de 1996 e 1997.

Para a avaliação da biomassa seca total (BST), biomassa de folhas fotossinteticamente ativas (BSF) e biomassa de colmos (BSC), em cada época, a partir do décimo dia após a germinação e, posteriormente, a cada dez dias até o final do ciclo, as plantas de cada unidade experimental tiveram os colmos e folhas fotossinteticamente ativas separados e posteriormente secos em estufa a 75°C até massa constante. Para determinação da BSF, excluíram-se as folhas que se apresentavam cloróticas.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado para cada época de sementeira, com quatro repetições. Primeiramente procederam-se

as análises individuais por época de semeadura e ano agrícola. Quando da não discrepância dos quadrados médios do resíduo (relação 7:1), foram efetuadas as análises conjuntas (PIMENTEL GOMES, 1985). O esquema de tratamento é descrito conforme o modelo abaixo:

$$Y_{ijkl} = m + a_i + v_j + a_i c_j + s/c_{j(k)} + as/c_{j(ik)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Em que,

Y_{ijkl} = valor observado no i-ésimo ano, no j-ésimo cultivar, na k-ésima época de semeadura e l-ésima repetição

m = média geral

a_i = efeito do i-ésimo ano, $i=1$ e 2

c_j = efeito do j-ésimo cultivar, $j=1, \dots, 4$

ac_{ij} = efeito da interação do i-ésimo ano com o j-ésimo cultivar

$s/c_{j(k)}$ = efeito da k-ésima amostragem dentro do j-ésimo cultivar

$as/c_{j(ik)}$ = efeito da k-ésima amostragem dentro do j-ésimo cultivar no i-ésimo ano

ε_{ijkl} = erro experimental

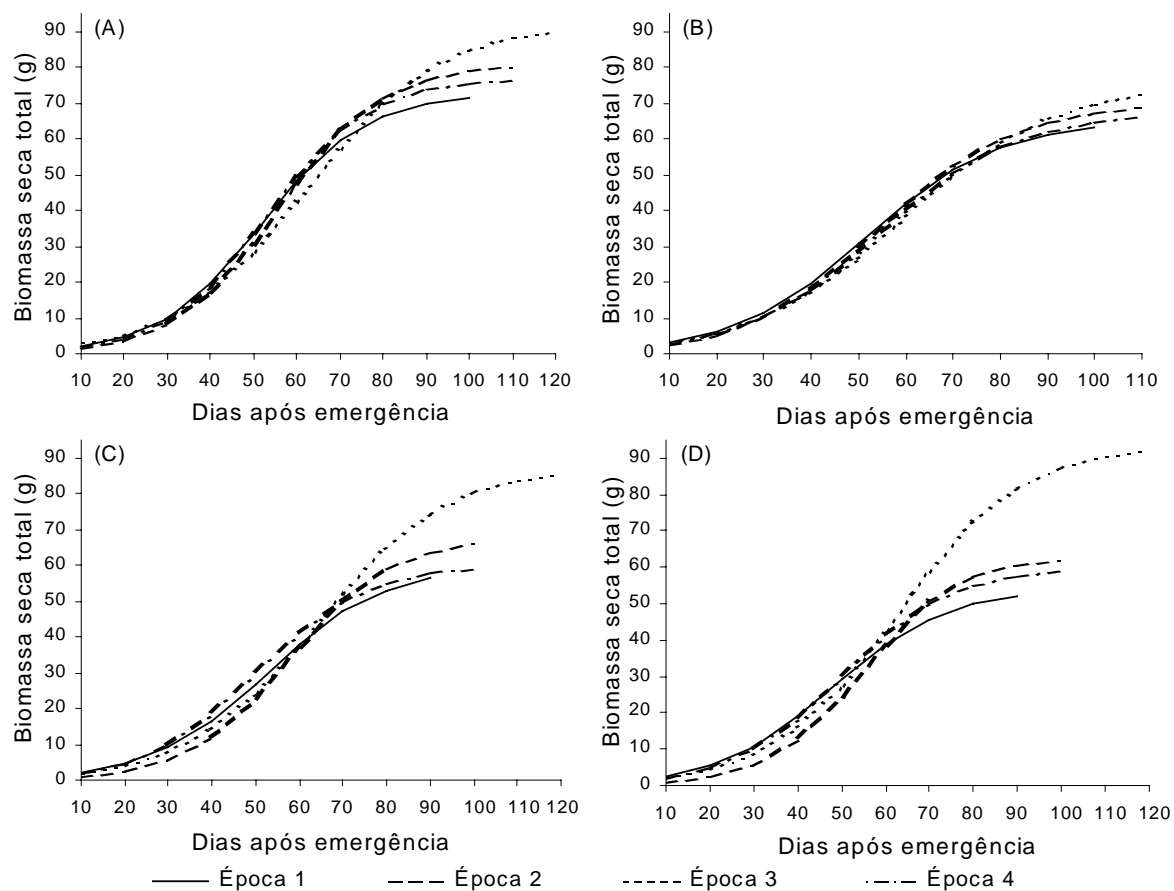
Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste de t, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, na falta de ajuste, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 evidencia-se a diferença de temperatura durante as fases do desenvolvimento nas quatro épocas de semeadura. A época 1 é marcada por temperaturas altas em todo o ciclo, sendo que a época 2 tem o efeito de temperaturas altas na fase vegetativa e temperaturas mais amenas na fase reprodutiva; a ocorrência de temperaturas amenas por todo o ciclo configura a época 3, e, finalmente a época 4 tem a fase vegetativa marcada por temperaturas mais baixas e a fase reprodutiva ocorrendo sob temperaturas mais elevadas.

Houve variação na biomassa seca total da parte aérea (BST) em função das épocas de semeadura, verificando-se, na época 3, maior incremento para todos os cultivares estudados (Figura 2). Observou-se também que o comportamento dos cultivares Anahuac e BH 1146, com relação a BST, foi mais estável do que o de 'BR 26' e 'Embrapa 22' nas quatro épocas.

Ao se contrastar o crescimento dos cultivares, nas épocas 2 e 4, nos primeiros 50 dias após a emergência, o acúmulo de BST para 'Anahuac', 'BR 26' e 'Embrapa 22' foi menor na época 2, caracterizada por temperaturas maiores na fase inicial do desenvolvimento (Figura 2 e Tabela 1). Por outro lado, ao se observar as taxas de acúmulo de BST dos 50 dias ao final do ciclo, observa-se uma mudança expressiva desses valores, em que, na



Cultivares	Épocas	Equações	R ²	Cultivares	Épocas	Equações	R ²
(A) Anahuac	1	$\hat{Y} = \frac{72,5574}{1 + e^{(4,3677 - 0,08397x)}}$	0,9931	(C) BR 26	1	$\hat{Y} = \frac{60,0094}{1 + e^{(3,9783 - 0,07526x)}}$	0,9878
	2	$\hat{Y} = \frac{81,061}{1 + e^{(4,70273 - 0,08397x)}}$	0,9963		2	$\hat{Y} = \frac{68,013}{1 + e^{(4,98077 - 0,08573x)}}$	0,9938
	3	$\hat{Y} = \frac{92,009}{1 + e^{(4,08994 - 0,06548x)}}$	0,9945		3	$\hat{Y} = \frac{88,021}{1 + e^{(4,31807 - 0,06678x)}}$	0,9935
	4	$\hat{Y} = \frac{76,81778}{1 + e^{(4,59178 - 0,0864x)}}$	0,9951		4	$\hat{Y} = \frac{65,072}{1 + e^{(4,22735 - 0,0802x)}}$	0,9939
(B) BH 1146	1	$\hat{Y} = \frac{65,3437}{1 + e^{(3,6794 - 0,07101x)}}$	0,9885	(D) Embrapa 22	1	$\hat{Y} = \frac{54,012}{1 + e^{(3,70401 - 0,07723x)}}$	0,9905
	2	$\hat{Y} = \frac{69,99847}{1 + e^{(3,95383 - 0,0723x)}}$	0,9918		2	$\hat{Y} = \frac{63,102}{1 + e^{(5,10675 - 0,09274x)}}$	0,9938
	3	$\hat{Y} = \frac{75,113}{1 + e^{(3,7752 - 0,06366x)}}$	0,9905		3	$\hat{Y} = \frac{94,003}{1 + e^{(4,38737 - 0,07003x)}}$	0,9963
	4	$\hat{Y} = \frac{67,57605}{1 + e^{(3,84619 - 0,07025x)}}$	0,9972		4	$\hat{Y} = \frac{60,213}{1 + e^{(4,04261 - 0,0804x)}}$	0,9954

Figura 2 – Estimativa do acúmulo de biomassa seca total (BST), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

Tabela 1 - Taxas de acúmulo da biomassa seca total (BST), em duas fases do ciclo dos cultivares Anahuac, BH 1146, BR 26 e Embrapa 22 durante as épocas 2 e 4

Período do desenvolvimento	Cultivares	Acúmulo de BST (g dia ⁻¹)	
		Época 2	Época 4
(10 a 50 dias)	Anahuac	0,721	0,785
	BH 1146	0,662	0,635
	BR 26	0,539	0,674
	Embrapa 22	0,583	0,687
(50 dias ao final do ciclo)	Anahuac	0,827	0,717
	BH 1146	0,660	0,633
	BR 26	0,871	0,692
	Embrapa 22	0,757	0,587

época 2, houve incremento na taxa de acúmulo de BST para os cultivares Anahuac, BR 26 e Embrapa22, quando comparados com o mesmo período da quarta época (Figura 2 e Tabela 1). Ressalta-se ainda que a diminuição na taxa de acúmulo de BST foi maior quando o estresse térmico ocorreu dos 50 dias ao final do ciclo, indicando maior sensibilidade ao calor quando esses cultivares foram submetidos a temperaturas maiores durante a fase final do seu desenvolvimento. O cultivar BH 1146 apresentou taxas de acúmulo de BST similares nos dois períodos de ambas as épocas, confirmando a sua maior tolerância ao estresse térmico.

Constatou-se que as taxas de acúmulo da BST, ao longo de todo o ciclo, para os quatro cultivares, apresentaram variações menos acentuadas, quando contrastadas com o valor final da BST, em relação às épocas de semeadura (Tabelas 2 e 3); sugerindo que o efeito mais marcante do calor consiste na diminuição do tempo de crescimento, ou seja, a diminuição do ciclo da planta. Esse efeito pode ser visualizado na Figura 2, em que se verificou a redução do ciclo dos quatro cultivares nas demais épocas quando comparadas à época 3. Destaca-se que a época 3 é caracterizada por temperaturas amenas, e que a redução do ciclo foi tão mais intensa quanto maior foi o período de estresse térmico, detectado na época 1.

Tabela 2 - Taxas de acúmulo da biomassa seca total (BST), durante o ciclo dos cultivares Anahuac, BH 1146, BR 26 e Embrapa 22 nas quatro épocas de semeadura. Os números entre parêntesis indicam o valor percentual da taxa de acúmulo da BST de cada época em relação à época 3

Cultivares	Acúmulo de BST (g dia ⁻¹)			
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4
Anahuac	0,769 (97)	0,785 (99)	0,791 (100)	0,745 (94)
BH 1146	0,668 (97)	0,661 (96)	0,691 (100)	0,634 (92)
BR 26	0,678 (89)	0,723 (95)	0,761 (100)	0,684 (90)
Embrapa 22	0,616 (75)	0,680 (83)	0,819 (100)	0,632 (77)

Tabela 3 - Valores da biomassa seca total (BST) das cultivares Anahuac, BH 1146, BR 26 e Embrapa 22 nas quatro épocas de semeadura. Os números entre parêntesis indicam o valor percentual da BST de cada época em relação à época 3

Cultivares	BST (g)			
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4
Anahuac	71,32 (79)	80,20 (89)	89,93 (100)	76,26 (85)
BH 1146	63,28 (88)	68,74 (95)	72,25 (100)	66,21 (92)
BR 26	56,55 (66)	66,19 (77)	85,89 (100)	63,64 (74)
Embrapa 22	51,99 (56)	62,14 (67)	92,33 (100)	59,13 (64)

O cultivar BH 1146 apresentou a maior estabilidade da BST em relação às épocas de semeadura (Figura 2B), ratificando o fato de esse cultivar ter exibido a menor redução no ciclo nas diferentes épocas de semeadura. AMORES-VERGARA e CARTWRIGHT (1984) sustentaram que a taxa de crescimento do trigo cultivado sob estresse térmico pode até aumentar, uma vez que o encurtamento das fases fenológicas não é proporcional à diminuição do número de fitômeros, sendo, portanto, a redução no tempo de crescimento muitas vezes mais importante do que a própria redução na taxa de crescimento. Já os cultivares BR 26 e Embrapa 22, além de sofrerem maior redução do tempo de crescimento quando submetidas a maiores temperaturas, também não compensaram parte dessa

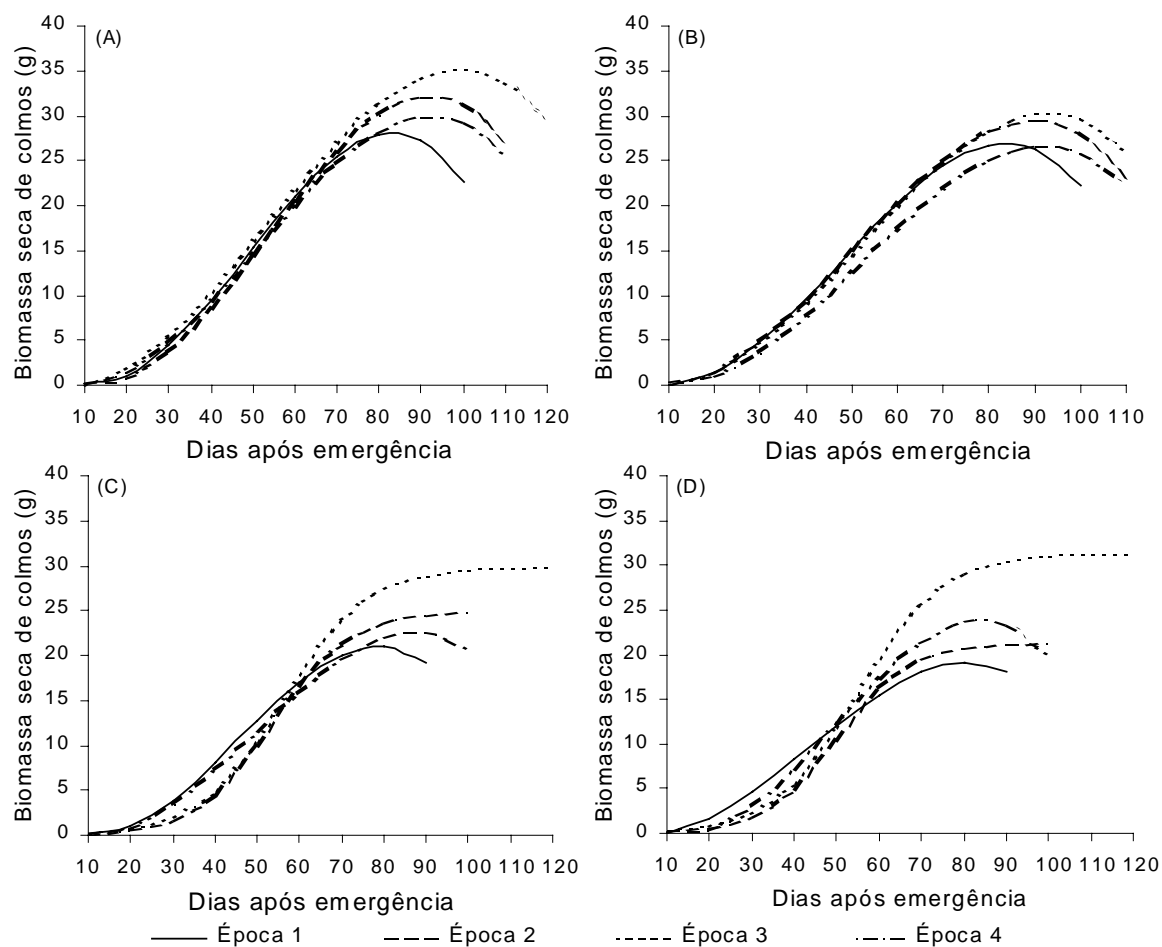
redução com a manutenção da taxa de crescimento, tendo sofrido reduções em BST bem superiores às dos dois outros cultivares quando submetidas a condições de temperaturas mais elevadas (Figura 2C e 2D).

Os cultivares Anahuac e BH 1146 apresentam redução da biomassa seca de colmos (BSC) no final do ciclo em todas as épocas de semeadura, ao passo que em BR 26 e Embrapa 22, essa redução só foi observada nas épocas 1 e 4 (Figura 3), justamente as que são marcadas por temperaturas maiores durante a fase final do desenvolvimento.

A diminuição da BSC em plantas de trigo expostas a altas temperaturas tem sido verificada por alguns pesquisadores (STONE et al., 1995; HAWKER e JENNER, 1993; JENNER, 1991a, 1991b; CALEY et al., 1990; BHULLAR e JENNER, 1986a, 1986b, 1983). Considerou-se a diminuição da BSC como uma forma de compensar as perdas no aporte de assimilados provenientes do processo fotossintético, o qual é significativamente diminuído quando a planta encontra-se sob estresse térmico.

Admite-se que parte dos carboidratos estocados no colmo possa vir a ser alocada para os grãos, quando o período de seu enchimento se dá sob altas temperaturas. Os carboidratos estocados no colmo podem ser um suprimento importante de carbono durante o enchimento de grãos, no sentido de compensar as perdas fotossintéticas acarretadas por altas temperaturas (CRUZ-AGUADO et al., 2000; BLUM et al., 1994).

Na Figura 3 é possível constatar o comportamento dos cultivares nas épocas 2 e 3. Observou-se que 'Anahuac' e 'BH 1146' tiveram a BSC diminuída, enquanto em 'BR 26' e 'Embrapa 22' a BSC permaneceu estável no final do ciclo. Isso pode ter sido uma consequência da incapacidade de alguns genótipos em translocar parte dos carboidratos estocados no colmo para os grãos, quando os mesmos não estão submetidos a altas temperaturas por um período constante e prolongado (BLUM et al., 1994).

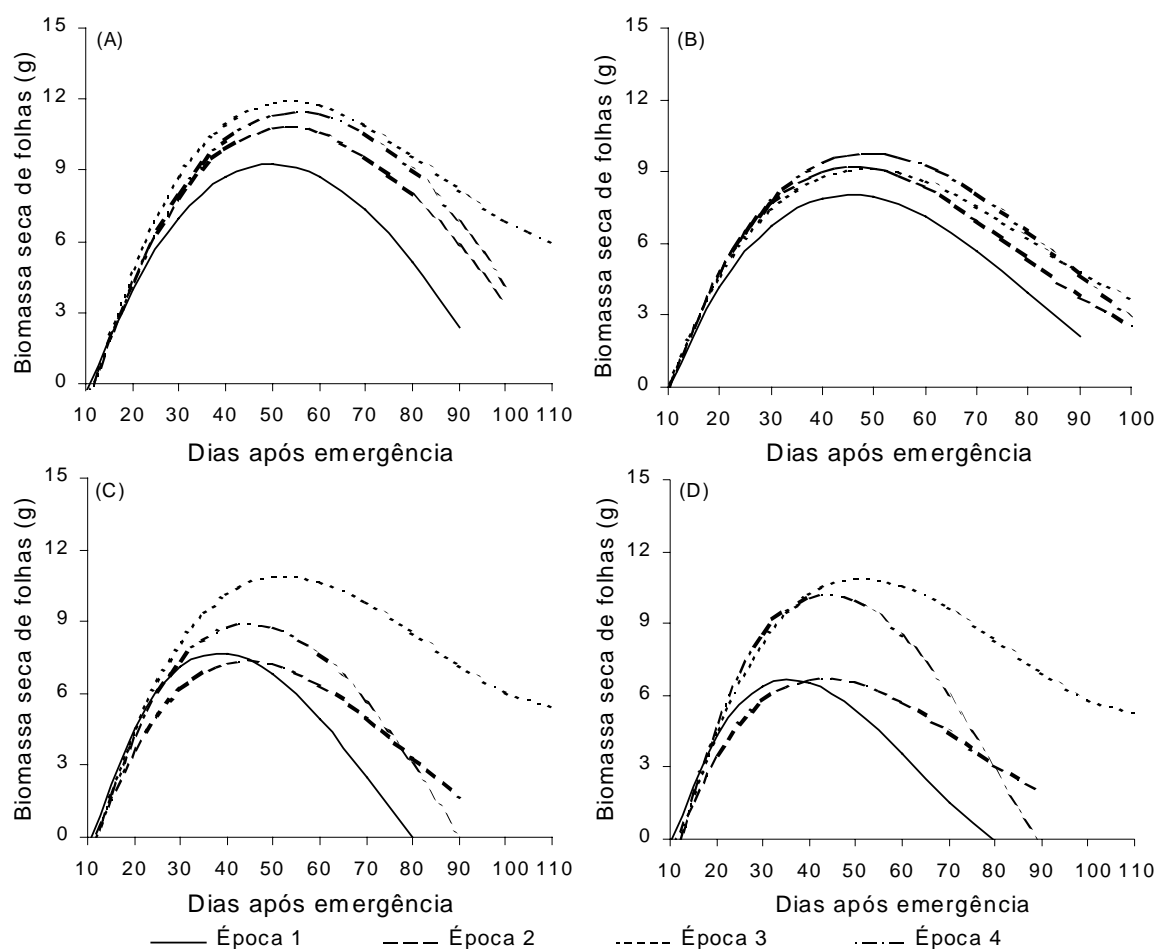


Var	Ep	Equações	R ²	Var	Ep	Equações	R ²
(A) AN	1	$\hat{Y} = 3,1437 - 0,5078 * x + 0,0229 * x^2 - 0,000159 * x^3$	0,9917	(C) BR	1	$\hat{Y} = 2,3181 - 0,3921 * x + 0,0192 * x^2 - 0,000139 * x^3$	0,9971
	2	$\hat{Y} = 3,1881 - 0,4842 * x + 0,0206 * x^2 - 0,000129 * x^3$	0,9905		2	$\hat{Y} = \frac{24,98913}{1 + e^{(5,88107 - 0,10912x)}}$	0,9870
	3	$\hat{Y} = 0,3992 - 0,1704 * x + 0,0140 * x^2 - 0,0000881 * x^3$	0,9873		3	$\hat{Y} = \frac{29,87351}{1 + e^{(5,72387 - 0,1019x)}}$	0,9837
	4	$\hat{Y} = 1,4068 - 0,2717 * x + 0,0158 * x^2 - 0,000104 * x^3$	0,9816		4	$\hat{Y} = 1,6277 - 0,2998 * x + 0,0149 * x^2 - 0,0001007 * x^3$	0,9917
(B) BH	1	$\hat{Y} = 1,6353 - 0,33891 * x + 0,0188 * x^2 - 0,000134 * x^3$	0,9935	(D) EM	1	$\hat{Y} = 0,3216 - 0,1391 * x + 0,0122 * x^2 - 0,0000938 * x^3$	0,9928
	2	$\hat{Y} = 1,4820 - 0,2981 * x + 0,01697 * x^2 - 0,000113 * x^3$	0,9905		2	$\hat{Y} = \frac{21,36946}{1 + e^{(5,91628 - 0,11747x)}}$	0,9884
	3	$\hat{Y} = 1,4705 - 0,2890 * x + 0,016217 * x^2 - 0,000105 * x^3$	0,9946		3	$\hat{Y} = \frac{31,30405}{1 + e^{(5,58842 - 0,10138x)}}$	0,9630
	4	$\hat{Y} = 2,4404 - 0,3487 * x + 0,0161 * x^2 - 0,000102 * x^3$	0,9848		4	$\hat{Y} = 3,5889 - 0,5215 * x + 0,0209 * x^2 - 0,0001408 * x^3$	0,9793

Figura 3 - Estimativa do acúmulo de biomassa de colmos (BSC), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

Houve um efeito marcante das altas temperaturas sobre a senescência das folhas (Figura 4). Os cultivares BR 26 e Embrapa 22 sempre apresentaram maiores reduções na biomassa de folhas fotossinteticamente ativas (BSF), à exceção da época 3, o que caracteriza a alta sensibilidade destes cultivares quando submetidos a temperaturas mais elevadas. Nos cultivares BH 1146 e Embrapa 22, a diminuição mais expressiva em BSF ocorreu na época 1, o que mostra certo grau de tolerância desses cultivares ao calor. Em adição, os cultivares BR 26 e Embrapa 22 apresentaram, na época 4, valores acentuados de redução de BSF, comparando-se aos ocorridos na época 1 (Figura 4C e 4D). Em contraste, 'Anahuac' e 'BH 1146' apresentaram valores bem menores na redução de BSF na época 4 do que os apresentados na época 1 (Figura 4A e 4B). Esses resultados mostram claramente a maior susceptibilidade dos cultivares BR 26 e Embrapa 22 em se adaptar ao calor quando seu desenvolvimento ocorreu sob temperaturas mais amenas. Quando aconteceu o contrário, calor no início do desenvolvimento e temperaturas menores no final do ciclo fenológico, os valores da redução em BSF para 'BR 26' e 'Embrapa 22' estiveram bem próximos aos apresentados por 'Anahuac' e 'BH 1146' (Figura 4).

A maior senescência das folhas quando expostas ao calor parece estar associada a altos níveis endógenos de ácido abscísico foliar induzidos por altas temperaturas, podendo ocorrer, ainda, efeito da interação entre ácido abscísico e temperatura (XU et al., 1995a, 1995b). Um dos efeitos marcantes das altas temperaturas sobre o desenvolvimento do trigo traduziu-se pelo encurtamento das fases fenológicas (Figura 4). Houve, para os cultivares Anahuac e BH 1146, pequena variação do ponto de máxima BSF, tomando-se a época 3 como uma referência (Figura 4A e 4B). Adicionalmente, esse efeito foi mais marcante para os cultivares BR 26 e Embrapa 22, cultivados sob temperaturas altas na fase vegetativa; aí o ponto de máxima área foliar foi substancialmente adiantado (Figura 4C e 4D), configurando uma maior sensibilidade ao estresse por calor em comparação com os outros cultivares estudados.



Cultivares	Épocas	Equações	R ²
(A) Anahuac	1	$\hat{Y} = -6,39761 + 0,680341 * x - 0,00845197 * x^2 + 0,000021919 * x^3$	0,9060
	2	$\hat{Y} = -7,66407 + 0,78019 * x - 0,0098785 * x^2 + 0,0000314264 * x^3$	0,8957
	3	$\hat{Y} = -8,92053 + 0,917543 * x - 0,0124755 * x^2 + 0,000048771 * x^3$	0,8657
	4	$\hat{Y} = -7,3691 + 0,75009 * x - 0,008693 * x^2 + 0,0000234253 * x^3$	0,8903
(B) BH 1146	1	$\hat{Y} = -6,18969 + 0,718493 * x - 0,0109103 * x^2 + 0,0000438848 * x^3$	0,8833
	2	$\hat{Y} = -7,0992 + 0,823601 * x - 0,0126668 * x^2 + 0,0000539576 * x^3$	0,9463
	3	$\hat{Y} = -6,13495 + 0,734817 * x - 0,0107953 * x^2 + 0,000044338 * x^3$	0,9537
	4	$\hat{Y} = -6,47756 + 0,757339 * x - 0,0106349 * x^2 + 0,0000399644 * x^3$	0,9597
(C) BR 26	1	$\hat{Y} = -8,17792 + 0,942017 * x - 0,0167741 * x^2 + 0,0000784756 * x^3$	0,8324
	2	$\hat{Y} = -6,8007 + 0,730058 * x - 0,0113676 * x^2 + 0,0000477515 * x^3$	0,8135
	3	$\hat{Y} = -8,42664 + 0,872778 * x - 0,0121662 * x^2 + 0,0000489027 * x^3$	0,8981
	4	$\hat{Y} = -10,2576 + 1,05155 * x - 0,0160285 * x^2 + 0,0000617405 * x^3$	0,8194
(D) Embrapa 22	1	$\hat{Y} = -7,5833 + 0,910944 * x - 0,0177279 * x^2 + 0,000093945 * x^3$	0,8497
	2	$\hat{Y} = -6,35517 + 0,697403 * x - 0,0113401 * x^2 + 0,0000512718 * x^3$	0,8091
	3	$\hat{Y} = -8,23239 + 0,854812 * x - 0,012549 * x^2 + 0,0000452309 * x^3$	0,8629
	4	$\hat{Y} = -8,85461 + 0,90496 * x - 0,0127991 * x^2 + 0,0000521929 * x^3$	0,8511

Figura 4 - Estimativa da biomassa de folhas (BSF), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

Os presentes resultados evidenciaram o efeito das altas temperaturas na diminuição da biomassa seca total do trigo. Potencialmente, permitiram discriminar a maior tolerância ao calor dos cultivares Anahuac e BH 1146 em relação a 'BR 26' e 'Embrapa 22', indicando diversidade quanto ao grau de tolerância dos genótipos estudados. Os cultivares Anahuac e BH 1146 apresentaram maior persistência da biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas, bem como sofreram menor efeito na redução do tempo de duração dos estádios de desenvolvimento. Reservas acumuladas nos colmos podem ser importante fonte de suprimento de assimilados para os grãos, durante a exposição da planta às altas temperaturas, no sentido de compensar parte da redução do aporte de assimilados provenientes do processo fotossintético durante o enchimento de grãos.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE FOLHAS-BANDEIRA E TROCAS GASOSAS EM CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE SEMEADURA

1. INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura provoca a senescência prematura da planta, com redução do período de atividade fotossintética. As diferenças observadas na taxa de fotossíntese entre genótipos (REYNOLDS, 1998; RAWSON, 1986) estão associadas à senescência da folha. Assim, a medição da atividade fotossintética constitui uma alternativa para quantificar os efeitos do calor sobre o trigo (REYNOLDS et al., 1994).

A redução da área fotossinteticamente ativa causa a diminuição do processo fotossintético e, conseqüentemente, redução no rendimento (FOKAR et al., 1998). A produtividade do trigo decresce, à medida que a temperatura aumenta, porque diminui a taxa fotossintética e também porque acelera o desenvolvimento da cultura, afetando muitos processos envolvidos na fotossíntese (MIDMORE et al., 1985a; BERRY e BJÖRKMAN, 1980).

Diferenças na taxa fotossintética líquida de trigo quando submetido a alta temperatura tem sido associada à diminuição da concentração de

clorofila, o que é devido à senescência acelerada das folhas (HARDING et al., 1990). A senescência prematura frequentemente está associada a elevados níveis de ácido abscísico (XU, et al., 1995a, 1995b).

Estudos com diferentes cultivares de trigo sob elevadas temperaturas, em períodos curtos, têm indicado associações entre o crescimento da planta e respostas às características fotossintéticas (BLUM, 1986; AL-KHATIB e PAULSEN, 1990), bem como à respiração (WARDLAW e MONCUR, 1980). Entretanto, a relação entre o desempenho de cultivares de trigo sob alta temperatura, por períodos crônicos, e a resposta dos parâmetros fotossintéticos não está bem estabelecida. Objetivou-se, então, avaliar o efeito do estresse por calor nas trocas gasosas, bem como sob o desenvolvimento e senescência de folhas-bandeira em cultivares de trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados quatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos quais 'Anahuac' e 'BH 1146' foram considerados, presumivelmente, tolerantes ao estresse por calor e 'BR 26' e 'Embrapa 22', suscetíveis. O experimento foi conduzido em abrigo com cobertura de filme plástico transparente e totalmente revestido com tela do tipo clarite, nos anos de 1996 e 1997.

Os quatro cultivares foram semeados em sacos de polietileno preto, com capacidade para 6 kg de solo. A semeadura foi realizada utilizando-se 10 sementes por recipiente. Após a emergência das plantas foi feito desbaste,, deixando-se cinco plantas em cada recipiente. O solo utilizado foi coletado de um horizonte superior, sob mata, sendo corrigido posteriormente para os seguintes níveis de nutrientes (mg do nutriente / kg de solo): N:100; P:400; K:170; B:0,81; Cu:1,33; Zn:0,15; Mo:4. O nitrogênio e o boro foram parcelados, sendo metade aplicada antes da semeadura e metade aplicada 14 dias após a emergência das plantas, para o nitrogênio, e por ocasião da emissão da folha-bandeira, para o boro. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo.

A determinação das épocas de semeadura teve como princípio permitir todas as possibilidades de combinação entre fases do desenvolvimento (fase vegetativa e fase reprodutiva) e estresse térmico. A

primeira semeadura foi efetuada no início do mês de fevereiro; 2^a, 3^a e 4^a, aos 50, 100 e 150 dias a primeira semeadura, respectivamente. Na Figura 1 estão representadas as épocas de semeaduras e as respectivas temperaturas (máximas e mínimas) ocorridas no período do experimento.

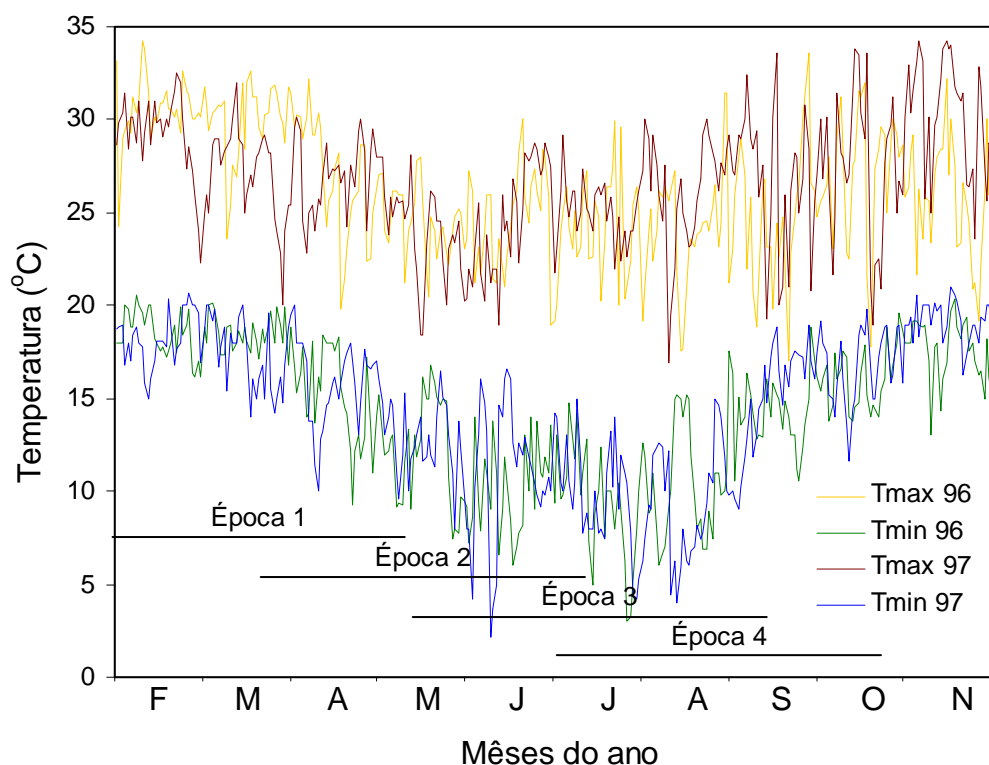


Figura 1 - Representação das épocas de semeaduras e temperaturas máximas e mínimas nos anos de 1996 e 1997.

As mensurações da condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A_n) foram realizadas com um analisador de gases a infravermelho, portátil, em sistema aberto, modelo LCA-2 (Analytical Development Company, Kings Lynn, Reino Unido). Previamente, as plantas foram submetidas à densidade de fluxo de fótons (DFF) de $400\text{-}500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por 1h e, em seguida, procedeu-se à medição dos parâmetros fotossintéticos sob DFF saturante ($900\text{-}920 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), valores estes determinados a partir de uma curva de saturação luminosa. Durante as medições, a temperatura foliar variou de $22\text{-}24 \text{ }^\circ\text{C}$. As avaliações tiveram início quando 50% das plantas apresentavam as folhas-

bandeira expandidas; posteriormente, as avaliações foram feitas a cada dez dias, até o final do ciclo.

A área de folhas-bandeira fotossinteticamente ativa foi determinada, empregando-se o medidor de área foliar (LI - 3000A LI-COR). As folhas ou partes dela que se apresentavam cloróticas eram descartadas. A área de folhas bandeiras foi determinada a partir da sua emergência, prosseguindo a cada 10 dias até o final do ciclo.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado para cada época de semeadura, com quatro repetições. Primeiramente procederam-se as análises individuais por época de semeadura e ano agrícola. Quando da não discrepância dos quadrados médios do resíduo (relação 7:1), foram efetuadas as análises conjuntas (PIMENTEL GOMES, 1985). O esquema de tratamento é descrito conforme o modelo abaixo:

$$Y_{ijkl} = m + a_i + v_j + a_i c_j + s/c_{j(k)} + as/c_{j(ik)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Em que,

Y_{ijkl} = valor observado no i-ésimo ano, no j-ésimo cultivar, na k-ésima época de semeadura e l-ésima repetição

m = média geral

a_i = efeito do i-ésimo ano, $i=1$ e 2

c_j = efeito do j-ésimo cultivar, $j=1, \dots, 4$

ac_{ij} = efeito da interação do i-ésimo ano com o j-ésimo cultivar

$s/c_{j(k)}$ = efeito da k-ésima amostragem dentro do j-ésimo cultivar

$as/c_{j(ik)}$ = efeito da k-ésima amostragem dentro do j-ésimo cultivar no i-ésimo ano

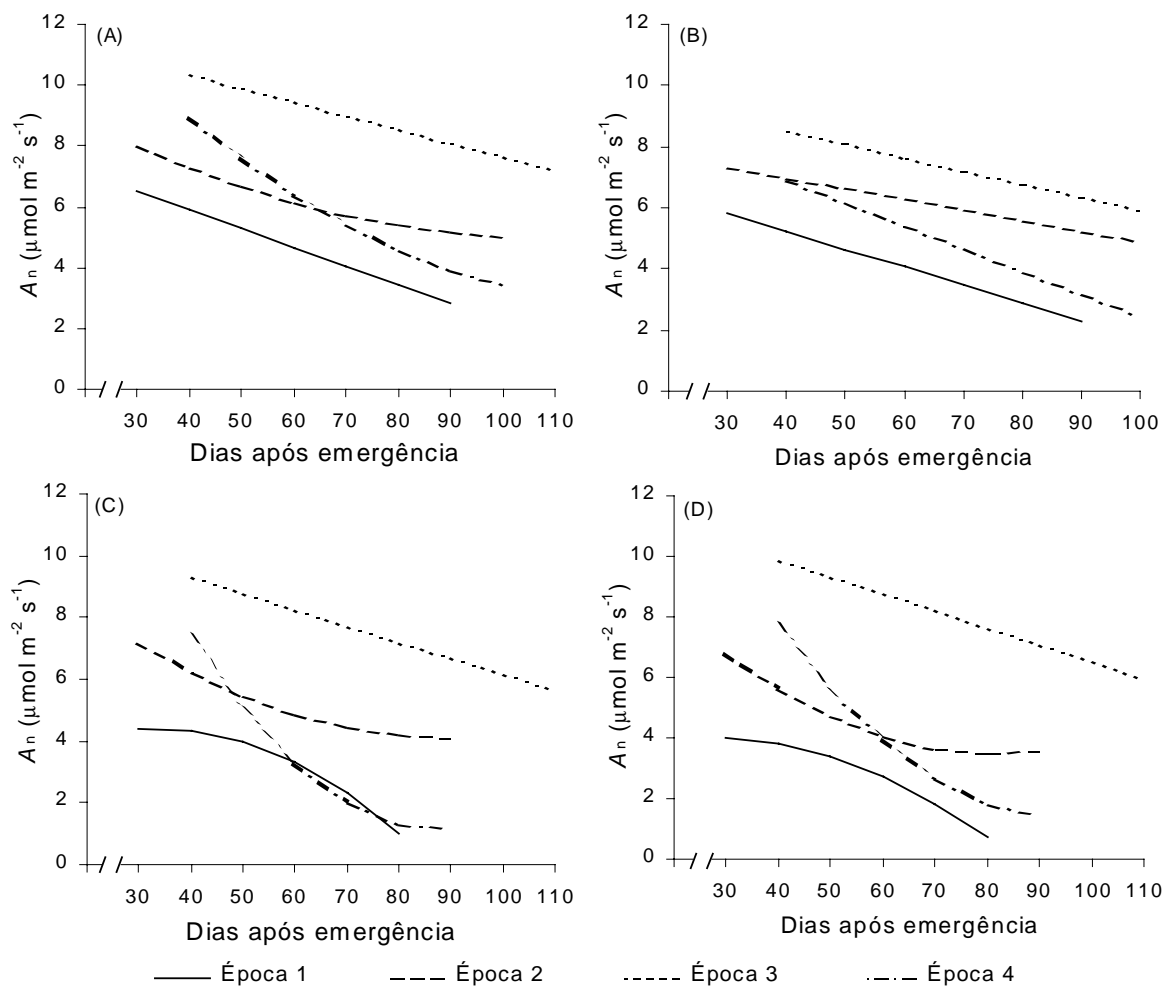
ε_{ijkl} = erro experimental

Os modelos de regressão foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste de t, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, na falta de ajuste, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 evidencia-se a diferença de temperatura durante as fases do desenvolvimento nas quatro épocas de semeadura. A época 1 é marcada por temperaturas altas em todo o ciclo, sendo que a época 2 tem o efeito de temperaturas altas na fase vegetativa e temperaturas mais amenas na fase reprodutiva; a ocorrência de temperaturas amenas por todo o ciclo configura a época 3, e, finalmente a época 4 tem a fase vegetativa marcada por temperaturas mais baixas e a fase reprodutiva ocorrendo sob temperaturas mais elevadas.

Considerando-se a época 3 como uma referência, observa-se que os cultivares BR 26 e Embrapa 22 apresentaram redução marcante no valor inicial da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A_n), 53% e 60%, respectivamente, na época 1 (Figura 2C e 2D). Por outro lado, o valor inicial de A_n foi menos influenciado pelo calor, com reduções de 37% e 31%, respectivamente (Figura 2A e 2B), em 'Anahuac' e 'BH 1146', na época 1, mostrando menor sensibilidade do aparelho fotossintético desses dois cultivares. Observou-se a existência de dois padrões quanto ao comportamento dos cultivares, em que 'Anahuac' e 'BH 1146' sempre mostraram-se mais tolerantes ao estresse térmico. Mesmo na época 3, marcada por temperaturas amenas durante todo o desenvolvimento, verificou-se que a diminuição percentual da A_n de 'Embrapa 22' e 'BR 26' foi superior



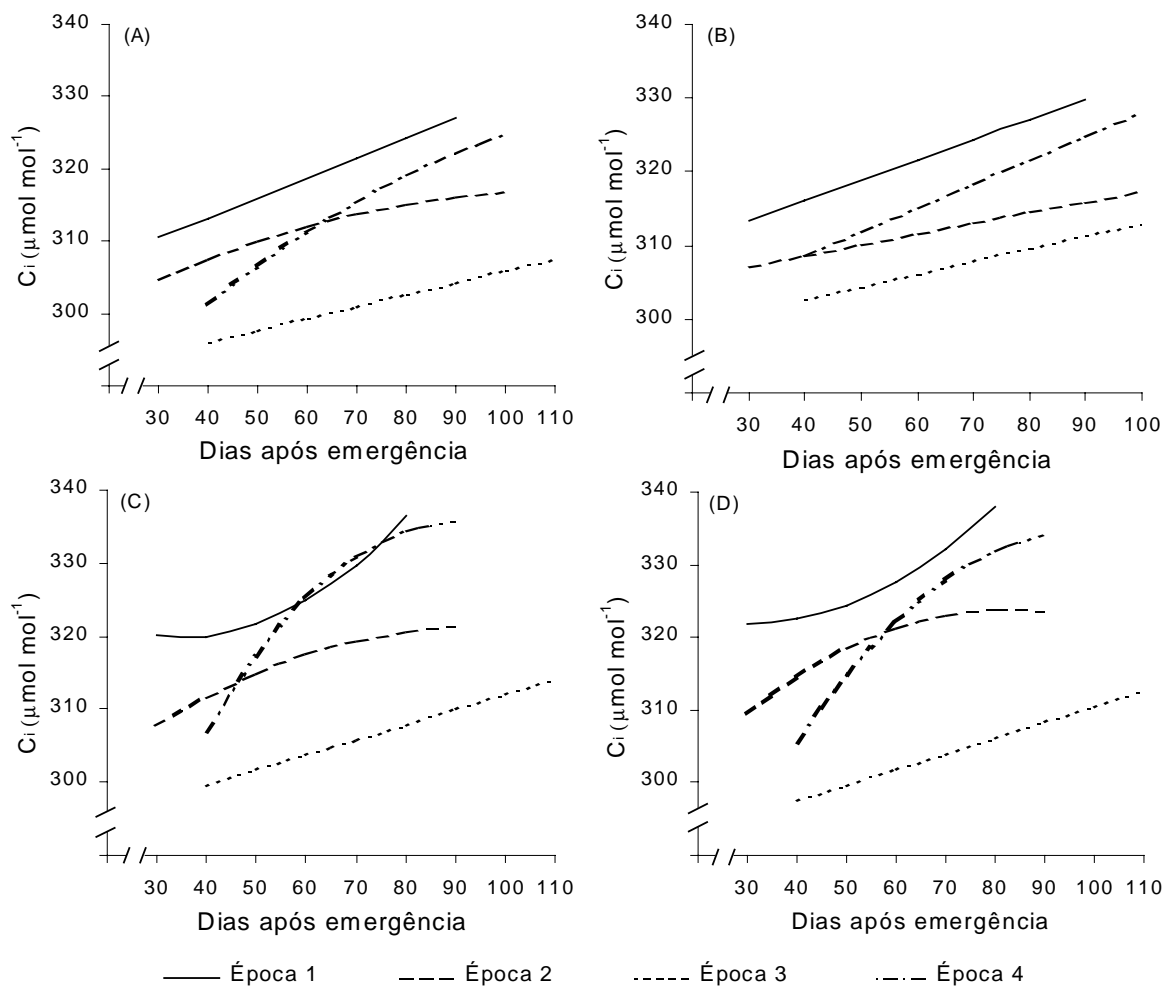
Cultivares	Épocas	Equações	R ²
(A) Anahuac	1	$\hat{Y} = 8,34366 - 0,0612277 **x$	0,9972
	2	$\hat{Y} = 10,6457 - 0,10225 *x + 0,00046086 **x^2$	0,9924
	3	$\hat{Y} = 12,1393 - 0,0448452 **x$	0,9768
	4	$\hat{Y} = 15,9528 - 0,209307 **x + 0,000840617 **x^2$	0,9938
(B) BH 1146	1	$\hat{Y} = 7,62482 - 0,0595089 **x$	0,9801
	2	$\hat{Y} = 8,37089 - 0,034714 **x$	0,9830
	3	$\hat{Y} = 10,2061 - 0,042625 **x$	0,9022
	4	$\hat{Y} = 9,86522 - 0,072442 **x$	0,9945
(C) BR 26	1	$\hat{Y} = 2,47965 + 0,111711 **x - 0,00162588 **x^2$	0,9871
	2	$\hat{Y} = 11,0176 - 0,152388 **x + 0,00083794 **x^2$	0,9968
	3	$\hat{Y} = 11,3846 - 0,0521265 **x$	0,9583
	4	$\hat{Y} = 22,3459 - 0,48374 **x + 0,00027628 **x^2$	0,9748
(D) Embrapa 22	1	$\hat{Y} = 3,11456 + 0,06526 **x - 0,00119196 **x^2$	0,9800
	2	$\hat{Y} = 11,8051 - 0,204785 **x + 0,00126398 **x^2$	0,9739
	3	$\hat{Y} = 12,1588 - 0,0562902 **x$	0,9673
	4	$\hat{Y} = 20,5083 - 0,405091 **x + 0,00214648 **x^2$	0,9936

Figura 2 - Estimativa da taxa fotossintética líquida (A_n), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

à dos cultivares Anahuac e BH 1146 (Figura 2). Isso pode indicar que o estresse ocasionado por altas temperaturas ao aparelho fotossintético não assumiu um comportamento plástico, por provocar danos irreparáveis ou parcialmente recuperáveis ao mesmo, uma vez que nessa época ocorrem períodos curtos com elevação da temperatura (Figura 1). De maneira geral, a redução da fotossíntese líquida na época 4 foi superior à verificada na época 1 (Figura 2A, 2B, 2C e 2D), o que indica efeito da aclimatação da planta.

A concentração interna de CO_2 (C_i) na folha-bandeira, ao longo das quatro épocas de semeadura, é mostrada na Figura 3. Observou-se a correlação negativa entre A_n e C_i , que juntamente com a falta de significância da correlação entre A_n e g_s (Tabela 4), Pode-se considerar que os decréscimos em A_n estiveram associados, fundamentalmente, a limitações bioquímicas, e não estomáticas. Em relação às diferenças apresentadas quanto à sensibilidade da taxa fotossintética líquida dos cultivares estudados, resultados semelhantes foram encontrados por REYNOLDS et al. (2000). Esses autores concluíram que diferenças na A_n estavam associadas às variações no desempenho dos cultivares sob estresse térmico, confirmando a tolerância ao calor.

Com relação à área de folhas-bandeira dos cultivares de trigo estudados nas diferentes épocas de semeadura, observou-se redução substancial dessa característica nos períodos com temperaturas mais elevadas, representados pelas épocas 1 e 4 (Figura 4). Na época 1, ocorreu redução drástica da área foliar, provavelmente em razão da menor taxa de crescimento e maior senescência. Outro aspecto importante a ser considerado foi a diferença no tempo em que os cultivares alcançaram o máximo de área foliar durante as quatro épocas de semeadura. Percebeu-se uma distinção de comportamento entre os cultivares, sendo que em 'Anahuac' e 'BH 1146' a diferença entre as épocas foi menos pronunciada, indicando maior tolerância ao calor do que em 'BR 26' e 'Embrapa 22'.



Cultivares	Época	Equações	R ²
(A) Anahuac	1	$\hat{Y} = 302,128 + 0,277 **x$	0,9963
	2	$\hat{Y} = 294,007 + 0,408619 *x - 0,00179345 *x^2$	0,9922
	3	$\hat{Y} = 289,568 + 0,163436 **x$	0,9801
	4	$\hat{Y} = 274,355 + 0,78056 **x - 0,002796 **x^2$	0,9947
(B) BH 1146	1	$\hat{Y} = 305,184 + 0,27354 **x$	0,9858
	2	$\hat{Y} = 302,848 + 0,1457746 *x$	0,9841
	3	$\hat{Y} = 295,911 + 0,170648 **x$	0,9055
	4	$\hat{Y} = 295,67 + 0,322969 **x$	0,9937
(C) BR 26	1	$\hat{Y} = 330,277 - 0,59043 **x + 0,00833 **x^2$	0,9894
	2	$\hat{Y} = 291,846 + 0,63052 *x - 0,0033697 *x^2$	0,9963
	3	$\hat{Y} = 291,388 + 0,26816 **x$	0,9356
	4	$\hat{Y} = 242,779 + 2,05794 **x - 0,01139 **x^2$	0,9722
(D) Embrapa 22	1	$\hat{Y} = 327,06 - 0,36576 **x + 0,006273 **x^2$	0,9790
	2	$\hat{Y} = 287,941 + 0,878217 **x - 0,0053608 **x^2$	0,9707
	3	$\hat{Y} = 288,799 + 0,216928 **x$	0,9943
	4	$\hat{Y} = 251,526 + 1,69294 **x - 0,00859 **x^2$	0,9928

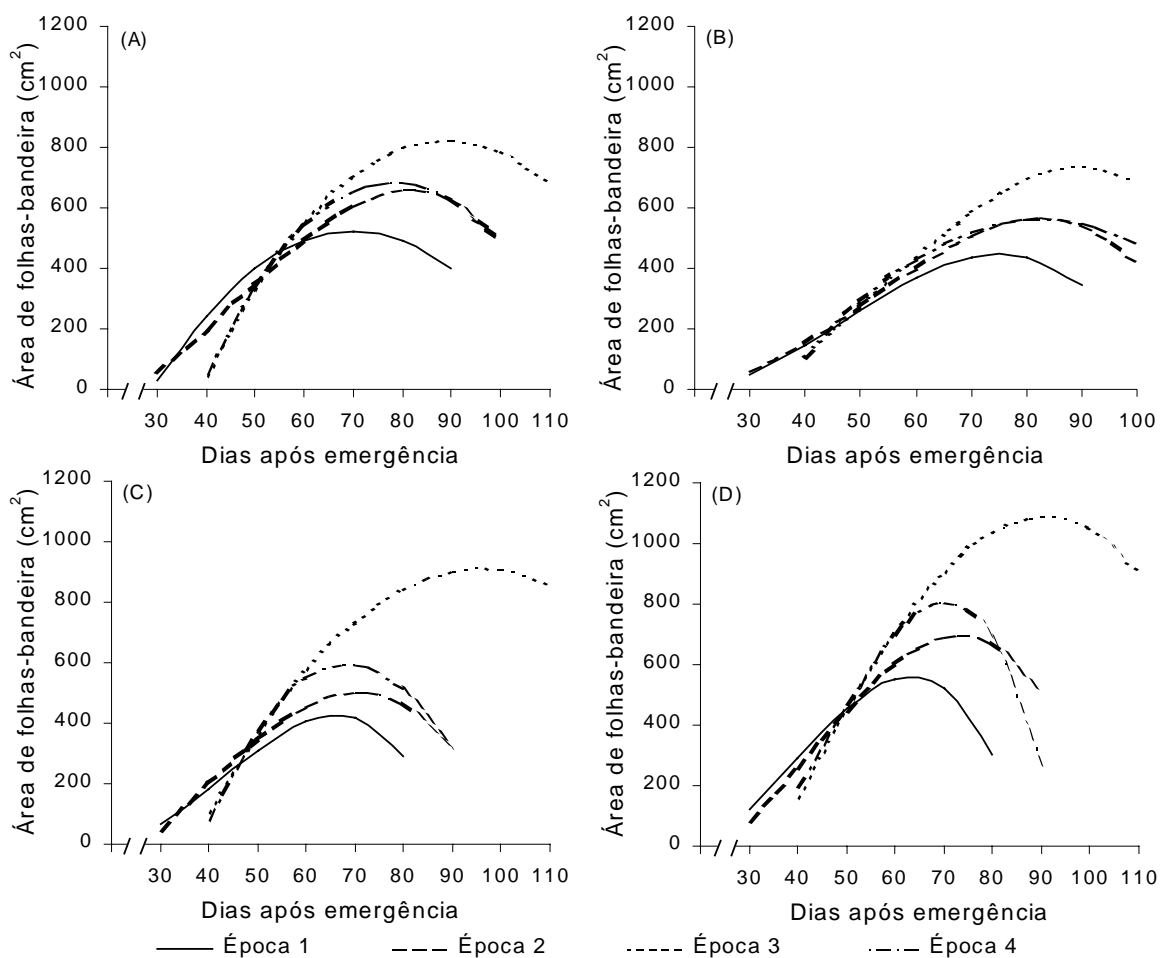
Figura 3 - Estimativa da concentração interna de CO₂ (C_i), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

Tabela 4 - Estimativa de coeficientes de correlação entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A_n) e condutância estomática (g_s), e A_n e concentração interna de CO₂ (C_i) para os cultivares de trigo nas quatro épocas de semeadura

Cultivares	Época	Correlação	
		$A_n g_s$	$A_n C_i$
Anahuac	1	0,2731 ns	- 0,9889 *
	2	0,2020 ns	- 0,9795 *
	3	0,1379 ns	- 0,9887 *
	4	0,3137 ns	- 0,9894 *
BH 1146	1	0,0949 ns	- 0,9893 *
	2	0,1394 ns	- 0,9885 *
	3	0,2338 ns	- 0,9794 *
	4	0,2160 ns	- 0,9990 *
BR 26	1	0,3366 ns	- 0,9881 *
	2	0,1403 ns	- 0,9796 *
	3	0,2726 ns	- 0,9892 *
	4	0,1943 ns	- 0,9897 *
Embrapa 22	1	0,1826 ns	- 0,9874 *
	2	0,2020 ns	- 0,9891 *
	3	0,2639 ns	- 0,9982 *
	4	0,2804 ns	- 0,9799 *

* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste t
ns - não significativo

Possivelmente, os cultivares, Anahuac e BH 1146 tenham menor sensibilidade ao calor devido ao menor efeito sobre o encurtamento do ciclo e também a uma menor senescência das folhas. O contraste entre as épocas 3 e 4 parece suportar essa sugestão, uma vez que as diferenças entre longevidade da área foliar, máximo de área foliar acumulada, bem como a redução na área foliar final, foram menos afetadas em 'Anahuac' e 'BH 1146'. Ao contrário, 'BR 26' e 'Embrapa 22' apresentaram reduções drásticas naquelas características. A aceleração da senescência foliar em plantas de trigo submetidas a temperaturas relativamente elevadas parece estar associada a aumentos nos níveis endógenos de ABA induzidos pelo calor (XU et al., 1995a). Em genótipos mais tolerantes a altas temperaturas, há menor acúmulo de ABA (XU et al., 1995b).



Cultivares	Épocas	Equações	R ²
(A) Anahuac	1	$\hat{Y} = -982,977 + 42,9465 * x - 0,306513 * x^2$	0,9782
	2	$\hat{Y} = -53,0262 - 9,3771 * x + 0,54672 * x^2 - 0,003978674 * x^3$	0,9625
	3	$\hat{Y} = -1749,81 + 57,7427 * x - 0,33384 * x^2$	0,9879
	4	$\hat{Y} = -1949,41 + 67,0875 * x - 0,42667 * x^2$	0,9465
(B) BH 1146	1	$\hat{Y} = 172,787 - 20,1919 * x + 0,681574 * x^2 - 0,00484463 * x^3$	0,9861
	2	$\hat{Y} = 304,464 - 26,3046 * x + 0,751137 * x^2 - 0,0047698 * x^3$	0,9570
	3	$\hat{Y} = 46,4349 - 17,95587 * x + 0,653803 * x^2 - 0,0041 * x^3$	0,9829
	4	$\hat{Y} = -1171,23 + 41,9668 * x - 0,253924 * x^2$	0,9535
(C) BR 26	1	$\hat{Y} = 376,442 - 36,8372 * x + 1,17973 * x^2 - 0,00878842 * x^3$	0,9483
	2	$\hat{Y} = -210,602 - 1,90231 * x + 0,476108 * x^2 - 0,004333 * x^3$	0,9449
	3	$\hat{Y} = -1454,43 + 49,2147 * x - 0,256 * x^2$	0,9792
	4	$\hat{Y} = -2360,4 + 86,106 * x - 0,62609 * x^2$	0,9388
(D) Embrapa 22	1	$\hat{Y} = 191,762 - 28,7933 * x + 1,1867 * x^2 - 0,0101175 * x^3$	0,9914
	2	$\hat{Y} = 47,6146 - 19,3107 * x + 0,883441 * x^2 - 0,00680031 * x^3$	0,9878
	3	$\hat{Y} = -1198,49 + 33,2729 * x + 0,097456 * x^2 - 0,00205 * x^3$	0,9910
	4	$\hat{Y} = 503,156 - 65,942 * x + 0,205429 * x^2 - 0,0150097 * x^3$	0,9487

Figura 4 - Estimativa da área de folhas bandeira (AFB), dos cultivares de trigo, em função dos dias após emergência ao longo das quatro épocas de semeadura.

Os resultados apresentados mostram o efeito da redução da taxa fotossintética líquida quando o trigo é submetido a altas temperaturas. Ocorreu resposta diferenciada quanto à redução da taxa fotossintética, indicando maior tolerância dos cultivares Anahuac e BH 1146. Esses cultivares apresentaram ainda uma menor senescência das folhas-bandeira. Parece não ter havido influência estomática na redução de A_n associada ao aumento da temperatura. 'Anahuac' e 'BH 1146' apresentaram menor senescência e maior A_n por unidade de área foliar. Por conseguinte, uma maior A_n por planta poderia suportar maior crescimento e maior produção de grãos desses cultivares, conforme discutido nos capítulos anteriores.

RESUMO E CONCLUSÕES

Foram investigados os efeitos causados no trigo quando cultivado em altas temperaturas. O experimento foi conduzido em abrigo com cobertura de filme plástico transparente e totalmente revestido com tela do tipo clarite, nos anos de 1996 e 1997; com o objetivo de verificar os efeitos de altas temperaturas sobre o desenvolvimento do trigo. Foram utilizadas quatro épocas de semeadura, com a finalidade de submeter a planta a diferentes temperaturas durante o seu desenvolvimento. Foram utilizados quatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos quais 'Anahuac' e 'BH 1146' foram considerados, presumivelmente, tolerantes ao estresse por calor e 'BR 26' e 'Embrapa 22', suscetíveis. Em cada época de semeadura acompanhou-se o crescimento dos cultivares por todo o ciclo. As amostragens eram realizadas a cada 10 dias. Foram avaliadas a biomassa total seca, biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas, biomassa de colmos, condutância estomática, fotossíntese líquida, concentração interna de CO₂ e o rendimento, bem como seus componentes. Constatou-se um comportamento diferenciado entre os cultivares estudados: 'Anahuac' e 'BH 1146' mostraram-se mais tolerantes ao calor do que 'BR 26' e 'Embrapa 22', por apresentarem maior estabilidade nos componentes de produção, bem como menor diminuição da fotossíntese e maior longevidade da área foliar quando expostas a alta temperatura. Aparentemente, outra diferença marcante foi observada quanto à capacidade de remobilização de

assimilados, do colmo para os grãos, sendo maior nos cultivares tolerantes. Essa capacidade parece ter ocorrido mesmo em condição de temperaturas mais amenas, fato não manifestado nos cultivares mais sensíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E.; NACHIT, M.; ORTIZ, G. Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding tolerance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: Wheat for the nontraditional warm areas, 1990, Foz do Iguaçu, Brasil. **Proceedings...**, Mexico: CIMMYT, 1991. p.401-421.
- AL-KHATIB, K; PAULSEM, G. M. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat cultivars from major world regions. **Crop Science**, Madison, v.30, n.5, p.1127-1132, Sep./Oct. 1990.
- AMORES-VERGARA; CARTWRIGHT, M. Effects of short periods of exposure to high temperature on the phenology and the shoot apex development of wheat cv. Sonora 64. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.35, n.2, p.139-148, 1984.
- BERRY, J.; and BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.31, p.491-543, 1980.
- BHULLAR, S.S.; JENNER, C.F. Effects of a brief episode of elevated temperature on grain filling in wheat ears cultured on solutions of sucrose. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.13, p.617-626, 1986a.
- BHULLAR, S.S.; JENNER, C.F. Effects of temperature on the conversion of sucrose to starch in the developing wheat endosperma. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.13, p.605-15, 1986b.
- BHULLAR, S.S.; JENNER, C.F. Responses of a brief periods of elevated temperatures in ears and grain of wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.10, p. 549-560, 1983.

- BLUM, A. The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v.37, n.174, p.111-118, 1986.
- BLUM, A.; SINMENA, B. Wheat seed endosperm utilization under heat stress and its relation to thermotolerance in the autotrophic plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.37, n.3, p.185-191, 1994.
- BLUM, A.; SINMENA, B.; MAYER, J.; GOLAN, G.; SHPILER, L. Stem reserve mobilization supports wheat-grain filling under heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, n.4, p.771-781, 1994.
- BRUCKNER, P.L.; FROHBERG, R.C. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.27n.1, p.31-36, Jan./Feb. 1987.
- CALEY, C.Y.; DUFFUS, C.M.; JEFFCOAT, B. Effects of elevated temperature and reduced water uptake on enzymes of starch synthesis in developing wheat grains. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.17, p.431-439, 1990.
- CRUZ-AGUADO, J.A.; RODÉS, R.; PÉREZ, I.P.; DORADO, M. Morphological characteristics and yield components associated with accumulation and loss of dry mass in internodes of wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, p.129-139, 2000.
- FOKAR, M.; BLUM, A.; NGUYEN, H.T. Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. **Euphytica**, Wageningen, v.104, n.1, p.9-15, 1998.
- HARDING, S.A.; GUIKEMA, J.A.; PAULSEN, G.H. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. **Plant Physiology**, Rockville, v.92, p.648-653, 1990.
- HAWKER, J.S.; JENNER, C.F. High temperature affects the activity of enzymes in the committed pathway of starch synthesis in developing wheat endosperm. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.20, n.2, p.197-209, 1993.
- ISHAG, H.M.; MOHAMED, B.A. Phasic development of spring wheat and stability yield and its components in hot environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.46, p.169-176, 1996.
- JENNER, C.F. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in grain of two cultivars. I. Immediate responses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.18, n.1, p.165-177, 1991a.
- JENNER, C.F. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in grain of two cultivars. II. Carry-over effects. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.18, n.1, p.179-190, 1991b.

- KATO, K., YOKOYAMA, H. Geographical variation in characters among wheat landraces, *Triticum aestivum* L., and implication for their adaptability, **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.84, p.259-265, 1992.
- KUROYANAGI, T.; PAULSEN, G.M. Mode of high temperature injury to wheat. II. Comparisons of wheat and rice with and without inflorescences. **Physiologia Plantarum**, v.65, p.203-208, 1985.
- MAYER, J.; GOZLAN, G. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.5, p.137-146, 1982.
- MIDMORE, D.J.; CARTWRIGHT, P.M.; FISCHER, R.A. Wheat in tropical environments. I. Phasic development and spike size. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.8, p.185-200, 1985a.
- MIDMORE, D.J.; CARTWRIGHT, P.M.; FISCHER, R.A. Wheat in tropical environments. II. Growth and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.8, p.207-227, 1985b.
- NEVO, E., ORDENTLICH, A., BEILES, A. et al. Genetic divergence of heat production within and between the wild progenitors of wheat and barley: evolutionary and agronomical implications, **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.84, v.7/8, p.958-962, 1992.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 11.ed. Piracicaba: Nobel, 1985. 468p.
- PORTER, D. R.; NGUYEN, H. T.; BURKE, J. J. Genetic control acquired high temperature tolerance in winter wheat. **Euphytica**, Wageningen, v.83, n.2, p.153-157, 1995.
- PORTER, D. R.; NGUYEN, H. T.; BURKE, J. J. Quantifying acquired thermal tolerance in winter wheat. **Crop Science**, Madison, v.34, n.6, p.1686-1689, Nov./Dec. 1994.
- RADFORD, B.J. The effect of constant and fluctuating temperature regimes and seed source coleoptile length of tall and semidwarf wheats. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.27, n.1, p.113-117, 1987.
- RAWSON, H.M.; RICHARDS, R.A. Effects of high temperature and photoperiod on floral development in wheat isolines differing in vernalisation and photoperiod genes, **Field Crops Research**, Amsterdam, v.32: 181-192, 1992.
- RAWSON, H.M.; ZAJAC, M. Effects of higher temperatures, photoperiod and seed vernalisation on development in two spring wheats, **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.20: 211-222, 1993.

- RAWSON, H.M. Prediction of heading time in wheat grown under high temperatures: effects of temperature, vernalisation and photoperiod, **Indian Journal of Plant Physiology**, v.36, p.239-245, 1993.
- RAWSON, H. M. Radiation effects on rate of development in wheat grown under different photoperiods and high and low temperatures, **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.20, n.6, p.719-727, 1993.
- RAWSON, H.M. High temperature-tolerant wheat: a description of variation and a search for some limitations to productivity, **Field Crops Research**, Amsterdam, v.14, p.197-212, 1986.
- REYNOLDS, M.P.; BALOTA, M.; DELGADO, M.I.B.; AMANI, I.; FISHER, R.A. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, n.4, p.717-730, 1994.
- REYNOLDS, M.P.; DELGADO, M.I.B.; GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, M.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in warm, irrigated environment I: Genetic diversity and crop productivity, **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p.37-50, 2000.
- REYNOLDS, M.P.; SINGH, R.P.; IBRAHIM, A.; AGEEB, O.A.A.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A.; QUICK, J.S. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments, **Euphytica**, Wageningen, v.100, n.1/3, p.139-146, 1998.
- ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F.N. Effects of minimum and maximum temperature on the wheat yields in central US. A simulation study, **Agricultural and Forest Meteorology**, v.80, p. 215-230, 1996.
- SAINI, H.S.; SEDGLEY, M.; ASPINALL, D. Effect of heat during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.10, n.1, p.137-144, 1983.
- SANKARAN, V.M.; AGGARWAL, P.K.; SINHA, S.K. Improvement in wheat yields in northern India since 1965: measured and simulated trends, **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.2, p.141-149, 2000.
- SPHILER, L.; BLUM, A. Differential reactions of wheat cultivars to hot environments. **Euphytica**, Wageningen, v.35: 483-492, 1986.
- SPHILER, L.; BLUM, A. Heat tolerance for yield and its components in different cultivars. **Euphytica**, Wageningen, v.51, n.3, p.257-263, 1991.
- STONE, P.J.; SAVIN, R.; WARDLAW, I.F.; NICOLAS, M.E. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. I. grain growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.22, n.6, p. 945-54, 1995.

- TASHIRO, T.; WARDLAW, I.F. A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. **Annals of Botany**, London, v.64, n.1, p.59-65, 1989.
- WANG, Y.P.; CONNOR, D.J. Simulation of optimal development for spring wheat at two locations in southern Australia under present and changed climate conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.79, n.1. p.9-28, 1996.
- WARDLAW, I. F.; MONCUR, L. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.7, n.3, p. 387-400, 1980.
- WARDLAW, I. F.; MONCUR, L. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.22, n.3, p. 391-397, 1995.
- WARDLAW, I. F.; WRIGLEY, C.W. Heat tolerance in temperate cereals: An overview. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, n.6, p.695-703, 1994.
- WARDLAW, I. F. The effect of high temperature on kernel development in wheat: variability related to pre-heading and post-anthesis conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, n.6, p.731-739, 1994.
- XU, Q.; HENRY, R.L.; GUIKEMA, J.A.; PAULSEN, G.M. Association of high-temperature injury with increased sensitivity of photosynthesis to abscisic acid in wheat. **Environmental and Experimental Botany**, v.35, n.4, p.441-454, 1995.
- XU, Q.; PAULSEN, A.Q.; GUIKEMA, J.A.; PAULSEN, G.M. Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat during maturation. **Environmental and Experimental Botany**, v.35, n.1, p. 43-54, 1995.
- ZHONG-HU, H.; RAJARAM, S. Differential responses of bread wheat characters to high temperature. **Euphytica**, Wageningen, v.72, n.3, p.197-203, 1994.

ANEXO

Tabela 1A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à biomassa seca total (BST), massa total de grãos (MTG), número de grãos (NG), número de espiguetas (NE), número de grãos por espiguetas (NGE) e massa individual do grão (MIG) dos cultivares de trigo nas quatro épocas de semeadura

FV	GL	Quadrados médios					
		BST (g)	MTG (g)	NG	NE	NGE	MIG (mg)
Épocas (E)	3	3581,9890 **	521,9274 **	220943,3 **	59,9453 **	184,0599 **	170,2801 **
Cultivares (C)	3	987,1938 **	256,8031 **	277998,3 **	600,5703 **	261,9814 **	96,6491 *
Anos (A)	1	48,4870 ns	33,1297 *	26134,7 *	35,0703 ns	0,3591 ns	1,7978 ns
E x C	9	294,6717 **	43,5723 **	13293,1 *	3,0009 ns	55,7768 **	16,4718 *
E / C ₁	3	562,5204 **	61,5238 **	28762,9 **	-	4,3228 ns	25,7050 *
L	1	267,2631 **	44,52103 *	55950,4 **	-	-	2,2468 ns
Q	1	1172,3690 **	132,4378 **	25651,1 *	-	-	74,8476 *
Desvio	1	247,9294 **	7,6126 ns	4687,2 ns	-	-	0,0207 ns
E / C ₂	3	147,3646 **	26,2101 *	13647,7 *	-	2,1022 ns	14,9966 ns
L	1	72,1595 *	13,4908 ns	26884,2 **	-	-	-
Q	1	288,7805 **	57,1381 *	13284,5 *	-	-	-
Desvio	1	81,1538 *	8,0014 ns	774,4 ns	-	-	-
E / C ₃	3	1106,7340 **	194,4808 **	83493,7 **	-	68,5692 *	71,1774 **
L	1	480,4223 **	174,3062 **	165958,8 **	-	130,2850 **	1,5229 ns
Q	1	1676,3490 **	287,1606 **	60291,3 **	-	73,6291 *	154,9240 **
Desvio	1	1163,4310 **	121,9754 **	24231,0 *	-	1,7935 ns	57,0851 **
E / C ₄	3	2649,3830 **	370,4297 **	134918,2 **	-	276,3960 **	107,8166 **
L	1	980,1490 **	376,1370 **	231344,1 **	-	484,7292 **	16,6474 ns
Q	1	3733,1270 **	481,7408 **	143380,1 **	-	336,5067 **	145,1382 **
Desvio	1	3234,8700 **	253,4118 **	30030,4 *	-	7,9522 ns	161,6643 **
E x A	3	6,3053 ns	0,6451 ns	903,3 ns	0,6536 ns	6,7795 ns	1,9152 ns
C x A	3	2,3639 nn	0,2266 ns	1675,5 ns	0,9453 ns	1,2087 ns	3,2472 ns
E x C x A	9	2,0146 ns	0,7815 ns	326,0 ns	0,6120 ns	0,8084 ns	2,9841 ns
Resíduo méd,	96	14,3961	6,6334	5051,8	10,2162	19,9254	7,975
CV (%)		5,48	11,11	10,85	13,54	15,13	8,21

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade.

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 2A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à biomassa seca total (BST), biomassa seca de colmos (BSC) e biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas (BSF) dos cultivares de trigo ao longo da primeira época de semeadura

FV	GL	QM		FV	GL	QM		FV	GL	QM	
		BST				BSC				BSF	
Anos (A)	1	47,147	**	Anos (A)	1	25,037	**	Anos (A)	1	14,663	**
Cult. (C)	3	1880,411	**	Cult. (C)	3	497,029	**	Cult. (C)	3	72,482	**
A x C	3	2,126	ns	A x C	3	0,914	ns	A x C	3	1,226	**
Am / C ₁	(9)	6352,515	**	Am / C ₁	(9)	963,065	**	Am / C ₁	(8)	92,101	**
Logística	2	3548,491	**	L	1	7511,693	**	L	1	30,973	**
Desvio	7	7,085	ns	Q	1	479,465	**	Q	1	657,093	**
				C	1	628,582	**	C	1	5,474	**
				Desvio	6	7,974	*	Desvio	5	6,806	**
Am / C ₂	(9)	4586,972	**	Am / C ₂	(9)	866,548	**	Am / C ₂	(8)	65,635	**
Logística	2	2549,846	**	L	1	6861,504	**	L	1	3,3769	**
Desvio	7	8,664	ns	Q	1	457,328	**	Q	1	461,437	**
				C	1	446,785	**	C	1	21,951	**
				Desvio	6	5,756	*	Desvio	5	9,743	**
Am / C ₃	(8)	3831,198	**	Am / C ₃	(8)	565,736	**	Am / C ₃	(7)	87,501	**
Logística	2	1890,715	**	L	1	4199,942	**	L	1	11,279	**
Desvio	6	8,294	ns	Q	1	94,847	**	Q	1	513,289	**
				C	1	223,093	**	C	1	29,267	**
				Desvio	5	0,800	ns	Desvio	4	14,215	**
Am / C ₄	(8)	3190,372	**	Am / C ₄	(8)	397,051	**	Am / C ₄	(7)	24,389	**
Logística	2	1579,005	**	L	1	2957,448	**	L	1	342,096	**
Desvio	6	5,393	ns	Q	1	104,308	**	Q	1	41,943	**
				C	1	100,381	**	C	1	28,071	**
				Desvio	5	3,056	ns	Desvio	4	9,552	**
A x Am/C	(34)			A x Am/C	(34)			A x Am/C	(30)		
A x Am/C ₁	9	1,118	ns	A x Am/C ₁	9	1,201	ns	A x Am/C ₁	8	0,534	ns
A x Am/C ₂	9	2,389	ns	A x Am/C ₂	9	0,322	ns	A x Am/C ₂	8	0,175	ns
A x Am/C ₃	8	2,627	ns	A x Am/C ₃	8	0,542	ns	A x Am/C ₃	7	0,168	ns
A x Am/C ₄	8	1,397	ns	A x Am/C ₄	8	0,187	ns	A x Am/C ₄	7	0,213	ns
Resíduo	228	5,640		Resíduo	228	2,300		Resíduo	204	0,269	
CV		7,29		CV		11,51		CV		8,83	

Am-Amostragens

V₁-Anahuac, V₂-BH 1146, V₃-BR 26 e V₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade,

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 3A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à biomassa seca total (BST), biomassa seca de colmos (BSC) e biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas (BSF) dos cultivares de trigo ao longo da segunda época de semeadura

FV	GL	QM BST	FV	GL	QM BSC	FV	GL	QM BSF
Anos (A)	1	73,517 **	Anos (A)	1	22,729 **	Anos (A)	1	11,669 **
Cult. (C)	3	14659,910 **	Cult. (C)	3	2146,213 **	Cult. (C)	3	125,557 **
A x C	3	7,835 ns	A x C	3	0,280 ns	A x C	3	0,165 ns
Am/C ₁	(10)	10704,590 **	Am/C ₁	(10)	1641,157 **	Am/C ₁	(9)	120,469 **
Logística	2	5164,515 **	L	1	11816,870 **	L	1	54,054 **
Desvio	8	4,864 ns	Q	1	10,673 **	Q	1	930,354 **
			C	1	305,273 **	C	1	24,399 **
			Desvio	7	611,065 **	Desvio	6	12,771 **
Am/C ₂	(10)	7494,740 **	Am/C ₂	(10)	1231,895 **	Am/C ₂	(9)	77,256 **
Logística	2	3433,948 **	L	1	7504,600 **	L	1	0,071 ns
Desvio	8	7,139 ns	Q	1	533,849 **	Q	1	598,386 **
			C	1	20,655 **	C	1	71,930 **
			Desvio	7	608,635 **	Desvio	6	4,185 **
Am/C ₃	(9)	8068,549 **	Am/C ₃	(9)	1134,952 **	Am/C ₃	(8)	65,731 **
Logística	2	3150,105 **	Logística	2	486,052 **	L	1	2,906 **
Desvio	7	5,955 ns	Desvio	7	0,969 ns	Q	1	435,655 **
						C	1	25,990 **
						Desvio	5	12,043 **
Am/C ₄	(9)	5126,656 **	Am/C ₄	(9)	649,925 **	Am/C ₄	(8)	51,313 **
Logística	2	2864,808 **	Logística	2	363,055 **	L	1	3,410 **
Desvio	7	5,410 ns	Desvio	7	0,722 ns	Q	1	328,144 **
						C	1	29,965 **
						Desvio	5	12,112 **
A x Am/C	(38)		A x Am/C	(38)		A x Am/C	(34)	
A x Am/C ₁	10	2,338 ns	A x Am/C ₁	10	2,102 ns	A x Am/C ₁	9	0,245 ns
A x Am/C ₂	10	1,502 ns	A x Am/C ₂	10	0,775 ns	A x Am/C ₂	9	0,053 ns
A x Am/C ₃	9	0,454 ns	A x Am/C ₃	9	0,576 ns	A x Am/C ₃	8	0,238 ns
A x Am/C ₄	9	5,121 ns	A x Am/C ₄	9	0,847 ns	A x Am/C ₄	8	0,163 ns
Resíduo	252	6,001	Resíduo	252	2,7486	Resíduo	228	0,178
CV		6,664	CV		11,207	CV		7,829

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade,

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 4A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à biomassa seca total (BST), biomassa seca de colmos (BSC) e biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas (BSF) dos cultivares de trigo ao longo da terceira época de semeadura

FV	GL	QM BST	FV	GL	QM BSC	FV	GL	QM BSF
Anos (A)	1	154,979 **	Anos (A)	1	37,232 **	Anos (A)	1	16,325 **
Cult. (C)	3	2166,213 **	Cult. (C)	3	142,083 **	Cult. (C)	3	77,461 **
A x C	3	2,208 ns	A x C	3	0,906 ns	A x C	3	0,454 ns
Am / C ₁	(11)	9704,227 **	Am / C ₁	(11)	1418,052 **	Am / C ₁	(9)	130,101 **
Logística	2	6633,736 **	L	1	13651,300 **	L	1	227,691 **
Desvio	9	8,427 ns	Q	1	1083,819 **	Q	1	832,703 **
			C	1	720,300 **	C	1	59,911 **
			Desvio	8	17,894 ns	Desvio	6	25,815 **
Am / C ₂	(10)	5978,498 **	Am / C ₂	(10)	1101,669 **	Am / C ₂	(9)	45,106 **
Logística	2	3699,179 **	L	1	9936,142 **	L	1	22,312 **
Desvio	8	9,345 **	Q	1	494,750 **	Q	1	277,095 **
			C	1	544,894 **	C	1	76,676 **
			Desvio	7	5,843 ns	Desvio	6	4,979 **
Am / C ₃	(11)	9031,941 **	Am / C ₃	(11)	1257,824 **	Am / C ₃	(8)	110,042 **
Logística	2	6166,792 **	Logística	2	861,447 **	L	1	179,815 **
Desvio	9	9,481 ns	Desvio	9	0,734 ns	Q	1	654,964 **
						C	1	89,698 **
						Desvio	5	25,135 **
Am / C ₄	(11)	10619,700 **	Am / C ₄	(11)	1383,743 **	Am / C ₄	(8)	81,188 **
Logística	2	7272,256 **	Logística	2	948,037 **	L	1	4,182 **
Desvio	9	6,397 ns	Desvio	9	0,730 ns	Q	1	490,966 **
						C	1	254,076 **
						Desvio	5	8,951 **
A x Am/C	(43)		A x Am/C	(43)		A x Am/C	(34)	
A x Am/C ₁	11	1,336 ns	A x Am/C ₁	11	1,178 ns	A x Am/C ₁	9	0,165 ns
A x Am/C ₂	10	1,306 ns	A x Am/C ₂	10	0,221 ns	A x Am/C ₂	9	0,168 ns
A x Am/C ₃	11	2,447 ns	A x Am/C ₃	11	1,666 ns	A x Am/C ₃	8	0,179 ns
A x Am/C ₄	11	1,331 ns	A x Am/C ₄	11	0,502 ns	A x Am/C ₄	8	0,261 ns
Resíduo	282	7,650	Resíduo	282	4,672	Resíduo	258	0,226
CV		6,117	CV		11,942	CV		6,600

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade,

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 5A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à biomassa seca total (BST), biomassa seca de colmos (BSC) e biomassa seca de folhas fotossinteticamente ativas (BSF) dos cultivares de trigo ao longo da quarta de semeadura

FV	GL	QM BST	FV	GL	QM BSC	FV	GL	QM BSF
Anos (A)	1	6,431 ns	Anos (A)	1	8,739 *	Anos (A)	1	1,649 **
Cult. (C)	3	13219,090 **	Cult. (C)	3	1673,358 **	Cult. (C)	3	95,603 **
A x C	3	36,941 *	A x C	3	2,917 ns	A x C	3	1,333 **
Am / C ₁	(10)	9734,100 **	Am / C ₁	(10)	1380,849 **	Am / C ₁	(9)	132,781 **
Logística	2	4627,600 **	L	1	9855,822 **	L	1	109,235 **
Desvio	8	5,701 ns	Q	1	38,377 **	Q	1	984,819 **
			C	1	176,112 **	C	1	13,556 **
			Desvio	7	534 **	Desvio	6	14,570 **
Am / C ₂	(10)	6856,686 **	Am / C ₂	(10)	1044,638 **	Am / C ₂	(9)	83,824 **
Logística	2	3151,560 **	L	1	6347,017 **	L	1	5,029 **
Desvio	8	2,279 ns	Q	1	222,281 **	Q	1	689,667 **
			C	1	28,781 **	C	1	39,458 **
			Desvio	7	549,757 **	Desvio	6	3,376 **
Am / C ₃	(9)	7220,156 **	Am / C ₃	(9)	897,018 **	Am / C ₃	(8)	119,035 **
Logística	2	2791,200 **	L	1	4579,239 **	L	1	2,693 **
Desvio	7	5,074 ns	Q	1	446,828 **	Q	1	818,743 **
			C	1	619,481 **	C	1	23,317 **
			Desvio	6	404,602 **	Desvio	5	21,505 **
Am / C ₄	(9)	4243,557 **	Am / C ₄	(9)	733,286 **	Am / C ₄	(8)	173,801 **
Logística	2	2375,410 **	L	1	5760,825 **	L	1	11,382 **
Desvio	7	3,311 ns	Q	1	227,366 **	Q	1	1128,453 **
			C	1	490,419 **	C	1	43,447 **
			Desvio	6	58,055 **	Desvio	5	41,424 **
A x Am/C	(36)		A x Am/C	(36)		A x Am/C	(34)	
A x Am/C ₁	10	2,016 ns	A x Am/C ₁	10	0,798 ns	A x Am/C ₁	9	0,384 ns
A x Am/C ₂	10	0,650 ns	A x Am/C ₂	10	0,706 ns	A x Am/C ₂	9	0,191 ns
A x Am/C ₃	8	2,438 ns	A x Am/C ₃	8	0,760 ns	A x Am/C ₃	8	0,403 ns
A x Am/C ₄	8	1,385 ns	A x Am/C ₄	8	0,692 ns	A x Am/C ₄	8	0,433 ns
Resíduo	252	8,018	Resíduo	252	2,9449	Resíduo	228	0,233
CV		7,693	CV		12,0410	CV		7,910

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 6A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à condutância estomática ao vapor d'água (g_s), assimilação líquida de CO_2 (A_n), concentração interna de CO_2 (C_i) e área de folhas bandeira fotossinteticamente ativa (AFB) dos cultivares de trigo ao longo da primeira época de semeadura

FV	GL	Quadrados médios			
		g_s	A_n	C_i	AFB
Anos (A)	1	0,0660 *	1,6373 ns	31,7790 ns	7589,6 *
Cultivares (C)	3	0,1349 *	57,40019 **	1221,2120 **	125953,7 **
A x C	3	0,0132 ns	0,2747748 ns	5,0844 ns	1197,4 ns
Amostragem / C ₁	(6)	0,0038 ns	32,1866 **	575,2036 **	250746,2 **
L	1	-	188,0327 **	3389,5120 **	851342,1 **
Q	1	-	0,018965 ns	0,02650 ns	631349,4 **
C	1	-	0,1312 ns	5,0899 ns	97,68389 ns
D	3	-	0,2071 ns	1,3508 ns	7229,4396 *
Amostragem / C ₂	(6)	0,0047 ns	19,9227 **	394,3040 **	177859,0 **
L	1	-	117,5515 **	2336,5150 **	775672,4 **
Q	1	-	1,5171 ns	18,5766 ns	243748,8 **
C	1	-	0,2537 ns	6,5491 ns	40539,81 **
D	3	-	0,21408 ns	1,3277 ns	2397,6133 ns
Amostragem / C ₃	(5)	0,0165 ns	48,3763 **	1014,7860 **	144895,0 **
L	-	-	217,2651 **	4655,0050 **	414737,2 **
Q	1	-	22,7961 **	387,7676 **	269428,2 **
C	1	-	1,0352 ns	12,1202 ns	40099,2 **
D	2	-	0,7854 ns	9,5177 ns	105,4 ns
Amostragem / C ₄	(5)	0,0140 ns	47,8041 **	985,5807 **	215552,9 **
L	-	-	222,4278 **	4646,3590 **	325332,4 **
Q	1	-	13,7600 **	220,4237 **	695798,3 **
C	1	-	0,0953 ns	4,5891 ns	53134,8 **
D	2	-	1,3686 ns	28,2644 ns	1748,9 ns
A x Am / C	(3x)				
A x Am / C ₁	6	0,0016 ns	0,2644 ns	2,4225 ns	1221,2 ns
A x Am / C ₂	6	0,0016 ns	0,2352 ns	2,3881 ns	1832,3 ns
A x Am / C ₃	5	0,0076 ns	0,6493 ns	2,0985 ns	1090,8 ns
A x Am / C ₄	5	0,0113 ns	0,6137 ns	1,5345 ns	369,4 ns
Resíduo	156	0,0066	0,6896	12,4275	1410,244
CV		13,995	18,395	1,102	11,440

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 7A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à condutância estomática ao vapor d'água (g_s), assimilação líquida de CO_2 (A_n), concentração interna de CO_2 (C_i) e área de folhas bandeira fotossinteticamente ativa (AFB) dos cultivares de trigo ao longo da segunda época de semeadura

FV	GL	Quadrados médios			
		g_s	A_n	C_i	AFB
Anos (A)	1	0,020750 ns	0,009290 ns	0,3684 ns	1684,123 ns
Cultivares (C)	3	0,045075 **	35,820170 **	691,3753 **	216415,5 **
A x C	3	0,002806 ns	0,717860 ns	13,1535 ns	10568,04 **
Amostragem / C ₁	(7)	0,004677 ns	8,967520 **	154,8387 **	396472,7 **
L	1	-	59,59001 **	1034,5380 **	1934462,0 **
Q	1	-	2,854587 *	43,2293 *	705552,1 **
C	1	-	0,106248 ns	2,5801 ns	75297,16 **
D	4	-	0,047400 ns	0,8809 ns	14999,3967 **
Amostragem / C ₂	(7)	0,008667 ns	5,821014 **	103,3718 **	285106,9 **
L	1	-	40,158140 **	713,7233 **	1408736,0 **
Q	1	-	0,115143 ns	1,0257 ns	430501,3 **
C	1	-	0,906910 ns	2,1008 ns	108227,4 **
D	4	-	0,050280 ns	1,6881 ns	12071,0 **
Amostragem / C ₃	(6)	0,003216 ns	10,835600 **	204,1044 **	223754,1 **
L	1	-	60,185400 **	1145,5940 **	652587,9 **
Q	1	-	4,718472 **	76,3086 *	620577,9 **
C	1	-	0,008009 ns	0,7376 ns	32429,77 **
D	3	-	0,035220 ns	0,1681 ns	15761,3 **
Amostragem / C ₄	(6)	0,005273 ns	12,540690 **	243,0148 **	415403,8 **
L	1	-	63,176260 **	1236,1480 **	1617388,0 **
Q	1	-	10,736300 **	193,1249 **	779717,8 **
C	1	-	0,166850 ns	5,7203 ns	79877,30 **
D	3	-	0,388240 ns	7,6986 ns	5495,6 *
A x Am / C	(26)				
A x Am / C ₁	7	0,001489 ns	0,332465 ns	1,6385 ns	1686,313 ns
A x Am / C ₂	7	0,001584 ns	0,277030 ns	1,6559 ns	1966,260 ns
A x Am / C ₃	6	0,001247 ns	0,491762 ns	1,0233 ns	2074,432 ns
A x Am / C ₄	6	0,006773 ns	1,214065 ns	2,3046 ns	1472,147 ns
Resíduo	180	0,0051415	0,7906466	13,9871	1282,856
CV		13,768	15,953	1,188	8,983

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 8A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à condutância estomática ao vapor d'água (g_s), assimilação líquida de CO_2 (A_n), concentração interna de CO_2 (C_i) e área de folhas bandeira fotossinteticamente ativa (AFB) dos cultivares de trigo ao longo da terceira época de semeadura

FV	GL	Quadrados médios			
		g_s	A_n	C_i	AFB
Anos (A)	1	0,0148280 *	1,389936 ns	23,1186 ns	16716,13 **
Cultivares (C)	3	0,0630400 **	28,7602 **	435,1505 **	887957,3 **
A x C	3	0,0254190 **	5,619852 *	9514,4410 **	9514,4 **
Amostragem / C ₁	(7)	0,0006870 ns	9,853872 **	130,4137 *	610434,2 **
L	1	-	67,5728 **	897,4999 **	2825106,0 **
Q	1	-	1,1833 ns	11,5533 ns	1409309,0 **
C	1	-	0,045660 ns	0,9171 ns	5986,2 ns
D	4	-	0,13316 ns	0,7314 ns	8159,2 *
Amostragem / C ₂	(6)	0,0026821 ns	7,516695 *	120,0436 *	462900,1 **
L	1	-	40,6983 **	652,3000 **	2436465,0 **
Q	1	-	3,6964 ns	54,8514 ns	288815,0 **
C	1	-	0,003008 ns	0,4880 ns	29097,8 **
D	3	-	0,2341 ns	4,2074 ns	7674, *
Amostragem / C ₃	(7)	0,0079872 ns	13,5195 **	213,4809 **	697172,4 **
L	1	-	91,2969 **	1437,1600 **	3929456,0 **
Q	1	-	0,027413 ns	1,1940 ns	880811,4 **
C	1	-	1,1114 ns	16,4688 ns	2961,4 ns
D	4	-	0,5501 ns	9,8855 ns	16744,0 **
Amostragem / C ₄	(7)	0,0118928 ns	15,6448 **	230,2025 **	885111,6 **
L	1	-	106,4644 **	1581,1510 **	4364883,0 **
Q	1	-	2,2548 ns	20,7010 ns	1778784,0 **
C	1	-	0,2702 ns	2,8997 ns	19983,4 **
D	4	-	0,1311 ns	1,6665 ns	7738,5 **
A x Am / C	(27)				
A x Am / C ₁	7	0,0009533 ns	0,2349747 ns	6,9083 ns	1325,6 ns
A x Am / C ₂	6	0,0008488 ns	0,1531810 ns	1,8780 ns	1935,5 ns
A x Am / C ₃	7	0,0015158 ns	0,5261801 ns	5,0884 ns	2395,2 ns
A x Am / C ₄	7	0,0015526 ns	0,5297634 ns	2,7580 ns	4013,7 ns
Resíduo	186	0,0056927	1,591687	23,656	2037,892
CV		13,69	16,03	1,59	7,05

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo

Tabela 9A - Resumo das análises de variância dos dados referentes à condutância estomática ao vapor d'água (g_s), assimilação líquida de CO_2 (A_n), concentração interna de CO_2 (C_i) e área de folhas bandeira fotossinteticamente ativa (AFB) dos cultivares de trigo ao longo da quarta época de semeadura

FV	GL	Quadrados médios			
		g_s	A_n	C_i	AFB
Anos (A)	1	0,0003545 ns	0,5623412 ns	11,9549 ns	5465,447 ns
Cultivares (C)	3	0,0281490 ns	37,7836 **	829,7192 **	143811,2 **
A x C	3	0,0192805 ns	0,090959 ns	1,9663 ns	21571,54 *
Amostragem / C ₁	(6)	0,0147946 ns	14,0681 **	287,9267 **	420833,3 **
L	1	-	83,9736 **	1718,7280 **	1211335,0 **
Q	1	-	4,7486 **	52,5671 *	1223363,0 **
C	1	-	0,22005 ns	4,7882 ns	841,0 ns
D	3	-	0,0654 ns	1,9339 ns	29819,3 **
Amostragem / C ₂	(6)	0,0081124 ns	13,2836 **	280,8130 **	233181,6 **
L	1	-	79,3253 **	1676,0610 **	922502,9 **
Q	1	-	0,0031718 ns	0,4646 ns	433292,1 **
C	1	-	0,066757 ns	1,5878 ns	1062,4 ns
D	3	-	0,1021 ns	2,2549 ns	14077,3 **
Amostragem / C ₃	(5)	0,0065870 ns	14,4171 **	345,2435 **	306243,8 **
L	1	-	63,1007 **	1490,0470 **	302305,1 **
Q	1	-	7,8953 **	207,4145 **	1172620,0 **
C	1	-	0,84973 ns	23,4907 ns	241,8 ns
D	2	-	0,1649 ns	2,6329 ns	28026,0 **
Amostragem / C ₄	(5)	0,0076037 ns	13,0460 **	319,5901 **	519167,1 **
L	1	-	60,7136 **	1472,9050 **	151291,2 **
Q	1	-	4,2433 **	117,5604 **	2274364,0 **
C	1	-	0,07424 ns	2,9205 ns	115929,9 **
D	2	-	0,0994 ns	2,2816 ns	27124,5 **
A x Am / C	(22)				
A x Am / C ₁	6	0,0038851 ns	0,6703494 ns	1,0845 ns	1085,2 ns
A x Am / C ₂	6	0,0036875 ns	0,4248158 ns	2,6028 ns	446,6 ns
A x Am / C ₃	5	0,0096270 ns	0,6300731 ns	1,0244 ns	3183,0 ns
A x Am / C ₄	5	0,0025370 ns	0,0765622 ns	1,0523 ns	1761,6 ns
Resíduo	156	0,0067698	0,3827661	7,818	1419,506
CV		14,09	16,5970	0,87	8,23

Am-Amostragens

C₁-Anahuac, C₂-BH 1146, C₃-BR 26 e C₄-Embrapa 22

** - Significativo a 1% de probabilidade

* - Significativo a 5% de probabilidade

ns - Não significativo